



**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIDADE DE ENSINO SUPERIOR DOM BOSCO**  
**CURSO DE ARQUITETURA E URBANISMO**

**MATHEUS CARVALHO RODRIGUES**

**AVALIAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA CASAS POPULARES EM**  
**SÃO LUÍS - MA**

São Luís – MA

2020

**MATHEUS CARVALHO RODRIGUES**

**AVALIAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA CASAS POPULARES EM  
SÃO LUÍS - MA**

Projeto de Monografia apresentado ao Centro  
Universitário Unidade de Ensino Superior Dom  
Bosco – UNDB, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e  
Urbanismo.

Orientador: Prof. Esp. Arthur Lacerda

São Luís – MA

2020

Rodrigues, Matheus Carvalho

Avaliação de painéis solares para casas populares em São Luís - MA.  
/ Matheus Carvalho Rodrigues. \_\_ São Luís, 2020.

101f.

Orientador: Prof. Esp. Arthur Lacerda.

Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Curso de  
Arquitetura e Urbanismo – Centro Universitário Unidade de Ensino  
Superior Dom Bosco – UNDB, 2020.

1. Arquitetura - Energia solar. 2. Energia fotovoltaica 3. Energia -  
Consumo. I. Título.

CDU 620.9(812.1)

**MATHEUS CARVALHO RODRIGUES**

**AVALIAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PARA CASAS POPULARES EM  
SÃO LUÍS - MA**

Projeto de Monografia apresentado ao Centro  
Universitário Unidade de Ensino Superior Dom  
Bosco – UNDB, como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Arquitetura e  
Urbanismo.

Orientador: Prof. Esp. Arthur Lacerda

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Esp. Arthur Lacerda (Orientador)  
Centro Universitário Dom Bosco

---

Centro Universitário Dom Bosco

---

Centro Universitário Dom Bosco

---

Centro Universitário Dom Bosco

*“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a  
eletricidade e a energia atômica: a vontade.”*

*Albert Einstein*

## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, em especial minha mãe Marta Carvalho, que sempre esteve do meu lado em todas as etapas importantes da minha vida, que me ajudou e me apoiou nas minhas decisões.

A minha noiva Thais Fernandes, que foi meu braço direito e fiel conselheira para minha formação ética e moral, além da imensa ajuda em todo meu progresso na graduação. A minha sogra pelo acolhimento e ajuda, e por ceder as informações necessárias para esta pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Espc. Arthur Lacerda por compartilhar do seu conhecimento e experiência para que fosse possível desenvolver este trabalho da melhor forma, a Prof. Lena Brandão pelo apoio e incentivo na pesquisa.

Aos meus colegas do curso de Arquitetura e Urbanismo, pelos debates e trocas de experiência, em especial a minha amiga Emanuelle Furtado pelo apoio nos momentos iniciais desse projeto, que foram fundamentais para a formação do tema. Sucesso a todos vocês!

As empresas do mercado fotovoltaico de São Luís - MA onde foram consultados dados, em especial ao arquiteto Silvano Neto pelo compartilhamento de conhecimento, experiência e dados que nortearam no desenvolvimento da pesquisa.

A direção e coordenação acadêmica do Centro Universitário Dom Bosco, por todo apoio concedido.

A todos, o meu muito obrigado!

## RESUMO

O consumo de energia elétrica nas cidades contemporâneas é crescente desde de a expansão da Revolução industrial no séc. XVIII, onde os eletrodomésticos passaram a ser item obrigatórios nas habitações, satisfazendo desde necessidades fisiológicas até o conforto dos equipamentos automatizados. A necessidade de se consumir energia resultou na expansão da matriz energética mundial, daí então o uso de energia renováveis tornou-se a melhor possibilidade. A energia solar, uma das fontes de energia mais utilizadas e mais disponíveis no mundo, é um dos maiores significados em avanço tecnológico e desenvolvimento para os países que adotaram esta prática, e o Brasil ainda caminha a passos lentos para este futuro. Neste contexto, esse trabalho apresenta uma análise de viabilidade da instalação de painéis fotovoltaicos em uma habitação popular em São Luís - MA, servindo como fonte de pesquisa para novas aplicações na cidade. Inicialmente são discutidas as práticas na arquitetura que beneficiem no conforto ambiental da edificação, com a tendência de redução no consumo energético. Há uma abordagem sobre o cenário do mercado fotovoltaico no Brasil, além de uma caracterização sobre o sistema fotovoltaico por completo. A análise de desempenho do gerador fotovoltaico ocorre por meio de um levantamento dos dados da edificação, onde há a sobreposição dos dados de geração do sistema fotovoltaico projetado com os dados de consumo energético da unidade residencial. O indicador da viabilidade econômica estudado foi o ROI, utilizando-se de valores do Sistema fotovoltaico projetado com os custos gastos com energia. A partir destas análises, foi constatado que é viável a aquisição de um sistema fotovoltaico para a unidade residencial popular em São Luís – MA.

**Palavra-chave:** Arquitetura; Energia Solar Fotovoltaica; Viabilidade Econômica.

## ABSTRACT

Electricity consumption in contemporary cities has been increasing since the expansion of the Industrial Revolution in the 19th century. XVIII, where household appliances became a mandatory item in the dwellings, satisfying since physiological needs until the comfort of the automated equipment. The need to consume energy resulted in the expansion of the world energy matrix, hence the use of renewable energy became the best possibility. Solar energy, one of the most used and most available energy sources in the world, is one of the largest meanings in technological advancement and development for the countries that adopted this practice, and Brazil is still moving slowly towards this future. In this context, this work presents a feasibility analysis of the facility of photovoltaic panels in a low-income housing in São Luís - MA, serving as a research source for new applications in the city. Initially, the practices in the architecture that benefit in the environmental comfort of the building are discussed, with the tendency of reduction in the energy consumption. There is an approach on the scenario of the photovoltaic market in Brazil, besides a characterization on the photovoltaic system altogether. The performance analysis of the photovoltaic generator occurs through a survey of the building data, where there is the overlapping of the photovoltaic system generation data projected with the energy consumption data of the residential unit. The indicator of the economic viability studied was the ROI, using values of the photovoltaic system designed with the cost of energy. From these analyses, it was found that it is feasible to acquire a photovoltaic system for the low-income residential unit in São Luís - MA.

**Keywords:** Architecture; Photovoltaic Solar Energy; Economic Viability.

## SUMÁRIO

### LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### LISTA DE FIGURAS

### LISTA DE QUADROS E TABELAS

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1	Objetivo Geral .....	4
1.2	Objetivos Específicos.....	4
1.3	Metodologia.....	4
<b>2.</b>	<b>PARÂMETROS PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL</b> .....	5
2.1	Eficiência Energética.....	5
2.1.1	Conceito e Breve Histórico.....	5
2.1.2	Uso Racional de Energia.....	6
2.1.3	Selo do Inmetro.....	9
2.2	O que é Bioclimatologia?.....	11
2.2.1	O clima no Brasil.....	11
2.2.2	Aplicação da Bioclimatologia na arquitetura.....	12
2.3	Planejamento eficiente da arquitetura.....	13
2.3.1	Conforto Ambiental.....	14
2.3.2	Conforto Acústico.....	15
2.4	Iluminação natural.....	15
2.5	Ventilação Natural.....	20
2.6	Edificações mais sustentáveis.....	23
2.7	Certificação para arquitetura sustentável no Brasil.....	25
2.7.1	Selo Procel Edifica.....	26
2.7.2	Selo Casa Azul Caixa.....	26
2.7.3	Certificação LEED.....	27
2.7.4	Certificação AQUA-HQE.....	29
2.8	Sistema Fotovoltaico integrado à arquitetura.....	30
<b>3.</b>	<b>POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR NO PAÍS</b> .....	31
3.1	Cenário atual do mercado da Energia Fotovoltaica no Brasil.....	31

3.1.1	Linhas de crédito e financiamento do mercado fotovoltaico.....	32
3.1.2	Tributações do mercado de energia solar fotovoltaica.....	33
3.1.3	Iniciativas do mercado da Energia Fotovoltaica.....	33
3.2	Potencial de geração de energia solar no país.....	33
3.3	Base de dados da frequência de irradiação solar.....	35
3.3.1	Base de dados SunData.....	35
3.4	Resolução Normativa para Geração Distribuída.....	36
3.4.1	Resolução Normativa nº482/2012.....	36
3.4.1	Resolução Normativa nº687/2015.....	37
3.4.1	Revisão das regras de Geração Distribuída.....	38
<b>4.</b>	<b>SISTEMA FOTOVOLTAICO (SF).....</b>	<b>39</b>
4.1	Componentes básicos do Sistema Fotovoltaico.....	39
4.1.1	Módulos fotovoltaicos.....	40
4.1.2	Baterias.....	43
4.1.3	Controladores de carga.....	45
4.1.4	Inversores.....	46
4.1.5	Conversores.....	47
4.2	Tipos de Sistema Fotovoltaico.....	47
4.2.1	Sistema conectado à rede.....	47
4.2.2	Sistema Fotovoltaico Isolado.....	50
4.2.3	Outras aplicações do sistema fotovoltaico.....	51
4.3	Projeto de Sistemas Fotovoltaicos.....	52
4.3.1	Etapas preliminares do projeto.....	53
4.3.2	Projeto de Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	54
<b>5.</b>	<b>AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL POPULAR.....</b>	<b>59</b>
5.1	Dados preliminares para aplicação de teste.....	59
5.1.1	Levantamento arquitetônico da unidade residencial.....	60
5.1.2	Taxa de irradiação solar.....	60
5.1.3	Dados de consumo médio de energia.....	61
5.1.4	Dimensionamento do gerador fotovoltaico e inversor.....	62
5.2	Análise de eficiência do módulo fotovoltaico.....	64
5.2.1	Aplicação de fatores para cálculo de eficiência de um painel solar.....	64

5.2.2	Análise da geração de energia elétrica média mensal.....	65
5.3	Parâmetro de viabilidade econômica.....	66
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>69</b>
	<b>ANEXO A - RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 482/2012.....</b>	<b>73</b>
	<b>ANEXO B - PLANTA BAIXA E COBERTURA.....</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXO C - LAYOUT HUMANIZADO.....</b>	<b>81</b>

## LISTA DE SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ANEEL	Associação Nacional de Energia Elétrica
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
a-Si	<i>Amorphous Silicon</i> (Silício de Amorfo)
BB	Banco do Brasil
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento
c.a.	Corrente Alternada
c.c.	Corrente Contínua
CB-Solar	Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica
CC	Componente Celeste
CdTe	Talureto de Cádmio
CE	Ceará
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CIP	Contribuição de Iluminação Pública
CIS/CGIS	Seleneto de Cobre, Índio e Gálio
CNPJ	Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CPF	Cadastro de Pessoas Físicas
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRE	Componente Refletida Externa
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
CRI	Componente Refletida Interna
c-Si	<i>Crystalline Silicon</i> (Silício Cristalino)
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CTA	Centro Tecnológico de Aeronáutica
DMA	<i>Direct Memory Accesss</i> (Acesso Direto à Memória)
EUA	<i>United States of America</i> (Estados Unidos da América)
FADE-UFPE	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da UFPE
FNE	Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste

FV	Fotovoltaico
GEE	Gases do Efeito Estufa
HQE	<i>Haute Qualité Environnementale</i>
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDEAL	Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina
IEC	<i>International Electrotechnical Commision</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
II	Imposto de Importação
IN	Instrução Normativa
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Nacionais
INT	Instituto Nacional de Tecnologia
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
LEED	<i>Leadership on Energy and Environmental Design</i>
LEPTEN	Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia
MA	Maranhão
MIGDI	Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
MPOG	Ministério de Planejamento, Desenvolvimento e Gestão
NBR	Norma Brasileira
NiCd	Níquel-Cádmio
NiMH	Hidreto Metálico de Npíquel
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
OPV	<i>Organic Photovoltaic</i> (Células Fotovoltaicas Orgânicas)
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDF	<i>Portable Document Format</i>
PIS	Programa de Integração Social
PM	<i>Temperature coefficient of Pmax</i> (Coeficiente de Temperatura)
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração de Energia Elétrica
PVC	Policloreto de Vinílica
QAE	Qualidade Ambiental do Edifício
RN	Resolução Normativa

SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SFI	Sistema Fotovoltaico Independente
SGE	Sistema de Gestão do Empreendimento
SHP	<i>Shapefile</i>
SIFIE	Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação
SIGFI	Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com fontes Intermitentes
SNESF	Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica
SPPM	Seguimento de Ponto de Potência Máxima
STC	<i>Standard Test Conditions</i> (Condições Normais de Ensaio)
SWERA	<i>Solar and Wind Energy Resource Assessment</i>
Tv	Televisão
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFV	Usina Fotovoltaica
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
USGBC	<i>US Green Building Council</i>

## LISTA DE FIGURAS

### 2. PARÂMETROS PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL

Figura 1: Consumo de energia elétrica em edificações

Figura 2: Sistema de aquecimento solar de água

Figura 3: Minicentral de pequeno porte ou split

Figura 4: Etiquetagem de eficiência energética dos produtos

Figura 5: Etiquetagem de eficiência energética de lâmpadas

Figura 6: Mapa de climas no Brasil

Figura 7: Carta Bioclimática de São Luís

Figura 8: Carta Bioclimática de Olgyay

Figura 9: Estratégias de controle climáticos em um projeto de arquitetura

Figura 10: Importância da orientação do NORTE para o melhor aproveitamento da insolação solar como iluminação natural

Figura 11: Aquecedor solar de água em habitações de interesse social

Figura 12: Diagrama do conforto humano do INMET

Figura 13: Fontes de luz natural que iluminam os ambientes internos

Figura 14: Iluminação natural em função da disposição do espaço

Figura 15: Representação da iluminação natural com prateleira de luz

Figura 16: Dimensionamento da penetração de iluminação no ambiente com prateleira de luz

Figura 17: Hierarquia para refletância ideal do ambiente interno em função da posição da janela

Figura 18: Distribuição das janelas no ambiente interno

Figura 19: Tipos de iluminação zenital

Figura 20: Orientação ideal para o aproveitamento de iluminação natural

Figura 21: Iluminação de tarefa

Figura 22: Redução de perda de calor com uso da vegetação

Figura 23: Copas altas permitem a melhor circulação da ventilação

Figura 24: Direcionamento dos ventos por meio da vegetação

Figura 25: Fluxo de ar determinado pelo posicionamento das aberturas

Figura 26: Direção dos ventos em São Luís durante um ano

Figura 27: Influência do beiral e platibanda no direcionamento do fluxo de ar para o interior

Figura 28: Diversos tipos de ventilação vertical

Figura 29: Valores percentuais da origem de resíduos da construção civil

Figura 30: Etiqueta de Eficiência Energética

Figura 31: Selo Casal Azul Ouro, Prata e Bronze, respectivamente

Figura 32: Níveis de certificação LEED

Figura 33: Planta piloto do megawatt solar em Florianópolis

### **3. POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR NO PAÍS**

Figura 34: Matriz elétrica brasileira

Figura 35: Apresentação dos dados da plataforma SunData

Figura 36: Geração remota de energia solar

Figura 37: Avanço no número de geração distribuída com a resolução normativa 482/2012

Figura 38: Novas regras para a resolução normativa 482/2012

### **4. SISTEMA FOTOVOLTAICO (SF)**

Figura 39: Componentes de um sistema fotovoltaico residencial (off-grid): A-módulo fotovoltaico; B-controlador de carga; C-bateria; D-inversores; E-cargas c.a. (equipamentos elétricos); F-caixa de conexão

Figura 41: Efeito da variação de temperatura ambiente sobre o módulo fotovoltaico

Figura 42: Modelo de etiqueta do Inmetro fixada nos módulos

Figura 43: Modelo de etiqueta do Inmetro presente em baterias

Figura 44: Modelo de etiqueta do Inmetro para controladores de carga

Figura 45: Medição bidirecional de registros independentes (a) e com a utilização de medidores unidirecionais (b)

Figura 46: Medição simultânea

Figura 47: Diagrama de blocos de sistemas fotovoltaicos isolados: (a) – Isolado para eletrificação individual; (b) – Isolado para eletrificação com minirrede.

Figura 48: Sistema MIGDI da comunidade de Sobrado no Amazonas

Figura 49: Sistema fotovoltaico de bombeamento de água

Figura 50: Perfis de radiação solar diária

Figura 51: Exemplo de irradiância global diária sobre o plano do módulo

Figura 52: Equação para cálculo de potência de gerador fotovoltaico

Figura 53: Exemplo de simulação de SF através da plataforma on-line

Figura 54: Exemplo de carga mecânica exercida por módulos fotovoltaicos distintos

## **5. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL POPULAR**

Figura 55: Localização da unidade residencial no bairro da Cidade Operária

Figura 56: Dados de irradiação solar (kWh/m<sup>2</sup>.dia) durante um ano, a partir de Janeiro.

Figura 57: Gráfico de análise entre a geração de energia pelo SF e consumo da unidade residencial

## **LISTA DE TABELAS**

### **1. INTRODUÇÃO**

Tabela 1 – Eficiência de painéis solares feitos de silício cristalino

### **2. PARÂMETROS PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL**

Tabela 2 – Iluminância (lux) por classe de tarefas

Tabela 3 – Tabela das taxas de desperdício de materiais na obra

Tabela 4 – Categorias de preocupação ambiental da AQUA

### **4. SISTEMA FOTOVOLTAICO (SF)**

Tabela 5 – Classe de eficiência dos módulos pelo Inmetro

### **5. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL POPULAR**

Tabela 6 – Consumo mensal de energia da unidade residencial

Tabela 7 – Dados técnicos do módulo fotovoltaico

Tabela 8 – Levantamento de custo para um sistema fotovoltaico on grid

Tabela 9 – Análise entre geração de energia pelo SF e consumo da unidade residencial

Tabela 10 – Análise dos custos do consumo de energia elétrica

Tabela 11 – Valores de tarifas para baixa renda

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo da energia elétrica é crescente desde a expansão da Revolução Industrial, a partir da produção de diversos equipamentos domésticos que facilitam as atividades do dia-a-dia, até a demanda cada vez maior do uso de energia no setor industrial e para as atividades cotidianas na cidade. Atualmente, há diversas formas de produção de energia no mundo, dentre elas menos de 1\4 são energias renováveis<sup>1</sup>.

Em 2001 o Brasil passou por um racionamento de energético devido ao descompasso entre a geração e transmissão de energia com a elevação do consumo. Atualmente, o país produz mais de 50% de sua energia proveniente das usinas hidrelétricas, esse modo de produção impacta diretamente no ecossistema da região onde é instalado, além dos impactos sociais e ambientais em cidades ribeirinhas.

Deste modo, é evidente a busca por alternativas diversas de geração de energia, que gerem menos impactos ambientais, e sejam mais eficientes à demanda do consumo nacional. A energia solar, tem sido uma das alternativas mais investidas em todo o mundo, e uma tecnologia cada vez mais difundida, produzindo equipamentos mais eficientes e com custo economicamente viável.

A geração de energia a partir da incidência solar é talvez o maior avanço no setor elétrico em todo o mundo, sendo símbolo de modernidade. O avanço da tecnologia tem permitido que os novos equipamentos de produção de energia fotovoltaica sejam acessados democraticamente por todas as classes. Em países como Alemanha, China, Índia, Austrália, Estados Unidos, Japão e Reino Unido já relevante o número de usuários que produzem energia por meio de placas fotovoltaicas. No Brasil esse número ainda é bem tímido, sendo essa fonte de energia ser menos de 1% da matriz energética do país.

De acordo com Lamberts, et al. (2010) a energia produzida pelo Sol que incide na superfície terrestre durante 24 horas é superior a demanda energética mundial para um ano inteiro. A produção desse tipo de energia é totalmente favorável ao meio ambiente já que não gera poluentes e a produção dos materiais que compõem a placa fotovoltaica é totalmente controlada<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Dentre as energias renováveis atualmente mais utilizadas no mundo, estão a Energia eólica, Energia solar fotovoltaica e Energia maremotriz, ou também conhecida como “Energia das marés”.

<sup>2</sup> A fabricação dos módulos fotovoltaicos pode ser completamente automatizada, e utiliza de matéria prima gerada através de processos químicos como silício cristalino (c-Si) e filme fino. A garantia dos painéis dura entre 20 e 25 anos, gerando baixo acúmulo de lixo químico. A Resolução Normativa 482/2012, da Aneel, dispõe da melhor forma de descarte deste tipo de material para evitar a poluição do meio ambiente.

A energia solar pode ser utilizada para produzir corrente elétrica através do efeito fotovoltaico, que se baseia em converter diretamente a luz do sol em eletricidade. Esse processo ocorre por meio de dispositivos que coletam e armazenam a energia produzida, o excedente que for produzido é relocado para a rede pública (para o sistema on grid) ou armazenado em baterias e utilizados posteriormente (para o sistema off grid).

No Brasil, a produção de energia por incidência solar teve início em pequenos sistemas isolados ou autônomos instalados em regiões onde era difícil ou inexistente o serviço de rede elétrica, caracterizado por propriedades rurais ou comunidades isoladas onde a instalação das linhas de distribuição de energia elétrica não é economicamente viável.

Com o passar dos anos foram feitos investimentos neste setor através do programa Luz para Todos (2003) e mais residenciais passaram a ser atendidas pelo sistema de energia fotovoltaica autônomo. A partir disso houve um aumento no interesse pelo sistema fotovoltaico em regiões urbanas, onde o sistema é conectado à rede pública, após a resolução nº 482 de 2012 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) essa demanda cresceu consideravelmente.

Atualmente, todos os modelos de painéis solares produzidos no Brasil possuem certificações que garantem a qualidade dos equipamentos. Há duas certificações vigentes no país, o selo do Inmetro, que sozinho não garante a segurança e durabilidade do equipamento, e como auxílio há a certificação IEC 61215 que é utilizada por vários países no mundo.

Cerca de 80% dos painéis fotovoltaicos possuem em sua composição uma variação de silício, esse material quando submetido ao processo de pureza é responsável em grande parte pela eficiência da placa (PORTAL SOLAR, 2019). Entretanto, há uma diversa variedade de tipos de placas no mercado, como o painel solar fotovoltaico de silício monocristalino, este modelo possui o maior índice de eficiência (entre 15%-22%) dentre os outros equipamentos e isso resulta num custo mais elevado na compra.

Também há o painel solar fotovoltaico policristalino, que possui uma média de eficiência entre 14% e 20%, sua desvantagem é que por possuir uma eficiência inferior ao monocristalino precisaria de uma área maior de painéis policristalinos para gerar a mesma quantidade de Watts/m<sup>2</sup>. Além destes existem os painéis solares de filme fino, painel solar de silício amorfo (a-Si), painel solar de telureto de cádmio (CdTe), painel solar de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS/CIGS), células fotovoltaicas orgânicas (OPV) e painel solar híbrido (HJT).

O modo de reconhecer a eficiência de um painel solar fotovoltaico está baseado no processo STC (Standard Testing Conditions) que significa “condições normais de ensaio”. As condições padrões de teste para avaliação da placa solar está relacionada a 3 fatores: a temperatura da célula deve estar a 25°C, ou seja, a temperatura do painel solar deve estar nesse valor, não a temperatura do ambiente; a irradiação solar deve ser de 1000 Watts/m<sup>2</sup>, que é uma média da quantidade de luz solar que incide na superfície terrestre; e a massa de ar de 1.5. Refere-se à quantidade de luz que tem que passar pela atmosfera terrestre antes que possa bater a superfície da Terra. A tabela 1 demonstra de forma resumida o percentual de eficiência dos painéis solares de silício cristalino.

Tabela 1 – Eficiência de painéis solares feitos de silício cristalino

EFICIÊNCIA	PERCENTUAL DO TOTAL DE PAINÉIS PRODUZIDOS	RESULTADO
> = 18%	~ 10%	MAIOR EFICIÊNCIA
17 - 17.9%	~ 30%	ACIMA DA MÉDIA DE EFICIÊNCIA
16 - 16.9 %	~ 30%	EFICIÊNCIA OK
15 - 15.9%	~ 20%	ABAIXO DA MÉDIA DE EFICIÊNCIA
< 15.0%	~ 10%	MENOR EFICIÊNCIA

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado do Painel Solar, 2018)

Por conta das suas dimensões territoriais e a alta taxa de irradiação solar diária, o Brasil possui um gigante potencial para a produção de energia fotovoltaica. Caso houvesse um aumento constante no uso da energia solar, o país facilmente superaria a geração de energia produzida pela Alemanha, que atualmente é o país que mais investe nessa produção, tornando-se um dos principais líderes mundiais no emprego de energia renovável alternativa.

A região Nordeste tem um dos maiores potenciais para a geração de energia solar no país, uma vez que sua posição geográfica próxima a linha do equador, permite o maior aproveitamento da incidência solar do que o resto do país. De acordo a Absolar (2019) o Maranhão está em 17° em geração de energia solar no país, e essa adoção proporciona uma redução de 97% na conta de luz. Desta forma é coerente a produção de conhecimento acadêmico que vise informar e incentivar a adoção do sistema de geração de energia solar na região.

Nesse contexto, este trabalho propõe efetuar uma avaliação de painéis solares no sentido de analisar sua viabilidade econômica para famílias de baixa renda, além de propor autonomia e eficiência energética às residências da cidade de São Luís - MA.

### **1.1 Objetivo Geral:**

Apresentar a viabilidade de um modelo de placa solar no contexto a residências populares através de uma análise de desempenho e econômica dos modelos presentes no mercado, servindo como fonte de pesquisa para famílias que pretendem investir nesse modo de produção de energia.

### **1.2 Objetivos Específicos:**

1. Propor alternativas construtivas que otimizam o consumo de energia na casa;
2. Utilizar um modelo habitacional referência para análise de eficiência da placa solar;
3. Analisar o desempenho de um painel fotovoltaico;
4. Discutir a viabilidade de custo benefício para instalação de painéis solares em habitações populares;

### **1.3 Metodologia**

A metodologia a ser utilizada na pesquisa será feita por meio de um amplo estudo exploratório em livros, artigos, teses, periódicos, revistas, normas técnicas e materiais da internet para embasar os conceitos e fundamentos a serem tratados pelo tema abordado. A obtenção das informações ocorrerá a partir de fichamento em textos relacionados a geração de energia solar, na análise da resolução nº 482 de 2012 publicada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) que dar parâmetros sobre o uso da energia solar fotovoltaica no Brasil e em relação as tributações sobre quem produz energia solar na cidade, além da coleta de informações em seminários e eventos científicos, e pesquisa de mercado sobre informações de modelos de painéis solares disponíveis no mercado.

Serão feitas pesquisas sobre o mercado fotovoltaico no Brasil com intuito obter informações que serão utilizadas para caracterizar as condições atuais do mercado de painéis fotovoltaicos no país, além de uma contribuição para o teste com o painel a ser analisado durante os estudos.

Será feito um levantamento arquitetônico de uma residência no bairro da Cidade Operária que servirá como modelo para aplicação dos testes de consumo. Com o auxílio da

plataforma SunData, serão obtidos dados de irradiação que complementarão o processo de análise de desempenho do modelo.

Também serão obtidas informações em plataformas online que serão utilizadas como embasamento no processo de análise de eficiência da placa fotovoltaica e de avaliação da mesma para definir o melhor modelo. Serão utilizados dados reais de consumo de energia para que seja possível avaliar os índices entre a quantidade de energia consumida e a que é gerada pelos painéis.

A partir disso, será feita uma análise de viabilidade econômica destacando como alguns fatores: os custos de instalação do projeto fotovoltaico, a economia nos custos sobre a conta de energia, e o tempo de retorno financeiro com o investimento em um sistema de geração de energia alternativa.

## **2. PARÂMETROS PARA UMA ARQUITETURA SUSTENTÁVEL**

### **2.1 Eficiência Energética**

#### **2.1.1 Conceito e Breve Histórico**

A Eficiência Energética é uma das estratégias mais sustentáveis em que o consumo não implica em impactos agressivos ao meio ambiente. Quando aplicada à arquitetura, ela se torna um inerente potencial a edificação de proporcionar conforto térmico, acústico e visual com baixo consumo de energia (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2014).

Está relacionada ao conceito clássico de Vitruvius sobre a arquitetura ideal, em que destaca *Firmitas* como a estrutura sólida de uma edificação, a escolha correta e racional de materiais construtivos permite o melhor desempenho térmico do sistema estrutural e reduz a produção de resíduos da construção; a *Utilitas* relaciona-se a funcionalidade da arquitetura, onde são aplicados os conceitos de conforto térmico, visual e acústico, preponderantes no alcance da eficiência energética; e a *Venustas* que assimila-se à valores ligados a estética do projeto arquitetônico, e nada mais esteticamente agradável que uma edificação que demonstra suas estratégias de eficiência energética como modelo a ser inspirado.

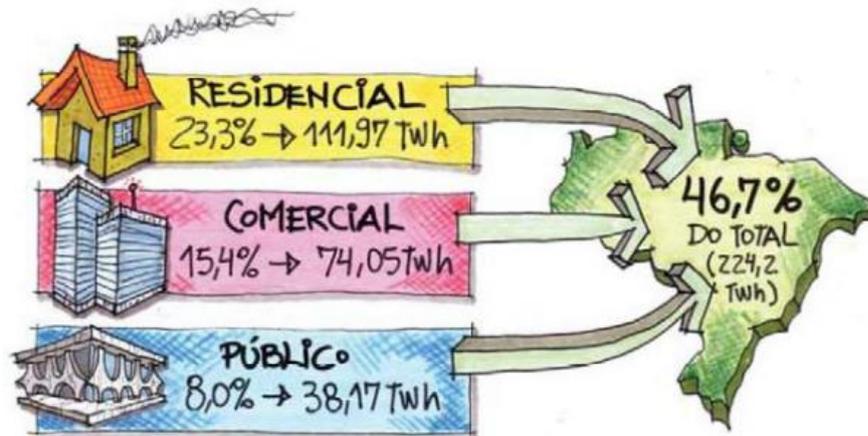
Com o advento da Revolução Industrial entre os séculos XVIII e XIX, os sistemas de climatização e iluminação cresceram em larga escala, surgindo constantemente novos equipamentos que proporcionam conforto ao usuário. Paralelo a isso houve o aumento colossal

no consumo de energia elétrica nas grandes cidades, que estavam em contínuo crescimento populacional por conta das fábricas e oportunidade de uma vida melhor.

Esse aumento da demanda energética forçou os governos a investirem incessantes na produção do setor elétrico, criando diversas geradoras de energia que entre as principais estão as Hidrelétricas, Termoelétricas, Nucleares e Eólicas. Os impactos ambientais eram evidentes, uma vez que as grandes geradoras não viam como prioridade as consequências que estas causariam nas regiões que fossem implantadas, causando inundações em comunidades ribeirinhas e desequilíbrio ambiental (Hidrelétricas), poluição e grave risco à saúde (Termoelétricas e Nucleares).

No Brasil, a maior parte da energia ofertada é gerada a partir de fonte hidráulica, através das Hidrelétricas (80% do total produzido), e também há a geração por meio de fonte a gás, petróleo, lenha, óleo diesel e óleo combustível (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2010). No país, a demanda para o consumo de energia equivale a 45% para edificações, destes sendo 23,3% para consumo residencial.

Figura 1: Consumo de energia elétrica em edificações



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014

Dentre os equipamentos que mais consomem energia em residências estão a geladeira, o chuveiro elétrico e a iluminação artificial, o uso do ar condicionado tem se tornado mais comum nos últimos anos com a produção de variados produtos de baixo custo além da relação entre o constante aumento da temperatura e a ineficiência térmica das edificações.

### 2.1.2 Uso Inteligente de Energia

Um projeto arquitetônico que anseia por torna-se sustentável e seguir as premissas de eficiência energética deve possuir em seu interior equipamentos elétricos com melhor desempenho e menor consumo em relação a equipamentos similares. Com a crescente

revolução tecnológica, a construção civil está cada vez mais bem servida de bons equipamentos que cumprem esta função.

O uso de chuveiro elétrico está entre os equipamentos mais utilizados em residências brasileiras, e o baixo valor de instalação e manutenção não corresponde ao alto consumo de energia deste equipamento. Outro sistema de aquecimento de água bastante utilizado é o de aquecimento elétrico de passagem, que exige investimentos em infraestrutura para tubulações, apresenta pouca vazão de água, além de um alto consumo de energia. (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

O método de aquecimento solar de água surge como uma alternativa mais eficiente e econômica a longo prazo, apesar do alto investimento inicial para instalação. De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 232) o valor investido na instalação desse sistema dá retorno em economia de energia em aproximadamente dois anos e meio de uso para uma família normal.

Esse sistema é constituído por um reservatório térmico (boiler) e as placas de aquecimento solar que farão a coleta dos raios solares. O calor absorvido pelas placas aquece água que circula pelo seu interior através de suas tubulações de cobre. Um pano de vidro cria um “efeito estufa” dentro das placas, bloqueando o calor que é gerado internamente se dissipe de volta ao exterior. O boiler é o local de armazenamento da água aquecida, como a água quente tende a subir, por ser mais leve, é importante que o boiler seja instalado em altura superior das placas coletoras.

Figura 2: Sistema de aquecimento solar de água



Fonte: [www.portalsolar.com.br](http://www.portalsolar.com.br)

O uso da iluminação artificial torna-se necessário para as edificações por vários motivos, uma vez que sem ela não seria possível iluminar grandes profundidades no interior de edifícios onde a iluminação natural não consegue alcançar, e principalmente para exercer atividades cotidianas a noite. Mas por ser um fator preponderante no consumo total de energia

das edificações, é fundamental que haja um planejamento eficaz no uso da iluminação artificial e a escolha correta dos equipamentos que irão exercer essa função.

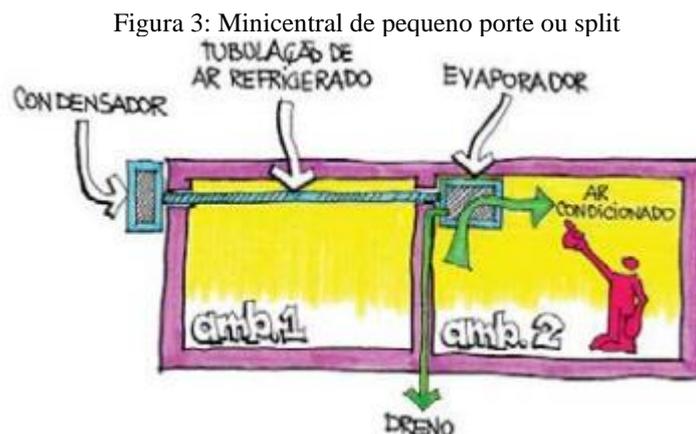
Cada lâmpada existente no mercado possui uma característica que a classifica para um determinado uso, porém algumas apresentam índices de eficiência maiores que outras.

- As lâmpadas incandescentes são as mais comuns, possui um custo inicial mais baixo, mas apresenta curta vida útil. Sua grande vantagem está em relação a não necessidade de uso de aparelhos auxiliares para seu funcionamento, porém possui baixa eficiência luminosa.
- As lâmpadas halógenas funcionam por meio de um halógeno (iodo) no interior do tubo. Possui uma maior eficiência, tem vida útil de aproximadamente 2.000 horas e dimensões bem reduzidas. Estas lâmpadas são de 12V e necessitam de transformadores para uso na rede elétrica.
- A lâmpada fluorescente normalmente é na forma tubular, possuindo um eletrodo em cada ponta. Possui uma boa eficiência (até seis vezes maior que as incandescentes) e vida útil que chega até 9.000 horas. Por apresentar baixo índice de luminância, ela reduz a possibilidade de ofuscamento.
- As lâmpadas a vapor de mercúrio são bastante indicadas para iluminar grandes áreas internas ou externas. Tem boa eficiência luminosa, possui uma duração de até 9.000 horas, sua luminância evita o ofuscamento, e dimensões pequenas. Uma lâmpada de mercúrio de 400W tem luminosidade de até 10 lâmpadas fluorescentes de 40W e ocupa menos espaço.
- Os LEDs são diodos emissores de luz, e podem ser usados como sinalizadores em equipamentos de som, computadores e etc. Com a descoberta dos LEDs como substitutos para lâmpadas normais, estas passaram a possuir diversas vantagens como alta vida útil, melhor eficiência energética em relação as outras, tamanho reduzido, alternância de cores, resistência a grandes impactos e pequena dissipação de calor.

Existe um sistema capaz de fornecer a iluminação necessária para um ambiente conforme a sua necessidade, minimizando o consumo de energia elétrica. O controle de luz pode ser instalado através de diversos dispositivos, como sensores de ocupação, sistemas com controle fotoelétrico, sistemas de programação de tempo, e ainda através da distribuição racional dos circuitos (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Segundo a NBR 15220-3 que define o zoneamento bioclimático das cidades brasileiras e recomenda estratégias para construtivas para o condicionamento do conforto ambiental térmico nas habitações, a cidade de São Luís pertence a Zona Bioclimática 8, cuja as principais recomendações são o resfriamento dos ambientes por meio de ventilação cruzada através das janelas da habitação, e de resfriamento artificial em períodos onde seja necessário amenizar a sensação de desconforto térmico pelo calor.

Para o resfriamento artificial dos ambientes internos, a opções mais disponíveis no mercado para o uso residencial, é a minicentral de pequeno porte ou split, que possui uma unidade evaporadora e uma condensadora, que podem estar distanciadas por até 30 metros através de um tubo de resfriamento. É recomendável que a condensadora seja instalada no lado externo ao ambiente que se deseja resfriar, em local com ventilação e que não sofra com incidência direta da radiação solar. A evaporadora, deve ser instalado no lado interno do ambiente a ser resfriado, deve dispor de um ponto elétrico monofásico e um ponto de dreno.



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2010

Em relação a outros aparelhos de condicionamento de ar, o split tem a vantagem de gerar baixo nível de ruído e a possibilidade de condicionar ambientes internos sem paredes externas (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2010). Uma desvantagem é o preço desse aparelho que pode ser elevado dependendo da renda na habitação, uma vez que isto inclui os custos com manutenção e aumento na conta de energia. Porém, com o aumento na demanda de aparelhos de condicionamento de ar, está aumentando o desenvolvimento em novos aparelhos mais eficientes e com custo acessível.

### 2.1.3 Selo do Inmetro

O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), tem a coordenação do Inmetro, e disponibiliza informações sobre o desempenho dos produtos, considerando parâmetros como eficiência energética, a evidencia de ruídos e outros critérios que permitem a escolha, ou não,

pelo consumidor que deseja mais economia. Também impulsiona a competitividade entre empresas para fornecer o melhor produto.

Essa avaliação acontece através de um selo de conformidade, ou etiqueta, que cada produto recebe evidenciando suas características conforme requisitos, normas e regulamentos estabelecidos. A etiqueta é nomeada de acordo com a função que desempenha ao produto, sendo Etiqueta Nacional de Consumo de Energia quando se trata de desempenho energético, e selo ruído onde informa ao consumidor o nível de ruído emitido pelo aparelho como secadores de cabelo, liquidificadores, etc.

A etiquetagem relacionada ao consumo de energia classifica os produtos em faixas coloridas que variam da mais eficiente (A) à menos eficiente (de C até G, dependendo do produto), além de fornecer outras informações relevantes (INMETRO, 2020).

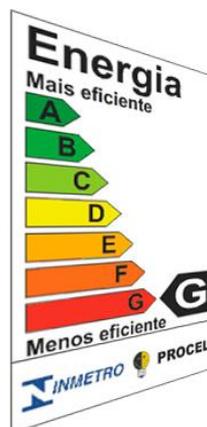
Figura 4: Etiquetagem de eficiência energética dos produtos



Fonte: inmetro.gov.br

Para lâmpadas a etiquetagem tem menor dimensão.

Figura 5: Etiquetagem de eficiência energética de lâmpadas



Fonte: inmetro.gov.br

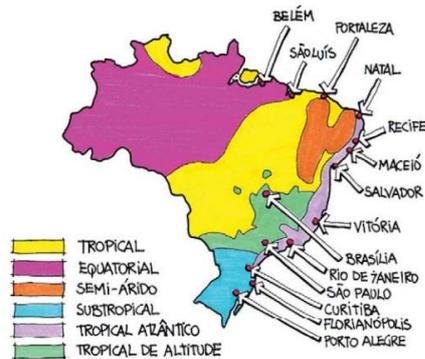
## 2.2 O que é Bioclimatologia?

A Bioclimatologia é definida como o estudo dos efeitos do clima e dos fatores no meio ambiente sobre os seres vivos. Para entendê-la na prática é necessário que se saiba o clima predominante e as variáveis climáticas como irradiação solar, nuvens, temperatura, ventos, umidade e precipitação na região de estudo.

### 2.2.1 O clima no Brasil

Devido suas dimensões territoriais extensas e estar localizado entre dois trópicos, o Brasil possui uma grande variação climática. Ao total, o país está dividido em 6 climas diferentes: Tropical; Equatorial; Semiárido; Subtropical; Tropical Atlântico e Tropical de Altitude.

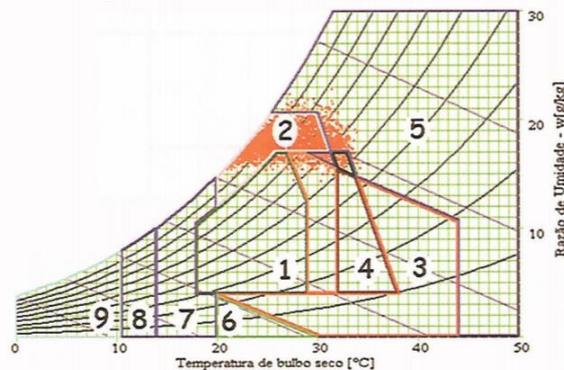
Figura 6: Mapa de climas no Brasil



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Em São Luís, as condições climáticas geram na cidade sensações de alta temperatura e um clima seco e úmido. O conforto térmico está presente em apenas 1,4% das horas no ano, e no restante (98,5%) é de clima desconfortável pelo calor. Por possuir momentos de frio quase inexistentes as estratégias de resfriamento mais utilizadas são de ventilação e ar condicionado (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 7: Carta Bioclimática de São Luís



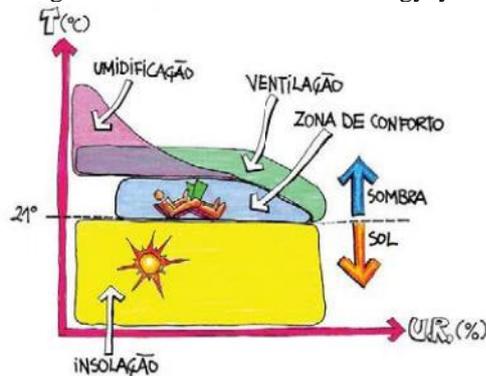
Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

## 2.2.2 Aplicação da Bioclimatologia na arquitetura

Após o esclarecimento sobre os principais fatores que envolvem a importância da Bioclimatologia para o conforto térmico de uma região, é mais fácil entender os impactos que ela causa em um projeto de arquitetura, e da margem para criação de estratégias que tendem a criar condições de conforto no interior dos ambientes. Dentre estas medidas estão os modos de resfriamento e aquecimento, seja artificial ou natural, que devem ser empregados de forma equilibrada para manter a relação custo/benefício conforme a necessidade de conforto.

A arquitetura passou a utilizar de seus próprios elementos para oferecer conforto térmico aos seus usuários, muito graças aos estudos desenvolvidos por Olgay, que criou a expressão Projeto Bioclimático (1973) e organizou um diagrama bioclimático que propõe estratégias de adaptação da arquitetura ao clima (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 8: Carta Bioclimática de Olgay



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

As estratégias de conforto climático a serem adotadas em um projeto de arquitetura precisam considerar quando as condições climáticas geram desconforto por frio ou calor, nesse sentido deve-se evitar perdas de calor e buscar ganhos térmicos em climas frios (inverno), e em climas de calor (verão) busca-se o contrário prezando pelas perdas de calor. Tais estratégias estão relacionadas a mecanismos básicos de troca de calor (condução; convecção; radiação e evaporação).

Figura 9: Estratégias de controle climáticos em um projeto de arquitetura

	CONDUÇÃO	CONVECÇÃO	RADIAÇÃO	EVAPORAÇÃO
INVERNO	Promover ganhos	Promover ganho de calor solar		
	Resistir às perdas	Mínimizar fluxos de calor por condução	Mínimizar fluxo de ar externo	Mínimizar infiltração de ar
VERÃO	Resistir aos ganhos	Mínimizar fluxos de calor por condução	Mínimizar infiltração de ar	Mínimizar ganho solar
	Promover Perdas	Promover resfriamento através do solo	Promover ventilação	Promover resfriamento radiativo
Fontes de calor	Atmosfera		Sol	
Fontes de resfriamento	Solo	Atmosfera	Céu	Atmosfera

Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014 (Adaptado de Watson e Labs, 1963)

De acordo com as características do clima de São Luís, as estratégias de projeto essenciais para o conforto térmico priorizam a ventilação, sendo indispensável em cerca de 87,2% das horas no ano. Nas edificações é necessário que exista grandes aberturas sombreadas, que possibilitem ventilar o interior durante o dia e pela noite (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2010). A necessidade do ar condicionado surge como opção em cerca de 10% das horas no ano, é importante isolar termicamente as aberturas e evitar a infiltração de ar.

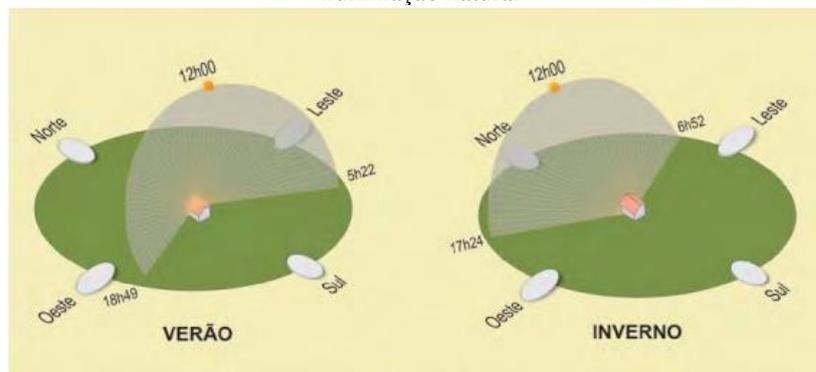
### 2.3 Planejamento eficiente da arquitetura

Aplicar princípios ecológicos desde o início do planejamento para uma edificação de tipologia residencial, por exemplo, além de garantir sustentabilidade também pode ser uma alternativa que evita o aumento de custos posteriormente. O projeto deve visar a funcionalidade entre os ambientes, e a simplicidade no sistema construtivo para que permita novas alterações na edificação ao longo do tempo.

Posicionar a edificação de maneira eficiente, levando em conta a localização e seu entorno, pode garantir o melhor aproveitamento dos recursos naturais disponíveis.

Para maximizar o uso de energias renováveis, a edificação deve ser orientada corretamente (com a fachada principal voltada para o equador)<sup>3</sup>; possuir uma inclinação adequada (de 30° a 40° na cobertura e de 60° a 70° na fachada) para instalação de painéis de aquecimento solar e módulos fotovoltaicos; estar suficientemente afastada de outras construções, para permitir a incidência de iluminação solar (em especial durante o inverno, quando os raios solares incidem em ângulos inferiores); evitar obstáculos aos fluxos de ar; e as coberturas devem ser projetadas para suportar geradores eólicos e acumuladores térmicos (boilers) (MEDEIROS, 2012, p. 18).

Figura 10: Importância da orientação do NORTE para o melhor aproveitamento da insolação solar como iluminação natural



Fonte: MEDEIROS, 2012

<sup>3</sup> Esta é uma recomendação com uma visão generalizada para todo o país, porém sendo recomendável às regiões mais próximas ao Hemisfério Sul, no caso de São Luís, por possuir características diferentes em razão da sua maior proximidade a linha do Equador, não há um consenso comprovado sobre a melhor posição das fachadas das edificações.

Há algumas formas sustentáveis de utilizar elementos complementares ao conforto ambiental, como o uso da vegetação nativa para proporcionar sombra e reduzir os ruídos externos causados por automóveis, e também servir como fonte de alimento. Priorizar materiais locais, com um bom ciclo de vida, componentes não tóxicos e bom desempenho térmico, também se torna uma alternativa sustentável para incluir à edificação.

A criação de sistemas de reutilização da água da chuva para usos auxiliares, talvez seja o método mais popular no aproveitamento de recursos naturais em residências. Outro método que também está sendo popularmente difundido é a coleta solar de baixo custo para o aquecimento da água.

Figura 11: Aquecedor solar de água em habitações de interesse social



Fonte: soletrol.com.br

É preciso integrar, de forma funcional, os subsistemas sustentáveis, para que seja possível alinhar a eficiência e economia de recursos energéticos (MEDEIROS, 2012).

### 2.3.1 Conforto Ambiental

O conforto está relacionado a sensação de bem-estar, sendo o resultado da combinação dos parâmetros objetivos e fatores inerentes ao usuário (MEDEIROS, 2012). Os parâmetros objetivos podem ser específicos e gerais, onde os específicos tratam de conforto térmico, acústico e visual, e os gerais são dimensões do espaço, fluxo interno, requisitos de organização.

Figura 12: Diagrama do conforto humano do INMET



Fonte: MEDEIROS, 2012

### 2.3.2 Conforto Acústico

O processo de qualidade acústica de uma edificação está diretamente relacionado a dois fatores: a localização e orientação da edificação em relação ao entorno, e em relação aos materiais que constituem a obra.

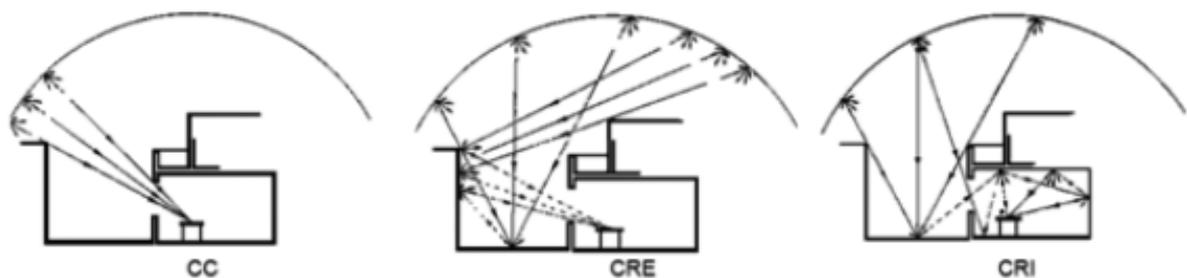
O isolamento sonoro da fachada e elementos internos de divisão é resultado da soma e inter-relação de seus elementos – portas externas, internas e janelas. É importante perceber como as divisões internas, com e sem aberturas, têm efeitos diferentes para a acústica. A falta ou presença de reboco ou acabamento nas paredes também tem interferência direta no seu desempenho acústico (sendo as paredes com aberturas e sem reboco as de menor desempenho) (MEDEIROS, 2012).

Há métodos simples que garantem um conforto acústico na edificação, pode-se conseguir bons resultados com a vedação de vidros ou o uso de vidro duplo ou triplo em esquadrias, uso de forro de PVC ou de gesso (que garante melhor desempenho acústico), revestindo a parede com placas de cortiça reciclada, pois é um material com bom desempenho acústico, e com o plantio de vegetação nativa, preferencialmente árvores com copa média ou grande.

## 2.4 Iluminação natural

A luz natural que incide sobre os ambientes internos pode ser classificada em: luz emitida diretamente do sol, luz difundida na atmosfera e luz refletida no entorno (MEDEIROS, 2012).

Figura 13: Fontes de luz natural que iluminam os ambientes internos



Fonte: MEDEIROS, 2012.

Onde, de acordo com Medeiros (2012, p.21):

**CC - Componente Celeste:** É a relação entre a iluminação diurna em um ponto interior do local dividida unicamente pela luz que provém diretamente da abóbada celeste e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada de um céu coberto normal.

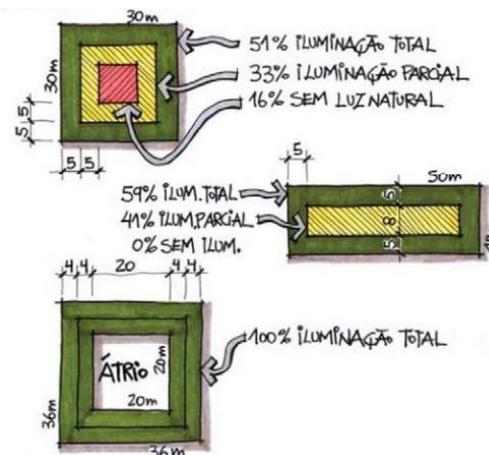
**CRE - Componente Refletida Externa:** É a relação entre a iluminação diurna em um ponto interior do local, que recebe luz unicamente das superfícies externas por reflexão direta e a iluminação exterior simultânea sobre um plano horizontal iluminado pelo da abóbada de um céu coberto normal.

**CRI - Componente Refletida Interna:** É a relação entre a iluminação diurna em um ponto interior do local, que recebe luz unicamente por reflexão das superfícies interiores e a iluminação exterior simultaneamente sobre um plano horizontal iluminado pelo total da abóbada celeste de um céu coberto normal.

As estratégias na arquitetura para um bom aproveitamento de iluminação natural consistem em componentes que trabalham em função “sequestrar” a luz e evitar o ganho excessivo de calor nos ambientes internos.

- **Pátios e Átrios** consistem em um espaço luminoso interno envolvido lateralmente por paredes e coberto por material translúcido que permitem a passagem da luz a ambientes internos, ou mesmo sem cobertura no caso dos pátios. A quantidade de luz disponível depende de fatores como a área de transparência da cobertura, refletância das paredes internas e disposição do espaço (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

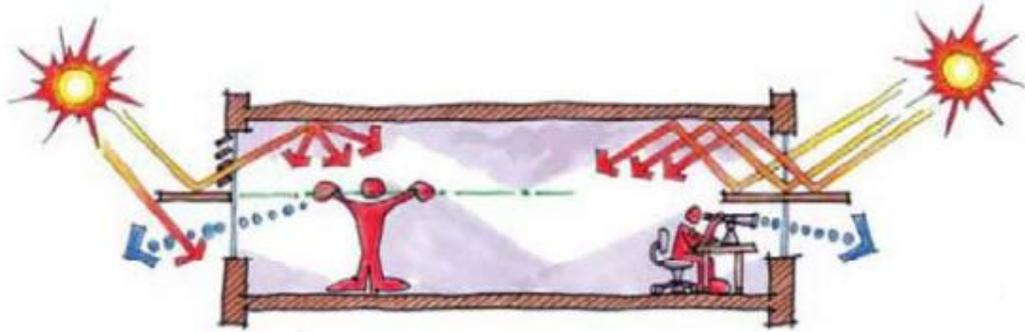
Figura 14: Iluminação natural em função da disposição do espaço



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

- **Prateleira de Luz (light shelves)** permite a entrada de luz e previne o ofuscamento quando colocada acima das janelas, nessa disposição a janela que está abaixo é usada para contato visual com o exterior. As prateleiras de luz permitem a melhora na qualidade de luz que incide sobre o ambiente e possibilita a iluminação mais profunda internamente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

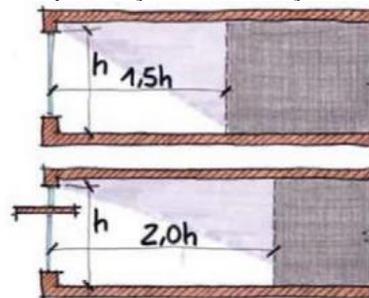
Figura 15: Representação da iluminação natural com prateleira de luz



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Para o melhor pré-dimensionamento da incidência de luz no ambiente é considerado que a área de iluminação será 1,5 vezes a altura de uma janela padrão e 2 vezes a altura de uma janela com prateleira de luz.

Figura 16: Dimensionamento da penetração de iluminação no ambiente com prateleira de luz



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

- **Cores** claras tem maiores índices para refletir a iluminação no interior dos ambientes. O uso de cores claras em fachadas e paredes externas são boas para refletir a luz natural ao interior dos ambientes (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 17: Hierarquia para refletância ideal do ambiente interno em função da posição da janela



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

- **Posicionamento das janelas** permite a penetração da luz natural no ambiente, com as variantes da altura da janela, distribuição pelo ambiente interno e presença de prateleira de luz. No sentido de reduzir o ganho de calor no verão e perda de calor no inverno admite-se que a área de todas as janelas não ultrapasse 20% da

área do ambiente. É importante distribuir harmonicamente as janelas pelas paredes do ambiente, deixando-as espaçadas quando for em apenas uma parede, e se possível dispor de janelas em mais de uma parede favorecendo a iluminação bilateral e reduzindo o ofuscamento (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 18: Distribuição das janelas no ambiente interno



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

- **Iluminação Zenital** é a porção de luz que adentra o ambiente através de aberturas na face superior da edificação. Tem sua principal vantagem em relação às janelas o melhor aproveitamento de luz natural uniformemente ao longo dia, porém em desvantagem há maior incidência de irradiação solar no ambiente (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

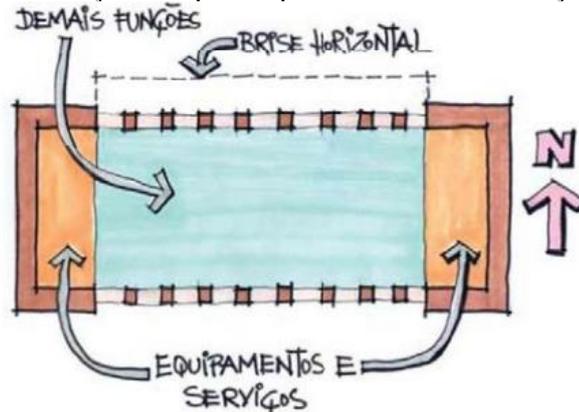
Figura 19: Tipos de iluminação zenital



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

- **Orientação** da edificação é fundamental para que seja possível aproveitar as vantagens da iluminação natural e reduzir suas desvantagens. A melhor orientação para esse aproveitamento é a Norte, pois desta forma facilita sombrear as aberturas laterais. Em seguida tem a orientação Sul quando se deseja qualidade na incidência de luz natural branca fria, além de reduzir o ofuscamento. As piores orientações são a Leste e Oeste pois recebem incidência solar direta com maior intensidade no verão e menor no inverno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014).

Figura 20: Orientação ideal para o aproveitamento de iluminação natural



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Um projeto com bom aproveitamento da iluminação natural tira proveito de suas vantagens e tende a reduzir as desvantagens, também define como prioridades os valores de iluminância e distribuição necessária de luz para as atividades em cada ambiente.

Tabela 2 - Iluminância (lux) por classe de tarefas visuais

Classe	Iluminância	Tipo de atividade
A Iluminação geral para áreas usadas interruptamente ou com tarefas visuais simples	20 – 30 – 50	Áreas públicas com arredores escuros
	50 – 75 – 100	Orientação simples para permanência curta
	100 – 150 – 200	Recinto não usado para trabalhos contínuo; depósitos
	200 – 300 - 500	Tarefas com requisitos visuais limitados, trabalho bruto da maquinaria, auditórios
B Iluminação geral para área de trabalho	500 – 750 – 1000	Tarefas com requisitos visuais normais, trabalho médio de maquinaria, escritórios
	1000 – 1500 – 2000	Tarefas com requisitos especiais, gravação manual, inspeção, indústria de roupas
C Iluminação adicional para tarefas visuais difíceis	2000 – 3000 - 5000	Tarefas visuais exatas e prolongadas, eletrônica de tamanho pequeno
	500 – 7500 – 10000	Tarefas visuais muito exatas, montagem de microeletrônica
	1000 – 15000 - 20000	Tarefas visuais muito especiais, cirurgia

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado de Lamberts, Dutra e Pereira, 2014)

O uso racional da iluminação nos ambientes internos está diretamente ligado ao consumo de energia, desta forma é fundamental que seja considerado a tarefa a ser exercida em cada ambiente durante seu planejamento.

Figura 21: Iluminação de tarefa



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

De acordo com Medeiros (2012, p.22) a luz nos espaços pode imprimir-lhes diferentes aspectos, como: valorização do ambiente, aspecto de alegria e a percepção do espaço exterior, amenizando a sensação de confinamento.

Cumprindo estes requisitos, o projeto está bem direcionado no sentido de alcançar bons níveis de iluminação, proporcionando melhor eficiência energética, desempenho energético e redução de custos de consumo.

## 2.5 Ventilação Natural

A ventilação natural é um recurso que otimiza internamente os ambientes como estratégia para se conseguir um conforto térmico. A diferença de densidade faz com que o ar quente suba e crie um gradiente de pressão, desta forma para gerar a movimentação do ar no ambiente é necessário posicionar devidamente as aberturas na edificação, resultando na ventilação cruzada, que por sua vez ocorre de forma horizontal ou vertical.

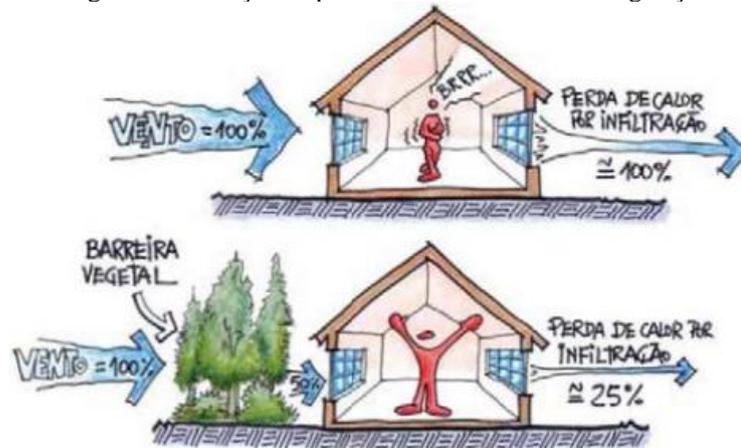
Os ventos do verão devem ser aproveitados para o resfriamento dos ambientes internos, enquanto no inverno é desejável evitar a ventilação excessiva para reduzir a perda de calor na edificação.

Nos períodos quentes, o uso da ventilação pode prejudicar o desempenho térmico das edificações construídas com materiais de elevada inércia térmica, segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2010, p.42) isto acontece porque os componentes construtivos, principalmente paredes e cobertura, armazenam o calor advindo do exterior. Desta forma, para uma edificação com elevada inércia térmica, utiliza-se algumas estratégias para que seja mantido o conforto térmico na edificação, como restringir a entrada de ventilação no verão em períodos do dia com

a temperatura mais crítica (entre 11h e 15h) e utilizar moderadamente a ventilação no inverno para evitar a perda de calor internamente (MEDEIROS, 2012).

O uso da vegetação como componente para a ventilação natural pode agir de diversas formas de acordo com o que se deseja para o conforto climático nos interiores de uma edificação.

Figura 22: Redução de perda de calor com uso da vegetação



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

As árvores com copas mais altas são melhores para sombrear a edificação da forte incidência solar e permite o livre acesso da ventilação natural.

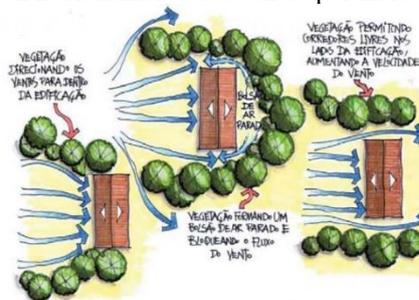
Figura 23: Copas altas permitem a melhor circulação da ventilação



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Há também a alternativa de direcionar a ventilação natural favoravelmente a edificação, criando microclimas agradáveis.

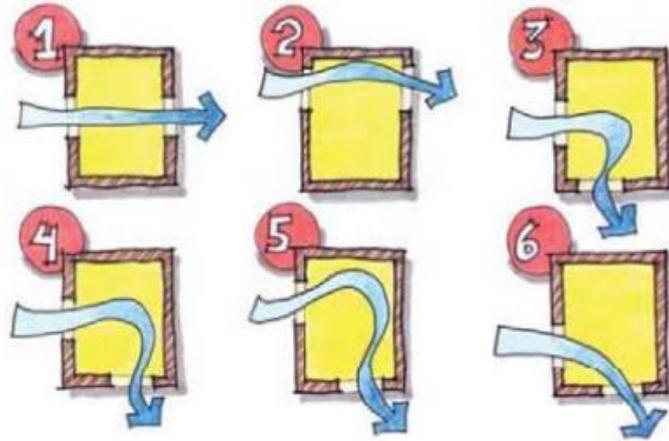
Figura 24: Direcionamento dos ventos por meio da vegetação



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

A estratégia da ventilação cruzada para o melhor aproveitamento de ventilação natural é uma das mais eficazes, pois basta dispor de abertura em diferentes paredes pelo ambiente e ter conhecimento básico da orientação dos ventos na região.

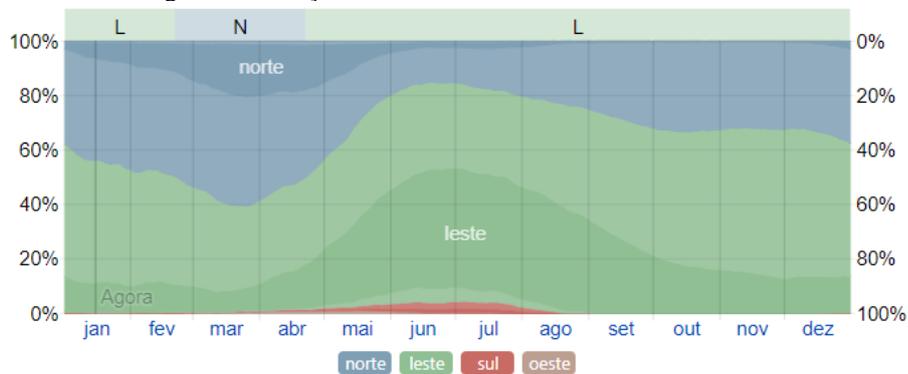
Figura 25: Fluxo de ar determinado pelo posicionamento das aberturas



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Em São Luís, o direcionamento dos ventos varia durante o ano, sendo predominante entre Norte e Leste em alguns períodos, como demonstra o gráfico abaixo onde foi feita uma análise da ventilação na cidade durante um ano.

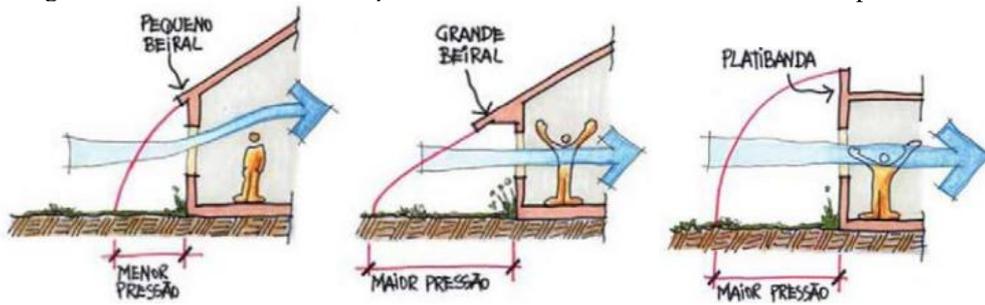
Figura 26: Direção dos ventos em São Luís durante um ano



Fonte: weatherspark.com.br

É possível obter um bom índice de ventilação natural por meio de técnicas construtivas que auxiliam e direcionam o fluxo de ar, como o caso do dimensionamento de beirais, uso de peitoril ventilado que permite a entrada de ventilação por baixo das janelas, além de itens como venezianas e elementos vazados que podem regular o nível de ventilação adequada para determinado ambiente.

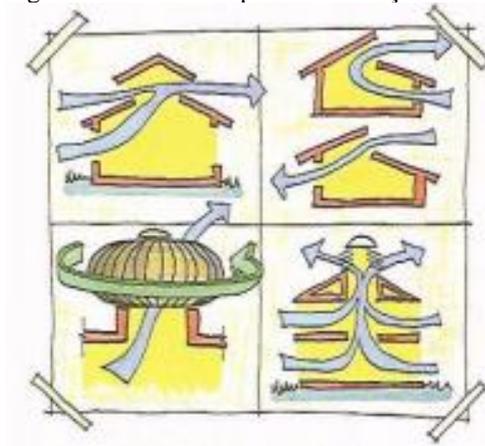
Figura 27: Influência do beiral e platibanda no direcionamento do fluxo de ar para o interior



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2014.

Para a retirada do ar quente que acumula na parte superior da edificação utiliza-se métodos de ventilação vertical que criam um fluxo de ar ascendente gerado por aberturas em diferentes níveis (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 2010). Há diversas formas de se conseguir a ventilação vertical como o uso de lanternins, aberturas no telhado e exaustores eólicos.

Figura 28: Diversos tipos de ventilação vertical



Fonte: Lamberts, Dutra e Pereira, 2010.

O uso de técnicas para ventilar a edificação torna-se necessária em regiões de clima seco e úmido como São Luís, além de ser uma medida que garante a higienização do ambiente com a troca de ar, promove mais bem-estar e eficiência energética a edificação.

## 2.6 Edificações mais sustentáveis

As edificações consideradas sustentáveis são aquelas projetadas e construídas respeitando aspectos ambientais, sociais, entre outros. O consumo de recursos naturais, logística no transporte dos materiais, reutilização das sobras para outras obras, além da destinação correta do entulho, são umas das diversas medidas que caracterizam o processo de validação para edificação sustentável.

A indústria da construção civil é uma das que mais consomem recursos como água e energia no mundo. Nos EUA as edificações representam 48% do consumo total de energia e 73,1% do consumo de eletricidade, 30% das emissões de GEE e 30% das matérias-primas (MEDEIROS, 2012).

Dentre os diversos impactos ambientais causados pelo descarte irregular dos resíduos da construção civil está a degradação dos espaços disponíveis na cidade, como afirma Dijkema<sup>4</sup> et al. (2000, *apud* MEDEIROS, 2012, p.13) os entulhos correspondem mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos em cidades de médio e grande porte no Brasil.

Figura 29: Valores percentuais da origem de resíduos da construção civil



Fonte: ESPINELLI, 2005.

A redução do volume do entulho causado pela construção civil pode ocorrer através do reaproveitamento de materiais que sobraram em obras futuras, e também há a reciclagem dos materiais atribuindo-os novas funções.

Tabela 3 - Tabela das taxas de desperdício de materiais na obra

Materiais	Taxa de Desperdício		
	Média	Mínimo	Máximo
Concreto usinado	9	2	23
Aço	11	4	16
Bloco e tijolos	13	3	48
Placas cerâmicas	14	2	50
Revestimento têxtil	14	14	14
Eletrodutos	15	13	18
Tubos para sistemas prediais	15	8	56
Tintas	18	8	24
Condutores	27	14	35
Gesso	30	14	120

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020 (Adaptado de ESPINELLI, 2005)

Sendo assim, torna-se fundamental planejar as etapas de execução da edificação, gerenciando o uso, aplicação e destinação final dos materiais. Além disso, outros fatores que determinam a sustentabilidade de um edifício estão relacionados ao aproveitamento ao máximo da iluminação natural em ambientes internos, sistemas de reaproveitamento de água da chuva,

<sup>4</sup> Referência bibliográfica de obra não consultada

uso de equipamentos que reduzem o consumo de água e energia, e também proporcionar uma relação harmoniosa entre a edificação e seu entorno.

## **2.7 Certificações para arquitetura sustentável no Brasil**

Nos últimos 10 anos a população brasileira aumentou consideravelmente, e consigo o número de residências também vem crescendo. Essa demanda populacional requer serviços básicos que atendam seu modo de vida, isto quer dizer que a demanda da distribuição de recursos naturais como água potável e energia elétrica aumenta proporcionalmente ao número de moradias.

O abastecimento de energia elétrica compõe cerca de 99,8 % das residências em áreas urbanas, o que acaba sobrecarregando as atividades nas hidrelétricas, acarretando no aumento do valor da conta aos usuários. A construção civil mundial é responsável por 40% dos resíduos acumulados e por 40% do consumo de energia do mundo, um sexto do consumo de água fresca e um quarto de toda madeira colhida, segundo uma pesquisa da UNEP (GRANEMANN, 2012).

O Ministério de Planejamento e Orçamento (MPOG), publicou em 2014 uma Instrução Normativa (IN) que informa que os edifícios públicos deverão dispor de etiquetas de eficiência energética. No intuito de promover uma maior economia do uso de energia elétrica no setor público, além de servir como exemplo para a conscientização de edifícios residenciais pelo país. Esta etiqueta classifica as edificações em diferentes níveis, sendo A o mais eficiente, e E o maior consumidor de energia elétrica.

No entanto, o Brasil já possui um histórico sobre certificações ambientais para residenciais que buscam promover uma pegada ecológica desde o seu método construtivo até o modo de funcionamento de suas atividades. O Selo Procel Edifica, criado pela ELETROBRAS/PROCEL em 2003, foi a primeira certificação genuinamente brasileira a ser aplicada para avaliar edificações sustentáveis, e anos depois a Caixa Econômica Federal lançaria o Selo Casa Azul (2010) para construções habitacionais. Além destes, os selos mais utilizados no Brasil são o LEED, certificação mais difundida mundialmente, e o selo AQUA, desenvolvida pela Fundação Vanzolini em 2008, e que é baseado na certificação francesa HQE.

### 2.7.1 Selo Procel Edifica

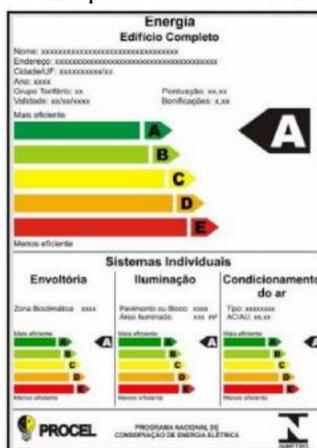
Em 2003 a ELETROBRAS/PROCEL desenvolveu o Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações ou Procel Edifica, e em 2009 foi lançada a etiquetagem para avaliação de desempenho energético para edificações comerciais e públicas, e no ano seguinte para edifícios residenciais. O intuito do Selo Procel Edifica é incentivar a racionalização do consumo de energia elétrica nas edificações brasileiras, além do uso de iluminação e ventilação natural.

A etiquetagem das edificações é baseada em seu nível de consumo, variando em A (mais econômico) e E (que mais consome). Em edifícios comerciais, de serviços e públicos são analisadas as eficiências de três sistemas: a envoltória, iluminação e condicionamento de ar, para se obter a pontuação geral, calculada com base na avaliação de cada sistema individual associado à um peso (BARROS, BASTOS, 2015).

Em edifícios residenciais são avaliadas a envoltória, o sistema de aquecimento de água, e os sistemas presentes nas áreas comuns dos edifícios multifamiliares, como iluminação, elevadores, entre outros.

O programa faz uma avaliação em duas etapas: a primeira irá avaliar o projeto do edifício, e a segunda consiste em uma avaliação no edifício construído, onde será verificado se os itens avaliados no projeto foram seguidos na construção, após a confirmação será emitido a Etiqueta do Edifício Construído.

Figura 30: Etiqueta de Eficiência Energética



Fonte: NOVIS, 2014.

### 2.7.2 Selo Casa Azul Caixa

A Caixa Econômica Federal, lançou em 2010 o Selo Casa Azul, que possui adesão voluntária e tem como objetivo incentivar o uso racional de recursos naturais na construção de

empreendimentos habitacionais, reduzir o custo de manutenção dos edifícios e as despesas mensais de seus usuários.

O selo é disponível para todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais apresentados à CAIXA para financiamento ou nos programas de repasse, podendo candidatar-se empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades representantes de movimentos sociais (BARROS, BASTOS, 2015).

O método de avaliação consiste na verificação do atendimento a 53 critérios pré-estabelecidos, distribuídos em seis categorias que orientam a classificação do projeto. As categorias são: Qualidade Urbana; Projeto e Conforto; Eficiência Energética; Conservação de Recursos Materiais; Gestão da Água e Práticas Sociais.

Além disso, para a obtenção do selo, a Caixa estipula pré-requisitos gerais de projeto, como o atendimento às regras da Ação Madeira Legal e às normas dos programas operacionalizados pela CAIXA de acordo com a linha de financiamento ou produto de repasse.

O selo é dividido em três possíveis gradações que se dividem nas categorias bronze, prata e ouro.

Figura 31: Selo Casal Azul Ouro, Prata e Bronze, respectivamente



Fonte: CAIXA ECONOMICA FEDERAL, 2010.

### 2.7.3 Certificação LEED

A certificação LEED foi desenvolvida em 1998, por um grupo de ambientalistas e instituições e corporações em prol do meio ambiente chamado USGBC (US Green Building Council), o grupo trabalha para criar espaços melhores, mais confortáveis e mais saudáveis para as pessoas viverem. O grupo USGBC desenvolve diferentes trabalhos como o LEED, a Greenbuild International Conference & Expo, no Brasil ele promove a capacitação dos profissionais dos vários elos do setor e a disseminação da certificação LEED (BARROS, BASTOS, 2015).

A certificação LEED tem como um dos principais objetivos reduzir a quantidade de carbono gerada na construção civil, além de desenvolver o setor sustentável na área com projetos sofisticados e novos produtos. A certificação surge em 8 categorias, cada uma possui diferentes pontuações e requisitos de avaliação (BARROS, BASTOS, 2015).

- LEED NC® (New Construction & Major Renovation): Novas construções ou grandes reformas;
- LEED CS® (Core & Shell): Envoltória do empreendimento e sua estrutura principal, destinado às edificações que comercializarão o espaço interno depois;
- LEED CI® (Commercial Interiors): Escritórios de alto desempenho; 42
- LEED ND® (Neighborhoods Developments): Bairros e desenvolvimento de comunidades;
- LEED Schools®: Concepção e construção de escolas;
- LEED EB® (Existing Buildings): Eficiência operacional e manutenção de edifício já existente;
- LEED Healthcare®: Unidades de saúde;
- LEED Retail NC e CI®: Lojas de varejo.

De acordo com Barros e Bastos (2015, p.42) apesar das diferentes categorias disponíveis, todas as categorias são avaliadas em sete dimensões que darão origem a subdivisões em áreas específicas pontuáveis. Dentre as dimensões estão o espaço sustentável, a eficiência no uso da água, energia e atmosfera, materiais e recursos, qualidade ambiental interna, inovação e processos e créditos de prioridade regional.

Cada quesito citado possui um peso diferente na avaliação, e a soma de todos os quesitos irá determinar o nível de desempenho ambiental da construção. Para todos os níveis existe um diferente selo LEED determinado.

Figura 32: Níveis de certificação LEED

Nível	Pontuação
LEED 	40 - 49
LEED Silver 	50 - 59
LEED Gold 	60 - 79
LEED Platinum 	+80

Fonte: Barros e Bastos, 2015.

No Brasil as categorias com maior aderência são o LEED CS® e o LEED NC®, e os estados com mais certificações são o Rio de (12%), e São Paulo (66%). Segundo Barros e Bastos (2015, p.43) a grande adesão da construção civil ao selo é explicada pelo fato de existir uma gama de empresas multinacionais no Brasil, que introduzem a cultura da sustentabilidade e o reconhecimento internacional da certificação LEED.

#### 2.7.4 Certificação AQUA-HQE

O selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é uma versão brasileira da etiquetagem francesa HQE (Haute Qualité Environnementale), criado em 2002 baseado em referenciais de desempenho do Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), no Brasil a etiquetagem foi desenvolvida em 2008 pela Fundação Vanzolini.

Essa certificação baseia-se na análise do local do empreendimento e de suas necessidades, buscando proporcionar conforto ao usuário, respeitando o meio ambiente, atendendo a legislação e obtendo viabilidade econômica. Hoje é utilizada tanto para edifícios residenciais como não residenciais, entre eles escritórios, hotéis, restaurantes e aeroportos (BARROS; BASTOS, 2015).

O processo de certificação é dividido em duas etapas, como afirma Barros e Bastos (2015):

- Qualidade Ambiental do Edifício (QAE), que avalia o desempenho arquitetônico e técnico da edificação;
- Sistema de Gestão do Empreendimento (SGE), que avalia o sistema de gestão a ser implementado pelo empreendedor e que permite o planejamento, a operacionalização e o controle de todas as etapas do desenvolvimento do projeto;

A avaliação da QAE dividida em 14 categorias de preocupação ambiental, classificando-as em diferentes níveis de desempenho.

Tabela 4: Categorias de preocupação ambiental da AQUA

Meio Ambiente		Conforto	
Categoria 1	Relação do edifício com o seu entorno	Categoria 8	Conforto hidrotérmico
Categoria 2	Qualidade dos componentes	Categoria 9	Conforto acústico
Categoria 3	Canteiro sustentável	Categoria 10	Conforto visual
Categoria 6	Gestão dos resíduos	Categoria 11	Conforto olfativo
Energia e Economia		Saúde e Segurança	
Categoria 4	Gestão de energia	Categoria 12	Qualidade dos espaços
Categoria 5	Gestão de água	Categoria 13	Qualidade sanitária do ar
Categoria 7	Gestão de conservação e da manutenção	Categoria 14	Qualidade sanitária da água

Fonte: Acervo do Autor, 2020 (Adaptado de Barros e Bastos, 2015)

O sistema de gestão SGE está dividido em cinco etapas:

- Comprometimento: Tanto do empreendedor como de todos os envolvidos com o perfil de QAE almejado;
- Implementação e Funcionamento: Estrutura, competência, contratos, comunicação, planejamento, documentação para todas as fases da obra;
- Gestão do Empreendimento: Acompanhamento e análise, avaliação da QAE, correções e ações corretivas;
- Aprendizagem: Balanço do empreendimento;
- Serviços Relacionados a Edifícios Habitacionais (apenas para essa tipologia de edifícios): Venda e aluguel de unidades.

Existem cinco classificações possíveis, dependendo do total de estrelas obtidas num total máximo de 16 estrelas conquistadas. As possíveis classificações são:

- Nenhuma estrela e atendimento no nível base em todos os critérios dentro das 14 categorias: AQUA PASSA
- De 1 a 4 estrelas: AQUA BOM
- De 5 a 8 estrelas: AQUA MUITO BOM
- De 9 a 11 estrelas: AQUA EXCELENTE
- 12 estrelas ou mais (com pelo menos 3 estrelas obtidas no tema energia, para edifícios comerciais): AQUA EXCEPCIONAL

Segundo Barros e Bastos (2015, p.46), para que a certificação seja concedida, o empreendimento terá que passar por três auditorias presenciais ao longo do desenvolvimento da obra, a fim de se verificar que todos os critérios estejam sendo atendidos. Após cada uma das três auditorias é emitido um relatório, gerando um certificado diferente para cada etapa da obra.

## **2.8 Sistema Fotovoltaico integrado à arquitetura**

Os Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação (SIFIE) são uma categoria ainda recente e pouco utilizada no Brasil, porém já vem sendo implementada em diversos países da Europa. Os SIFIEs surgem como novo conceito estético para a arquitetura, pois podem ser aplicados tanto em telhados como em fachadas, servindo como fonte de energia e diferencial arquitetônico na edificação.

As estimativas são de que haverá uma constante evolução no uso de energia fotovoltaica integrada à arquitetura, e dessa forma, potencializando a prática de eficiência energética nos países europeus, como afirma Pinho e Galdino (2014, p.292):

Há projeções de que em 2050 na Europa se consiga alcançar um patamar de eficiência energética de forma a reduzir em 50% os gastos com aquecimento e ar condicionado de ambientes em relação aos valores verificados em 2012, por meio da utilização da geração próxima à carga e da adoção conjunta de projetos, construções e uso de materiais que privilegiam o melhor uso da energia, sem, contudo, penalizar o bem-estar dos usuários das edificações.

A grande vantagem da SIFIE é que a energia gerada pelas placas pode ser utilizada totalmente pela edificação, dispensando o uso da rede de transmissão e distribuição, diminuindo também o consumo com a rede concessionária (PINHO E GALDINO, 2014).

Muitas vezes, a instalação de um Sistema Fotovoltaico acontece em uma edificação já existente, atribuindo apenas seu uso à sua função, potencializar a geração de energia e diminuir custos de conta, não preocupando-se em atribuir um valor estético que os módulos FV podem oferecer à arquitetura.

Há uma discussão sobre a integralização do gerador FV na edificação, o que poderia comprometer com seu desempenho, visto que os módulos não estariam dispostos corretamente (posição e ângulo) para se aproveitar ao máximo da incidência solar.

Figura 33: Planta piloto do megawatt solar em Florianópolis



Fonte: PINHO E GALDINO, 2014

Em latitudes baixas, região entre os Trópicos e o Equador, são mais indicadas para SIFIEs mesmo em orientações não ideais, pois são pouco suscetíveis a desvios azimutais e de inclinação (PINHO E GALDINO, 2014).

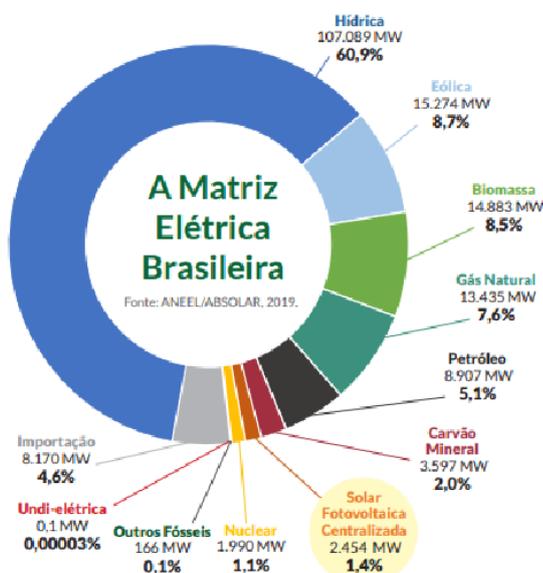
### **3. POTENCIAL DA ENERGIA SOLAR NO PAÍS**

#### **3.1 Cenário atual do mercado da Energia Fotovoltaica no Brasil**

Em 2018, o Brasil instalou cerca de 1,2 GW em energia fotovoltaica, totalizando 2,4 GW de capacidade instalada acumulada, segundo dados divulgados pela Absolar em 2019. Esses números ainda são bem inferiores em relação as maiores potências desse setor no mundo, como por exemplo a Coreia do Sul com 7,9 GW de potência acumulada, e ocupa o 10º lugar no ranking mundial.

A energia solar ocupa apenas 1,4% da matriz elétrica brasileira, gerando cerca de 2.454 MW de energia.

Figura 34: Matriz elétrica brasileira



Fonte: Absolar, 2019

A Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) tem trabalhado constantemente para atualizar dados sobre o mercado da energia fotovoltaica em diversos segmentos no país. De acordo com os dados mais recentes, o país possui uma potência operacional de solar fotovoltaica de 4.042,8 MW, dividido em 2.453,9 MW em Geração Distribuída e 1.588,9 MW em Micro e Mini geração (ABSOLAR, 2019).

Há um ranking atualizado constantemente, que dispõe sobre os estados que possuem potência instalada de energia solar, o Maranhão ocupa o 17º lugar.

### 3.1.1 Linhas de crédito e financiamento do mercado fotovoltaico

Em grande maioria opta-se por linhas de crédito e financiamento ao investir em energia fotovoltaica, seja para consumo próprio ou para montagem de empresa nesse seguimento, e os bancos que atualmente oferecem essas linhas de crédito e financiamento são:

- Banco do Brasil: Linha de Financiamento BB Crédito Material e Construção; PRONAF ECO

- Banco do Nordeste: FNE Verde; FNE Sol; Banco Nacional do Desenvolvimento
- Caixa Econômica Federal: Construcard;
- Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES): Linha de Energias Alternativa; Programa Fundo Clima;
- Santander: Santander Financiamentos;
- Bradesco: CDC Aquecedores Solares;

### 3.1.2 Tributações do mercado de energia solar fotovoltaica

Os tributos que incidem sobre os produtos de um Sistema Fotovoltaico são os seguintes: ICMS, PIS, COFINS, IPI E II. Esses tributos atuam de forma a regular direta ou indiretamente a venda e a compra de um Sistema Fotovoltaico.

A partir do convênio ICMS 16/15 do CONFAZ, os estados passaram a permitir a isenção do ICMS sobre a energia injetada na rede da distribuidora de energia elétrica, essa medida irá beneficiar os minis e micro geradores com potência de até 1 MW.

### 3.1.3 Iniciativas do mercado da Energia Fotovoltaica

Embora o mercado ainda esteja longe do ideal, há diversas iniciativas do mercado fotovoltaico que visam divulgar informações sobre a energia solar no Brasil, detalhando novas metas e estatísticas, além de ser suporte para quem deseja conhecer mais sobre a área.

Das mais conhecidas estão a: Associação Brasileira de Energia Solar (ABSOLAR); Programa Solcial; Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina (Ideal); Portal Solar; Programa de Desenvolvimento da Geração de Energia Elétrica (ProGD).

## 3.2 Potencial no Brasil

O desenvolvimento a respeito de energia fotovoltaica no Brasil teve início nos anos 50, com o Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e o Centro Tecnológico de Aeronáutica (CTA), onde foi realizado o Primeiro Simpósio Brasileiro de Energia Solar (PINHO E GALDINO, 2014).

Porém, com o passar dos anos a tecnologia fotovoltaica foi entrando em defasagem em relação a países mais desenvolvidos como Alemanha, Japão e China. Isto se deu por conta

da falta de investimentos tecnológicos e industriais no uso de energia solar, que até então tinha como maior evolução a criação e desenvolvimento de células fotovoltaicas em satélites brasileiros. No final dos anos 90, iniciou-se o desenvolvimento de células fotovoltaicas de CdS/CdTe e de silício amorfo hidrogenado em vários centros de pesquisa, sendo obtidas eficiências da ordem de 6% e 7%, respectivamente (PINHO E GALDINO, 2014, p.56).

Este contexto passou a mudar em 2004, com a criação do Centro Brasileiro para Desenvolvimento da Energia Solar Fotovoltaica (CB-Solar), que teve como principais ações a promoção de I e II Simpósio Nacional de Energia Solar Fotovoltaica (SNESF), e o desenvolvimento inicial de tecnologia para fabricação de células fotovoltaicas de silício cristalino e de módulos fotovoltaicos, sendo incluído uma análise técnico-econômica de sua produção em escala industrial.

Atualmente, há no Brasil laboratórios, centros de pesquisa, equipes especialistas, e demais profissionais que se empenham no estudo e desenvolvimento de tecnologia para a purificação do silício, células e módulos fotovoltaicos, inversores e controladores de carga. No entanto, o aperfeiçoamento tecnológico ainda é inferior comparado a países mais desenvolvidos nesse ramo (PINHO E GALDINO, 2014).

O Brasil possui uma imensa área territorial, não atoa é considerado informalmente como um “país continente”. Toda essa extensão territorial, somado ao clima tropical, recebe elevados índices de irradiação solar, superando países europeus, onde há a maior disseminação de tecnologia solar global.

Segundo Swera<sup>5</sup> (2006, *apud* PINHO E GALDINO, 2014, p.27) a irradiação média anual brasileira varia entre 4,2 a 6,3 kWh/m<sup>2</sup> (condição favorável para o investimento nesse setor), bem acima da média da Europa.

De acordo com dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia (2015) demonstram que a região Nordeste recebe maiores índices e melhores condições de irradiação solar global comparado às outras regiões no Brasil, e maior taxa de irradiação solar global acontece na fronteira da Bahia com o Piauí, com média de 6,5 kWh/m<sup>2</sup>.

Estudos mais recentes demonstram um leve crescimento referente à micro e mini geração distribuída de energia elétrica no país, muito disso ocorre por incentivos baseados em ações regulatórias como a que oferece a possibilidade de compensação da energia excedente produzida em sistemas menores ligados a rede pública. Também surgem como fatores de atratividade para o crescimento exponencial nesse setor, a disponibilidade em abundância de

---

<sup>5</sup> Referência bibliográfica de obra não consultada

matéria prima que compõe a cadeia fotovoltaica, além dos fatores climáticos já citados, que elevam o potencial de crescimento do mercado de tecnologia solar no país.

Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar - Absolar (2020), as instalações de geração de energia solar trouxeram investimentos acumulados à economia de R\$8,4 bilhões desde 2012, e para 2020 os investimentos nesse setor devem ultrapassar R\$19,7 bilhões, sendo 83% resultante de instalações comerciais e residenciais.

### 3.3 Base de dados da frequência de irradiação solar no Brasil

Para que seja possível montar um dimensionamento eficiente para um projeto solar fotovoltaico, seja ele de pequena, média ou grande escala, é necessário que se obtenha informações precisas a respeito dos níveis de irradiação solar média na região a ser instalado.

No Brasil existem algumas bases de dados consolidadas que fornecem informações sobre irradiação solar:

**Atlas Solarimétrico do Brasil** é um estudo desenvolvido através do convênio FADE-UFPE/CEPEL e lançado em 2000, cujo o resultado foi obtido através de um mapeamento do recurso solar nacional por meio da consolidação de dados solarimétricos medidos em estações terrestre, localizadas no território brasileiro (CRESESB, 2017).

**Atlas Brasileiro de Energia Solar** foi desenvolvido dentro do escopo pelo projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) em parceria entre a DMA / CPTEC / INPE e o LEPTEN / UFSC. Foi publicado em 2006 pelo INPE em formato PDF e a sua base de dados utilizada em formato geocode SHP (shapefile) (CRESESB, 2017).

**Atlas Solarimétrico de Minas Gerais** foi elaborado em 2012 pela CEMIG dentro do projeto de P&D da Aneel (CRESESB, 2017).

**Energia Solar Paulista: Levantamento do Potencial**, elaborado em 2013 e reúne 25 mapas elaborados com análise técnica da Secretaria de Energia do Governo do Estado de São Paulo e dados do INPE (CRESESB, 2017).

**SunData** é um programa baseado num banco de dados que se destina ao cálculo da irradiação solar diária média mensal no plano inclinado em qualquer ponto do território nacional (CRESESB, 2017). Seu acesso está disponível na web pelo site do CRESESB, no intuito de oferecer suporte ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

### 3.3.1 Base de dados SunData

Com a inserção dos dados de latitude e longitude da região, a plataforma SunData disponibiliza os dados de irradiação solar em kWh/m<sup>2</sup>. dia no plano horizontal, que corresponde a médias diárias durante o mês para o ano em questão. A plataforma fornece valores correspondentes a irradiação em 3 ângulos de inclinação diferentes: o ângulo igual à latitude, o ângulo que fornece o maior valor médio diário anual de irradiação solar e o ângulo com o maior valor mínimo diário anual.

Os valores são apresentados conforme a irradiação solar diária média, mínima e máxima mensal (kWh/m<sup>2</sup>) durante todos os meses do ano, e também o delta (diferença entre a irradiação máxima e a mínima da localidade analisada).

Figura 35: Apresentação dos dados da plataforma SunData

Município:XXXXXX  
 Estado:XX  
 Latitude: XX,XX° N|S  
 Longitude:XX,XX° O  
 Distância do ponto de ref. (XX,XX° N|S; XX,XX° O) : XX,X Km

Ângulo	Inclinação [°]	Irradiação diária média [kwh/m2.dia]												Média	Delta		
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez				
Ângulo igual a latitude	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior média anual	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx
Maior mínimo mensal	XX	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx	X,xx

Fonte: CRESESB, 2020.

Os dados de irradiação solar obtidos na plataforma SunData serão utilizados no processo de análise de desempenho dos painéis solares no Capítulo 4, sendo fundamentais para a conclusão da pesquisa.

## 3.4 Resolução Normativa para Geração Distribuída

### 3.4.1 Resolução Normativa n°482/2012

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), por meio da Resolução Normativa n°482, de 17 de abril de 2012 (ANEXO A), estabeleceu condições para geração e consumo de energia elétrica através de fontes renováveis, além de critérios para o sistema de compensação de energia elétrica.

A resolução em seu art. 2° define a micro geração distribuída toda central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da Aneel, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Para mini geração distribuída, a resolução define como central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com

base em fontes de energia renovável, conforme define a regulamentação, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

A resolução também prevê um sistema de compensação de energia elétrica em que a energia ativa gerada pela unidade consumidora com micro geração distribuída ou mini geração distribuída seja injetada na rede pública, o chamado “crédito de energia”, que não pode ser revestido em dinheiro, mas poderá ser utilizado posteriormente para abater o consumo de energia elétrica da mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora da mesma titularidade da unidade onde os créditos foram gerados, desde de que possuam o mesmo CPF ou CNPJ junto ao Ministério da Fazenda.

Estas medidas tornam-se um estímulo à geração distribuída, que traz potenciais benefícios à matriz elétrica nacional como o adiamento no investimento em sistemas de transmissão, redução no carregamento das redes e baixo impacto ambiental (ANEEL, 2015).

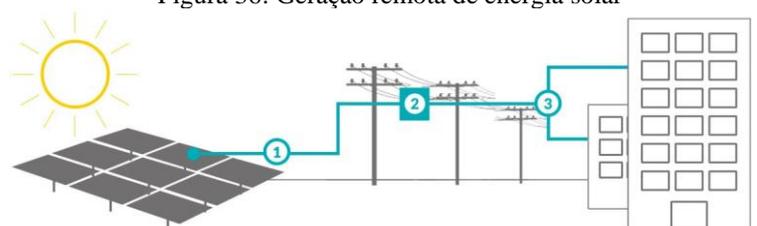
#### 3.4.2 Resolução Normativa nº687/2015

Anos depois a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº687/2015 que revisa a Resolução Normativa nº482/2012. As novas regras permitem o uso de qualquer fonte renovável, além da cogeração qualificada, denominando-se micro geração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW).

A revisão da norma também prevê alterações em relação às regras aos créditos gerados pela produção de energia excedente da unidade consumidora com micro geração ou mini geração, em que passam a ter prazo de validade que antes era 36 para 60 meses, podendo ser utilizado também ser utilizados para abater a conta de energia de unidades consumidoras do mesmo titular localizadas em outro local, desde de que estejam na mesma área de atendimento da distribuidora. Esse novo modo de utilização de energia passou a ser denominado de autoconsumo remoto.

A geração remota de energia solar traz como principais vantagens a economia de espaço e custos com manutenção, por possuir apenas um polo gerador de energia, além de beneficiar empresas ou residências instaladas em locais com pouca radiação solar (ANEEL, 2015).

Figura 36: Geração remota de energia solar



Fonte: Repensa Energia, 2020.

A “geração compartilhada” foi outra medida criada pela ANEEL para aumentar a possibilidade de geração de energia por fontes renováveis, possibilitando a criação de consórcio ou cooperativas, instalem um micro ou mini geração distribuída e utilizem da energia gerada para reduzir as faturas dos consorciados ou cooperados.

Por fim, a ANEEL estabeleceu regras que simplificam os procedimentos necessários para se conectar a micro ou mini geração distribuída à rede da distribuidora, conforme ANEEL (2015) foram instituídos formulários padrão para realização da solicitação de acesso pelo consumidor e o prazo total para a distribuidora conectar usinas de até 75 kW, que era de 82 dias, passou a ser de 34 dias.

Vale destacar que a ANEEL não estabelece o custo dos geradores e tampouco eventuais condições de financiamento, sendo de competência do consumidor analisar a relação de custo/benefício para a instalação do gerador ideal de energia renovável (ANEEL, 2015).

Também é importante que o consumidor verifique qual a sua classificação de conexão com a rede distribuidora, uma vez que para baixa tensão (Grupo B), haverá a cobrança de uma parcela de energia (ainda se tenha a “sobra” de energia gerada em relação a consumida) referente ao custo de disponibilidade, que por sua vez será equivalente ao tipo de ligação monofásica (30kW), bifásica (50kW) ou trifásica (100kW). O mesmo vale para consumidores conectados em alta tensão (Grupo A), em que a demanda energética contratada poderá ser maior que a parcela de energia excedente.

### 3.4.3 Revisão das regras de Geração Distribuída

A ANEEL decidiu abrir consulta pública entre os dias 17/10/2019 e 30/12/2019 para receber contribuições à proposta de revisão da Resolução Normativa 482/2012 referente às regras aplicáveis à micro e mini geração distribuída. Tal revisão foi prevista em 2015, pela Resolução Normativa nº687/2015 que alterava a resolução 482/2012.

O principal foco da proposta está em “aperfeiçoar” o modelo do sistema de compensação de créditos, visto os avanços em geração distribuída nos últimos anos.

Figura 37: Avanço no número de geração distribuída com a resolução normativa 482/2012



Fonte: ANEEL, 2019.

A regra atual institui que quem possui a geração distribuída está isento de pagar as tarifas de fornecimento quando faz o uso da rede distribuidora para a “injeção” de energia gerada. Com as alterações no sistema de compensação há um equilíbrio nos custos referente ao uso da rede de distribuição e os encargos, atribuindo aos consumidores de geração distribuída tais valores de uso. Segundo ANEEL (2019) isso permitirá que a modalidade se desenvolva mais e de forma sustentável.

Figura 38: Novas regras para a resolução normativa 482/2012



Fonte: ANEEL, 2019.

As novas regras passarão a valer para consumidores que desejarem fazer a instalação de sistema de geração distribuída após a publicação da norma, prevista para 2020. Para os consumidores que já possuem o sistema será mantido o faturamento atual até o ano de 2030, as mesmas regras valem para consumidores de sistema de geração remota.

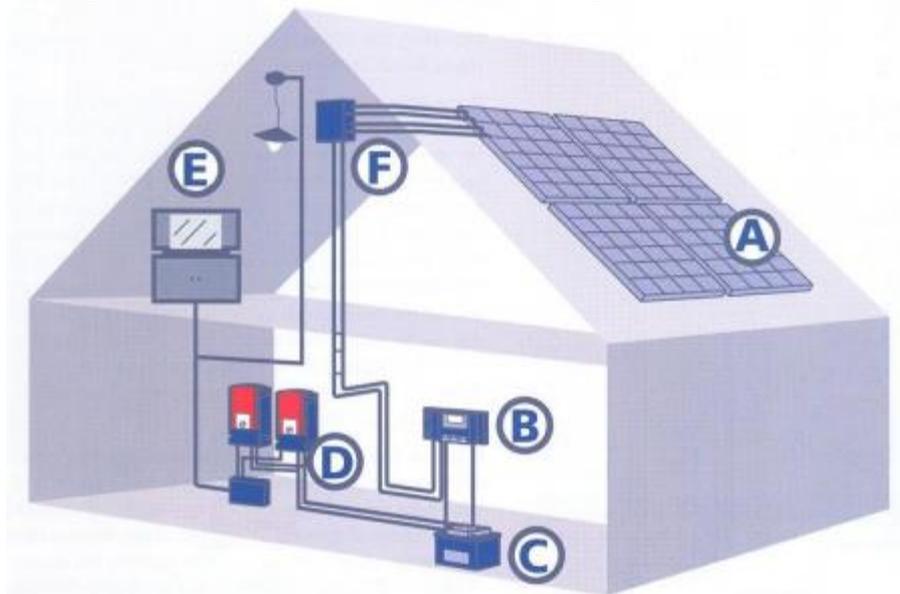
## 4. SISTEMA FOTOVOLTAICO (SF)

### 4.1 Componentes básicos do Sistema Fotovoltaico

Um sistema fotovoltaico é constituído por 3 blocos de componentes que exercem finalidades bem setorizadas, dividido em **Bloco gerador**: módulos fotovoltaicos, o cabeamento

elétrico que os interliga e a estrutura de suporte; **Bloco de condicionamento de potência:** conversores c.c-c.c., controladores de carga, seguidor de ponto de potência máxima (SPPM), inversores e demais dispositivos de proteção e controle; **Bloco de armazenamento:** baterias e outras formas de armazenamento.

Figura 39: Componentes de um sistema fotovoltaico residencial (off-grid): A-módulo fotovoltaico; B-controlador de carga; C-bateria; D-inversores; E-cargas c.a. (equipamentos elétricos); F-caixa de conexão.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

#### 4.1.1 Módulos fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas, para que se possa produzir tensão e corrente suficiente para geração da energia elétrica estas células precisam estar conectadas em arranjos e bem protegidas pelo módulo (PINHO E GALDINO, 2014).

As células de c-Si (Silício cristalino) correspondem a maior parte dos modelos de placas fotovoltaicas presentes no mercado atual, justamente por possuir em sua fabricação a matéria prima silício ultrapuro, que garante melhor eficiência no desempenho do módulo fotovoltaico. Os módulos fotovoltaicos de c-Si possuem uma garantia sobre os defeitos de fabricação de 3 a 5 anos, além de uma garantia de desempenho de até 25 anos. A degradação destes modelos instalados em campo é de 1% a 5% por ano.

A potência desse modelo fotovoltaico apresenta resultados elevados de potência em relação a placas de materiais diferentes, conforme Pinho e Galdino (2014, p.132) afirma, tipicamente é garantida uma potência de pico (Wp) mínima de 90% da potência nominal para o período dos 10 a 12 primeiros anos de operação e de 80% entre 20 a 25 anos.

Existem também os módulos fotovoltaicos de filme fino, onde os materiais que o compõem têm a característica de produzir células fotovoltaicas bastante finas, reduzindo o

consumo de energia e de materiais semicondutores para a fabricação destas células. Outro ponto importante de ressaltar nas células de filme fino é que possuem grande flexibilidade e possibilidade de serem aplicados em larga escala, não limitando apenas a arquitetura, mas também a equipamentos portáteis como celulares, calculadora, etc. (PINHO E GALDINO, 2014).

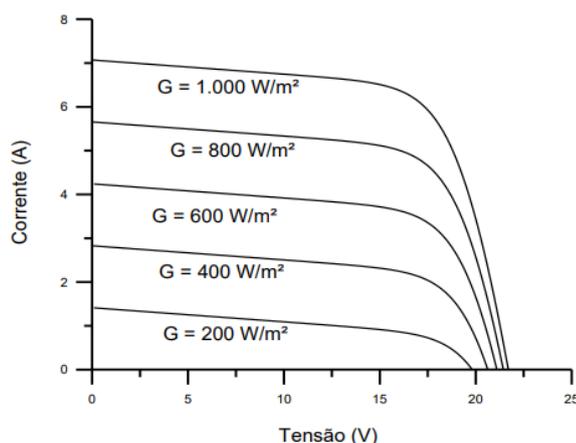
Os módulos podem apresentar características rígidas ou flexíveis, isso varia de acordo com o tipo de célula fotovoltaica que será utilizada. Para os módulos mais rígidos utilizam lâminas de vidro temperado, com baixo teor de ferro, para melhorar a transmitância de calor. Os modelos mais comuns possuem moldura com perfis de alumínio para facilitar a instalação em um painel, ou sem moldura quando utilizado como revestimento da construção (PINHO E GALDINO, 2014).

Normalmente os modelos mais rígidos são compostos pelas células de c-Si, enquanto modelos mais flexíveis são fabricados por filme fino, utilizando um material flexível como substrato, geralmente uma lâmina metálica ou um polímero (PINHO E GALDINO, 2014).

O modelo de painel fotovoltaico é geralmente identificado pela potência elétrica de pico ( $W_p$ ). A definição da potência de pico de um módulo fotovoltaico é criada nas condições-padrão de ensaio (STC – Standard Test Conditions), considerando irradiância solar de  $1.000 \text{ W/m}^2$  sob uma distribuição espectral padrão para AM 1,5 e temperatura de célula de  $25^\circ\text{C}$  (PINHO E GALDINO, 2014).

O desempenho dos módulos fotovoltaicos é influenciado principalmente por dois fatores: irradiância solar e temperatura da célula. A corrente elétrica que um módulo gera aumenta proporcionalmente ao aumento da incidência solar.

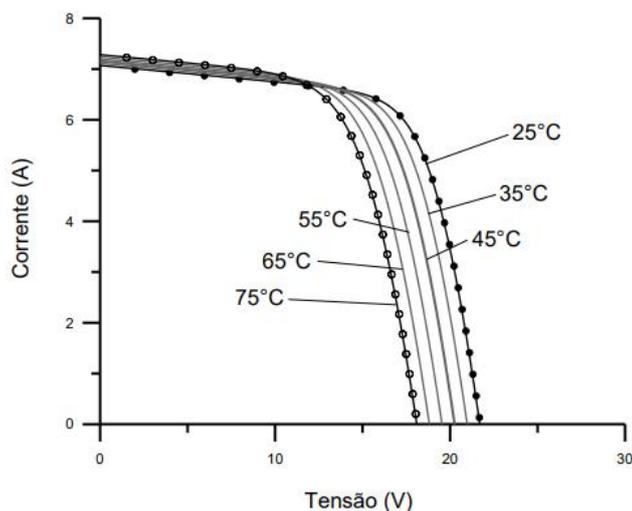
Figura 40: Efeito da irradiação solar sobre o módulo fotovoltaico



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

Em contrapartida, a variação na temperatura ambiente ocasiona na variação de temperatura das células fotovoltaicas, isso causa uma queda de tensão conforme o aumento da temperatura da célula, o que não compensa a baixa elevação da corrente elétrica.

Figura 41: Efeito da variação de temperatura ambiente sobre o módulo fotovoltaico



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

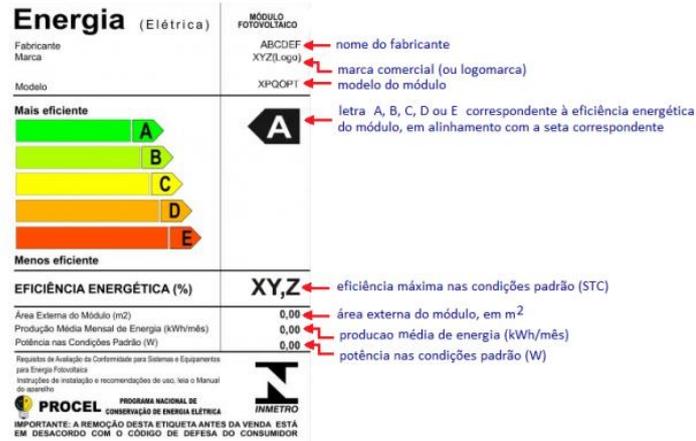
Os módulos compostos de silício amorfo (a-Si) apresentam menor influência da temperatura na potência de pico, embora também sofram redução no seu desempenho (PINHO E GALDINO, 2014, p.152).

Outra forma de identificar o grau de desempenho do módulo fotovoltaico é através da identificação da Temperatura Nominal de Operação, este método é geralmente mais utilizado pois as características desta operação aproximam-se das características identificadas em campo (PINHO E GALDINO, 2014).

Cada módulo tem uma temperatura nominal para suas células, que é obtida quando o módulo é exposto em circuito aberto a uma irradiância de  $800\text{W}/\text{m}^2$  em um ambiente com temperatura do ar  $20^\circ\text{C}$  e sofrendo ações do vento incidindo com velocidade de  $1\text{ m/s}$ . Esta temperatura também é muitas vezes encontrada nas folhas de dados técnicos dos módulos, normalmente identificada pela sigla NOCT (*Nominal Operating Cell Temperature*) e geralmente está entre  $40^\circ$  e  $50^\circ\text{C}$ . A NOCT está ligada às propriedades térmicas e ópticas nos materiais empregados na construção do módulo. Supondo módulos de mesmos coeficientes de temperatura, aquele que tiver a menor NOCT terá o melhor desempenho em campo, pois terá menos perdas relacionadas à temperatura (PINHO E GALDINO, 2014, p.152).

Os módulos fotovoltaicos comercializados no Brasil devem passar por testes do Inmetro e apresentar uma etiqueta fixa na sua superfície posterior (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 42: Modelo de etiqueta do Inmetro fixada nos módulos



Fonte: PINHO E GALDINO, 2014 (Adaptado de INMETRO, 2011).

A classificação das categorias de eficiência energética (A e E) é feita pelo Inmetro de acordo com as faixas de eficiência do módulo, medida nas condições-padrão de teste (PINHO E GALDINO, 2014, p.155).

Tabela 5 – Classe de eficiência dos módulos pelo Inmetro

Classe	Faixa
A	Maior que 13,5%
B	Maior que 13% a 13,5%
C	Maior que 12% a 13%
D	Maior que 11% a 12%
E	Menor ou igual a 11%

Fonte: Acervo do Autor, 2020 (Adaptado de Inmetro, 2011)

A fabricação dos módulos está cada vez mais automatizada, com pouca interferência humana. Isso permite a fabricação em larga escala de painéis fotovoltaicos, e conseqüentemente a diminuição de seu preço no mercado e a possibilidade de produzir produtos de alta qualidade.

#### 4.1.2 Baterias

As baterias são dispositivos de armazenamento utilizados geralmente para sistemas fotovoltaicos isolados, onde é necessária para momentos onde a geração de energia pelos módulos é nula ou insuficiente (durante à noite, ou quando há baixa irradiância solar) (PINHO E GALDINO, 2014).

Há a possibilidade de uso de baterias em sistemas fotovoltaicos conectados à rede para a operação ilhada, quando há falta de energia pela rede distribuidora, mais encontrados na

Europa e EUA. No entanto, a regulamentação normativa da Aneel n°482/2012 não dispõe de regras relacionadas a esta prática, e as distribuidoras de energia não aceitam esse tipo de operação.

Dentre as baterias mais utilizadas em sistemas fotovoltaicos isolados estão as baterias eletroquímicas, por possuir uma forma eficiente de armazenamento de energia elétrica. O seu sistema é formado por uma série de células ou vasos eletroquímicos, que armazenam a energia elétrica em forma de energia química através de um processo de oxidação e redução. Ao ser conectada a uma rede elétrica, há um processo inverso onde a energia química é convertida para energia elétrica.

Tais baterias utilizadas para armazenar carga elétrica gerada por sistemas fotovoltaicos possuem células classificadas como secundárias, por ser recarregável com o auxílio de uma fonte de tensão ou corrente, diferentemente das células primárias que possuem baixo índice de vida útil. Estas baterias podem ser denominadas de “acumuladores” ou “baterias de armazenamento”.

As baterias de Chumbo-ácido são a tecnologia de armazenamento de energia de menor custo por Wh atualmente disponível no mercado para aplicação em SFI (PINHO E GALDINO, 2014, p.179).

Entre os modelos disponíveis no mercado, as baterias Chumbo-ácido são as mais utilizadas em SFI, apesar das baterias de NiCd e NiMH apresentarem características operacionais mais favoráveis. As baterias de NiCd e NiMH não apresentam problemas de descarga profundas ou de sulfatação<sup>6</sup> e, portanto, podem permanecer completamente descarregadas por longos períodos. Entretanto, o custo mais elevado e o número reduzido de fornecedores desses tipos de baterias, em relação às de Chumbo-ácido, têm limitado o seu uso em pequenos sistemas. As baterias automotivas são projetadas para curtos períodos de rápida descarga, sem danificá-la, sendo inapropriada para SFI, pois sua vida útil em regime de ciclagem é bem menor que outras tecnologias de baterias (PINHO E GALDINO, 2014, p.199).

Para que se tenham a garantia de um bom desempenho da bateria em um Sistema Fotovoltaico Isolado, deve-se estar atento há algumas características essenciais como:

- Necessidade de pouca manutenção;
- Alta eficiência de carregamento;
- Baixa taxa de auto descarga<sup>7</sup>;
- Confiabilidade;

---

<sup>6</sup> Formação e deposição de cristais de sulfato de Chumbo sobre as placas de uma bateria de Chumbo-ácido, causada pelo repetitivo processo de descarga da bateria, ocasionando no aumento de sua resistência interna (PINHO E GALDINO, 2014).

<sup>7</sup> Processo espontâneo em que a bateria tem de descarregar-se gradativamente, através de processos químicos de perdas internas, quando não estão em uso (PINHO E GALDINO, 2014, p.166).

- Boas condições de garantia da bateria;
- Capacidade útil para o ciclo de vida;
- Temperatura ambiente do local de instalação;

As baterias para usos fotovoltaicos comercializadas no Brasil devem possuir a etiquetagem do Inmetro, fixada no próprio produto, e submetida a testagem conforme expressa na portaria Inmetro nº004/2011 (INMETRO, 2011).

Figura 43: Modelo de etiqueta do Inmetro presente em baterias

LOGOMARCA E INFORMAÇÕES DO FORNECEDOR DO PRODUTO	
TIPO (Tecnologia da bateria)	
MODELO (Código comercial)	CAPACIDADE NOMINAL (120h até 1,80Vpe* @ 25°C) <b>XXXX Ah</b>
TENSÃO NOMINAL <b>XX V</b>	NÚMERO DE CICLOS (Conforme RAC nº 013) <b>XXXX</b>
Regulamento de Avaliação da Conformidade para Sistemas e Equipamentos para Energia Fotovoltaica - RAC/013-FOT - Bateria	
 <b>PROCEL</b>	<b>PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b>
<b>ESTE PRODUTO TEM SEU DESEMPENHO APROVADO PELO INMETRO E ESTÁ EM CONFORMIDADE COM O PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM</b>	
*1,00Vpe para bateria Ni-Cd <span style="float: right;">Unidade: mm</span>	

Fonte: Inmetro, 2011.

As baterias sem uso são consideradas um lixo tóxico, portanto não podem ser descartadas em lixo comum, podendo haver sanções previstas na Lei de Crimes Ambientais nº 9.605/1998 (PINHO E GALDINO, 2014). Desta forma, deve ser entregue ao devido fabricante, importador ou distribuidor.

#### 4.1.3 Controladores de carga

Os controladores de carga fazem parte do Sistema Fotovoltaico Isolado com o objetivo de proteger a bateria contra cargas excessivas. Podem ser denominados como “gerenciador de carga”, “regulador de carga” ou “regulador de tensão”.

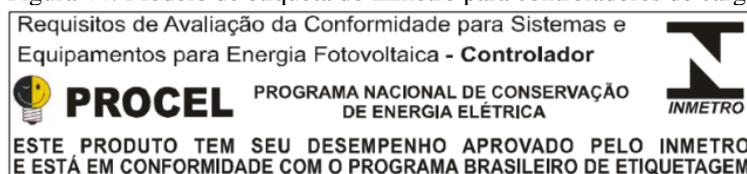
No caso de haver uma falha no funcionamento do controlador de carga, a bateria pode sofrer danos irreversíveis. Eles devem ser projetados de acordo com as especificidades da bateria que se deseja utilizar, caso contrário o controlador de carga não irá operar eficientemente.

Os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança. Alguns controladores também monitoram o desempenho do SFI (corrente e tensão de carregamento da bateria ou da carga) e acionam alarmes quando ocorre algum problema. Para melhorar o desempenho do controlador de carga, este pode ainda incorporar um sensor de temperatura, com a função de compensar o efeito da variação da temperatura nos parâmetros das baterias (PINHO E GALDINO, 2014, p.205).

No Brasil são comercializados controladores de carga com correntes de até 60A para operar em baterias nas tensões de 12V, 24V e 48V, projetados para painéis fotovoltaicos com 1, 2 ou 4 módulos convencionais de c-Si, respectivamente.

Os controladores de carga comercializados no Brasil devem apresentar a etiqueta do Inmetro fixada no produto. O ensaio para teste de eficiência são, em condições nominais, queda de tensão, tensão de desconexão e reposição do painel fotovoltaico e compensação por temperatura, tensão de desconexão e reposição das cargas, e autoconsumo (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 44: Modelo de etiqueta do Inmetro para controladores de carga



Fonte: Inmetro, 2011

#### 4.1.4 Inversores

O inversor é um dispositivo de converte a energia elétrica em corrente contínua (c.c.) em energia elétrica em corrente alternada (c.a.) A corrente c.c., quando em sistemas fotovoltaicos conectado à rede, é proveniente dos módulos fotovoltaicos, e a tensão c.a. de saída do inversor deve ser sincronizado com a tensão da rede.

Os inversores conectados à rede com potência individual de até 5kW têm saída monofásica, a partir dessa potência é mais comum utilizar inversores com saída trifásica (PINHO E GALDINO, 2014, p.217).

Os inversores para SFCR podem ser classificados em 4 tipos:

- **Inversores Centrais** – inversores trifásicos de grande porte, utilizados em Usinas fotovoltaicas. Tem potência de centenas de kWp até MWp;
- **Inversores Multistring** – inversores trifásicos ou monofásicos com várias entradas independentes com SPPMs<sup>8</sup> para conexão de fileiras de módulos. Normalmente utilizado em instalações urbanas residenciais. Tem potência na faixa de dezenas de kWp;
- **Inversores de String** – Inversores monofásicos com apenas uma entrada de SPPM, utilizado para instalações com micro geração de potência de até 10kWp;

<sup>8</sup> Seguimento de ponto de potência máxima – Equivalente em inglês a MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

- **Módulo c.a.** – Modulo fotovoltaico associado a um micro inversor;

Algumas características essenciais para um inversor de qualidade são: Alta eficiência de conversão; Alta confiabilidade e baixa manutenção; Boa regulação de tensão de saída; Baixa emissão de ruído audível; Baixa emissão de interferência eletromagnética e Garantia de fábrica de pelo menos 2 anos.

Os inversores comercializados no Brasil apresentam a etiqueta do Inmetro idêntica à etiqueta dos controladores de carga, já apresentado na Figura 40.

#### 4.1.5 Conversores

O conversor c.c. possui a mesma função de controlador de carga, controlando a energia gerada que vai para as baterias a partir dos geradores fotovoltaicos. Com o conversor c.c., este controle de carga acontece de forma mais precisa entre a corrente e a tensão que são aplicadas à bateria, proporcionando mais vida útil para a unidade de armazenamento e maior eficiência no processo de transferência de energia.

Este conversor, a partir de um sistema de controle atribuído, pode extrair o máximo de potência de um painel fotovoltaico na geração de energia e obter um melhor rendimento do sistema (PINHO E GALDINO, 2014).

A eficiência de um conversor está atrelada aos semicondutores de potência utilizados, a potência nominal, fator de multiplicação da tensão e etc. À medida que o conversor tende a baixar a tensão, tem uma eficiência maior que aqueles que tendem a aumentá-la.

## 4.2 Tipos de Sistema Fotovoltaico

### 4.2.1 Sistema Conectado à Rede (SFCR)

O sistema fotovoltaico conectado à rede (on-grid) não necessita de acumuladores de carga, uma vez que a energia gerada pela unidade consumidora é consumida diretamente por ela, ou pode ser injetada na rede de distribuição para ser consumida por outras unidades conectada ao sistema de distribuição.

O sistema conectado à rede vem sendo uma alternativa cada vez mais utilizada no Brasil e em países onde o mercado fotovoltaico é bastante expansivo, como Alemanha, Estados Unidos e Japão. Esse sistema pode variar conforme a potência instalada em relação à demanda, que vai desde poucos kWp para sistemas residenciais, classificados como micro geração

distribuída, até alguns MWp em grandes sistemas operados por empresas, classificado como mini geração distribuída.

Outro fator que diferencia sistemas fotovoltaicos conectados à rede é a forma de conexão à rede elétrica, que por sua vez depende das normas estabelecidas pela rede distribuidora local.

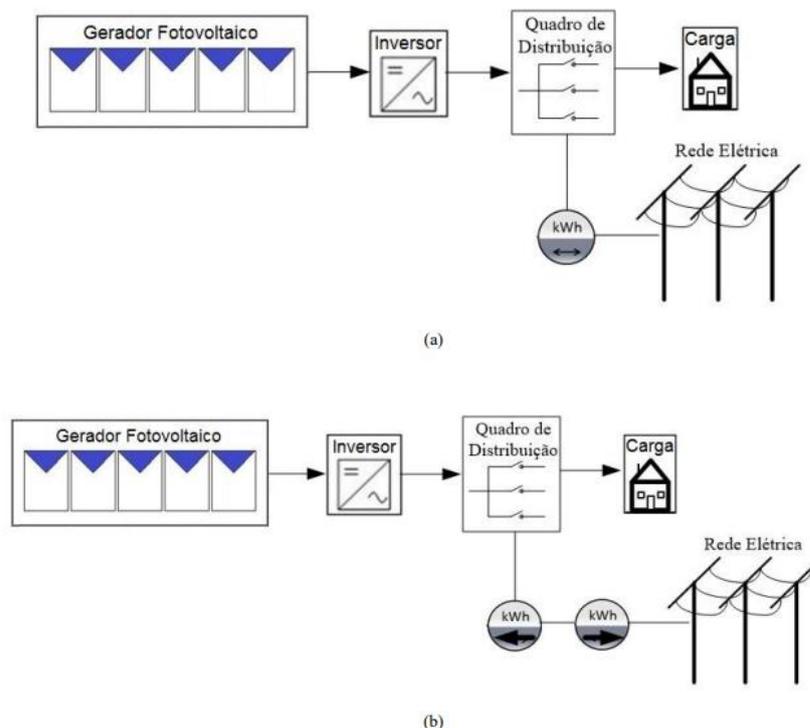
No Maranhão, a rede distribuidora de energia elétrica Equatorial Energia, dispõe de regras para instalação de sistemas de micro geração distribuída, participantes do sistema de compensação de energia elétrica, conectado à rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão, conforme a NT.020.EQL.Normas e Padrões.

Para sistemas de geração distribuída há duas formas de medição da energia, relacionando a quantidade de energia gerada com a energia consumida, e a energia que é injetada na rede distribuidora.

A medição bidirecional de registros independentes registra a energia consumida pela unidade residencial e a energia injetada à rede distribuidora através de um medidor bidirecional, ou por dois medidores unidirecionais que medem a energia em cada sentido.

A cada instante apenas o registro de um dos sentidos será realizado, dependendo da diferença instantânea entre a demanda e a potência gerada pelo sistema fotovoltaico (PINHO E GALDINO, 2014, p.290).

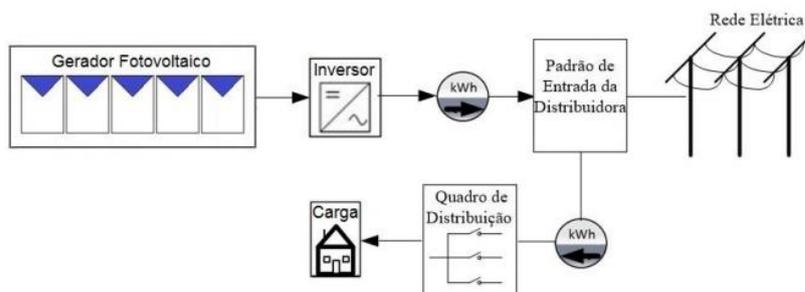
Figura 45: Medição bidirecional de registros independentes (a) e com a utilização de medidores unidirecionais (b)



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

A medição simultânea é outra forma de medição de energia para SFCR, que consiste em fornecer informações mais precisas sobre a medição do consumo de energia pela unidade residencial e a medição de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Os cálculos de balanço energético são posteriormente calculados pela distribuidora.

Figura 46: Medição simultânea



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

Tanto a medição bidirecional, quanto a medição simultânea são regulamentadas pela Aneel na resolução normativa vigente.

Existem ainda “ramificações” da geração distribuída que são a geração compartilhada, quando a criação de um consórcio para geração de energia em maior escala para o uso compartilhado entre os consorciados, e a geração remota que ocorre quando a geração de energia acontece em um local diferente de onde se encontra a unidade consumidora, permitindo que empreendimentos localizados em regiões com baixa incidência solar sejam beneficiados com o uso de energia renovável.

As usinas fotovoltaicas, em maioria classificadas como sistemas de mini geração, onde a potência instalada é superior a 100kWp e inferior a 1MWp (conforme a RN 482), tendem a ser conectadas a média tensão. Mas é importante que o nível de tensão de conexão da central geradora deve ser definido pela distribuidora em razão das limitações da rede elétrica de distribuição (PINHO E GALDINO, 2014).

As UFVs surgem como opção viável para países que pretendem gerar energia limpa, dispensando o uso de combustíveis fósseis. Países como Itália, Espanha, Alemanha e Portugal, são exemplos em que já se usa o modo de geração de energia através das UFVs.

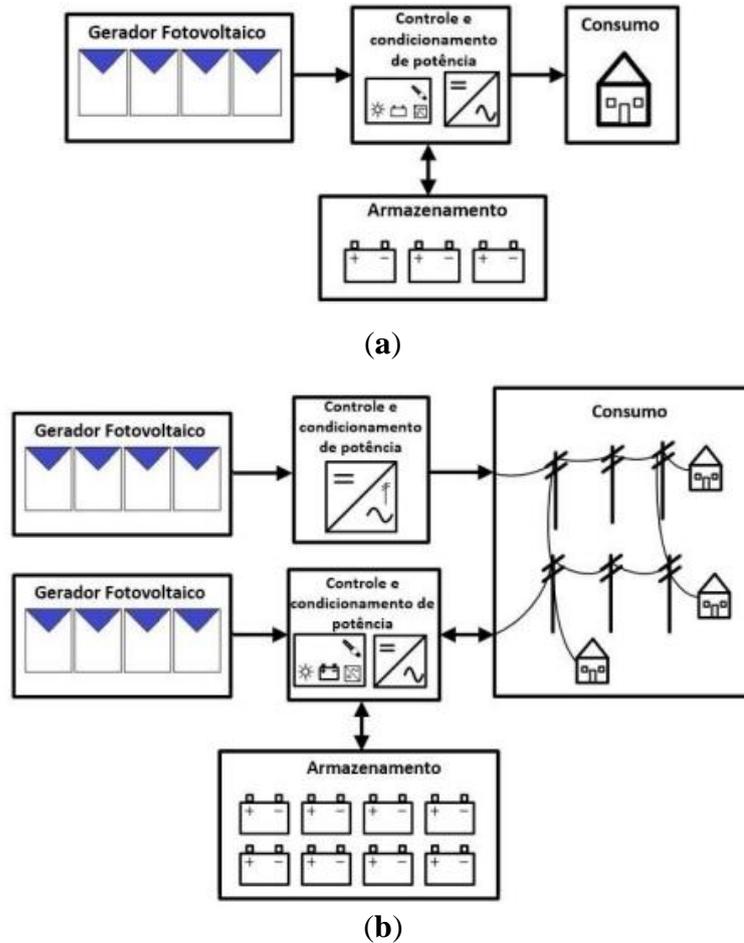
No Brasil, onde o desenvolvimento em energia solar fotovoltaica ainda é baixo, a primeira UFV foi implantado por uma empresa privada no município de Tauá-CE, a 360 km de Fortaleza. O sistema tem potência instalada de 1,0 MWp, em 4.680 módulos de p-Si (silício policristalino) de 215 Wp, com 9 inversores de 100 kWp e energia injetada na rede de 13,8 kV.

Em 2011, ano em que a usina entrou em operação, ela apresentou uma capacidade mensal de até 22,1%, sendo que em 2012 a UFV teve uma geração total de 1.620 MWh, que corresponde a geração média mensal de 135,1 MWh/mês (MPX, 2013).

#### 4.2.2 Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI)

Os sistemas fotovoltaicos isolados (off-grid) podem ser classificados como individuais ou mini redes. Os individuais são sistemas que atendem apenas uma única unidade consumidora, enquanto o sistema mini rede, a geração é dividida entre um grupo de pequenas unidades geograficamente próximas.

Figura 47: Diagrama de de blocos de sistemas fotovoltaicos isolados: (a) – Isolado para eletrificação individual; (b) – Isolado para eletrificação com mini rede.



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

Os sistemas isolados foram inicialmente regulamentados pela resolução normativa da Aneel nº83/2004, como um programa governamental que visava levar energia para regiões rurais do país (PINHO E GALDINO, 2014). Em 2012, a Aneel publicou a RN 493 que revisava a resolução anterior e estabelecia procedimentos e condições para fornecimento por meio de Microsistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDI) e o Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com fontes Intermitentes (SIGFI).

A Resolução Normativa 493/2012, estabelece que as concessionárias devem atender os domicílios rurais que possuem um sistema fotovoltaico isolado individual com corrente alternada, na tensão nominal de 127 ou 220 volts, com o objetivo de oferecer mais

possibilidades de uso de eletrodomésticos disponíveis, e equiparar ao serviço oferecido nos centros urbanos. A resolução também permite a possibilidade de uso de sistemas mistos c.c. e c.a. para os SIGFIs.

A eletrificação de uma residência situada em um centro urbano pelo sistema off grid não é economicamente viável, isto porque os custos de energia fornecida pela rede pública de distribuição são muito menores que os custos de instalação, operação e manutenção (SOUZA, 2016).

Para as comunidades rurais isoladas em regiões mais afastadas no Brasil que utilizam de um sistema coletivo, os MIGDIs, a geração de energia elétrica mais difundida é através do gerador a diesel, o que acaba se tornando um alto custo operacional devido a manutenção recorrente do gerador e do consumo e transporte do óleo diesel. Dessa forma torna-se extremamente viável a aplicação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, reduzindo a dependência de recursos externos e gerando uma energia altamente confiável.

Figura 48: Sistema MIGDI da comunidade de Sobrado no Amazonas



Fonte: Pinho e Galdino, 2014 *apud* Eletrobrás, 2011).

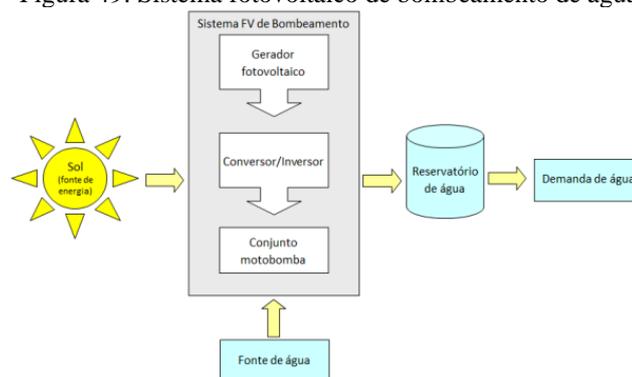
#### 4.2.3 Outras aplicações do sistema fotovoltaico

Outros usos do sistema fotovoltaico para uso não convencional é o sistema de bombeamento de água, constituído por um gerador fotovoltaico, dispositivo de condicionamento de potência (inversor, controlador de bomba), conjunto motobomba<sup>9</sup> e reservatório de água. De modo geral, a sua utilização consiste em bombear a água e armazenar em reservatórios, dimensionados para determinado número de dias para utilização.

---

<sup>9</sup> Conjunto composto por bomba hidráulica acionada por um motor elétrico

Figura 49: Sistema fotovoltaico de bombeamento de água



Fonte: Pinho e Galdino, 2014 *apud* FRAIDENRAICH, 2002).

O sistema fotovoltaico também pode ser utilizado como fonte de energia para abastecer sistemas de telecomunicações e monitoramento remoto, visto que, a confiabilidade da fonte de energia para tais aplicações é bastante alta, já que necessitam de baixa potência e são instalados em áreas remotas e com condições climáticas severas. Dos sistemas de telecomunicação que mais utilizam o sistema fotovoltaico estão: Estações remota de rádio; Estações repetidoras de Tv e Auxílio à navegação (PINHO E GALDINO, 2014).

### 4.3 Projeto de Sistemas Fotovoltaicos

Um projeto de sistema fotovoltaico pode ser realizado considerando diferentes funções para a energia gerada. Como já citado em outro momento, um sistema fotovoltaico pode ser utilizado para bombeamento de água, para atender sistemas de telecomunicação em locais remotos, pode ser um Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI) e um Sistema Fotovoltaico Conectado à rede (SFCR), estes dois últimos são os mais utilizados e possuem diferentes fatores de utilização que o caracterizam na concepção do projeto.

O SFI visa atender um determinado consumo de energia elétrica, conforme a demanda da unidade consumidora, portanto é importante estimar o total de energia que será gerada pelo sistema projetado para que ela seja atendida. Já no caso do SFCR, esta precisão não se torna tão requerida, uma vez que a unidade consumidora pode ser complementada com o fornecimento de energia pela rede de distribuição, mas é importante que se atente aos dados de geração e consumo visando a economia de custos na conta de energia.

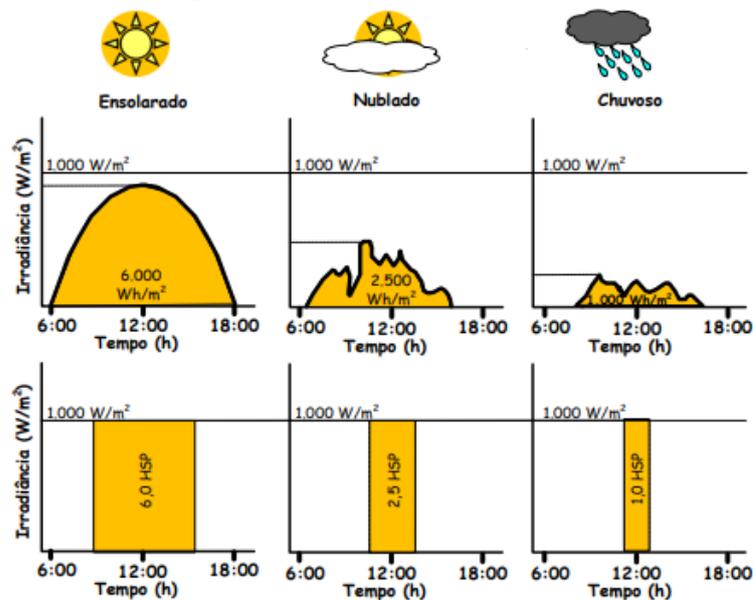
Ressalta-se que este trabalho é direcionado principalmente para projetos de SFCR de pequeno porte – com módulos fotovoltaicos de algumas centenas de Wp a algumas unidades de kWp – em baixa tensão.

#### 4.3.1 Etapas preliminares do projeto

As principais etapas de um Sistema Fotovoltaico são: Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação - Definição da localização e configuração do sistema – Levantamento de demanda e consumo de energia elétrica – Dimensionamento do gerador fotovoltaico – Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência (para o caso do SFCR, se restringe ao inversor para ligação com a rede), e Dimensionamento do sistema de armazenamento para os sistemas isolados.

Na fase de avaliação do recurso solar busca-se quantificar a taxa de radiação incidente sobre o painel fotovoltaico, estes dados geralmente são apresentados através de valores médios mensais para energia acumulada ao longo do dia (PINHO E GALDINO, 2014).

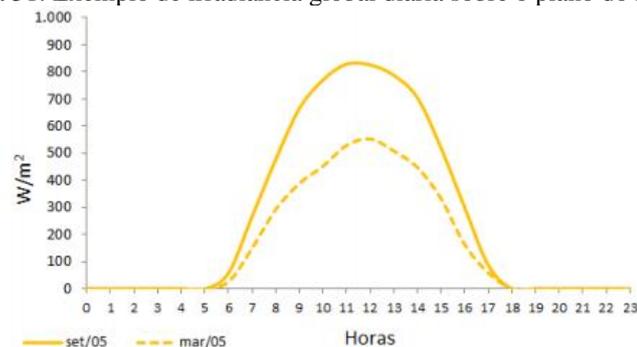
Figura 50: Perfis de radiação solar diária



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

A influência da irradiação solar sobre um gerador fotovoltaico é mais significativa que a temperatura, já que a irradiação possui mais variações ao decorrer do dia por conta das nuvens, mas a variação da temperatura é amortecida pela capacidade térmica dos módulos (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 51: Exemplo de irradiação global diária sobre o plano do módulo



Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

A escolha do local de posicionamento dos painéis são determinantes para seu desempenho. É preciso estar atento aos elementos arquitetônicos, reflexivos e naturais que possam causar sombreamento e reflexo para os painéis, além de permitir a troca de calor com o meio. Segundo Pinho e Galdino (2014, p.302), nas instalações urbanas tipo *rooftop* (de telhado), por exemplo, o projetista tem menos liberdade no posicionamento dos painéis.

Em relação a configuração do sistema, este pode ser baseado nas informações da Seção 4.2, onde são apresentadas as configurações mais comuns: Sistemas isolados ou sistemas conectados à rede.

Um fator importante no dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado é que a geração de energia deverá ser maior que o valor de consumo, definindo um período de tempo e a produção de energia nesse período sendo maior que a demanda elétrica consumida (PINHO E GALDINO, 2014).

#### 4.3.2 Projeto de Sistema fotovoltaico conectado à rede

O item 4.2.1 da Seção 4.2 estabelece que cabe a concessionária da região estabelecer normas para a instalação do sistema fotovoltaico com a rede elétrica. A empresa responsável pela distribuição de energia elétrica no Maranhão, Equatorial Energia, publicou uma série de normas e padrões para a instalação do sistema fotovoltaico de baixa tensão, através da NT.020.EQL.Normas e Padrões.

É de competência da distribuidora realizar estudos para a integrar a micro e mini geração distribuída, devendo informar a central geradora a relação dos dados necessários para a elaboração dos estudos quando o acesso for solicitado (PRODIST, 2012).

Para o dimensionamento de um gerador fotovoltaico é importante ter a noção sobre as condições do sistema de compensação de energia, regulamentada pela Aneel na Resolução Normativa 482/2012, como já citado na Seção 3.3.

Da mesma forma, é fundamental ressaltar que os créditos de energia gerado pelo SFV que serão injetados na rede distribuidora, sofrerão ajustes relacionados aos postos tarifários (tarifa horo-sazonal ou bandeiras tarifárias), levando em conta a tarifa de energia do horário de injeção. Outro ponto a ser ressaltado é que, no caso em que a energia gerada for maior que a quantidade consumida, será cobrado pela distribuidora obrigatoriamente, no

mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade<sup>10</sup> para o consumidor classe B (Baixa tensão)<sup>11</sup> ou da demanda contratada para o consumidor classe A (Alta tensão).

Em relação a Equatorial Energia, a empresa ainda arrecada com a cobrança do CIP (Contribuição de Iluminação Pública). No site da empresa é possível ver a relação dos municípios com as condições de cobrança da taxa, que varia de acordo com o grupo e a quantidade do consumo em kWh.

Desta forma, para que o dimensionamento do gerador fotovoltaico seja otimizado, deve-se fazer o levantamento do consumo médio diário anual da edificação (em Wh/dia), descontando o valor do custo de disponibilidade e a taxa do CIP (no caso de São Luís). Os dados médios de consumo são fornecidos na conta de energia pela distribuidora.

A potência do gerador fotovoltaico pode ser calculada a partir de uma equação, onde se escolhe uma fração da demanda de energia elétrica consumida que o sistema deverá suprir (PINHO E GALDINO, 2014).

Figura 52: Equação para cálculo de potência de gerador fotovoltaico

$$P_{FV} (Wp) = \frac{(E / TD)}{HSP_{MA}}$$

Onde:

$P_{FV} (Wp)$  - Potência de pico do painel FV;

$E$  (Wh/dia) - Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste;

$HSP_{MA}$  (h) - Média diária anual das  $HSP$  incidente no plano do painel FV;

$TD$  (adimensional) - Taxa de desempenho.

Fonte: Pinho e Galdino, 2014.

Também é possível fazer a simulação de projetos fotovoltaicos a partir de plataformas *on-line*, onde são requeridos dados sobre a localização, consumo e características da ligação com a rede, e então o sistema gera dados de um sistema fotovoltaico compatível à demanda de energia elétrica pela unidade consumidora.

<sup>10</sup> As normas e condições para a classificação do consumidor são estabelecidas pela Aneel na Resolução Normativa n°414.

<sup>11</sup> “O custo de disponibilidade do sistema elétrico, aplicável ao faturamento de consumidor responsável por unidade consumidora do grupo B, é o valor em moeda corrente equivalente a:

- I. – 30kWh, se monofásico ou bifásico a 2 condutores;
- II. – 50kWh, se bifásico a 3 condutores; ou
- III. – 100kWh, se trifásico.

§ 1º O custo de disponibilidade deve ser aplicado sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos neste artigo, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação.” (RN Aneel 414/2010; Seção V; Art. 98)



economicamente viáveis. Já os módulos de silício cristalino (c-Si), que são a maioria no mercado, possuem a melhor eficiência entre a tecnologia fotovoltaica existente, tem menor custo com instalação considerando estruturas metálicas e cabeamento, porém o valor dos módulos é superior as demais.

Ao se prever a instalação de módulos fotovoltaicos na residência, é importante que se verifique a estrutura em que ela será instalada, no caso de telhados é necessário analisar a carga mecânica que os módulos exercerão sobre a cobertura. Nesses casos é aconselhável a verificação da cobertura por um engenheiro civil habilitado para analisar a estrutura que irá receber o SFV.

Figura 54: Exemplo de carga mecânica exercida por módulos fotovoltaicos distintos

Tecnologia	Integração	Configuração do sistema	Eficiência da tecnologia	kgf/m <sup>2</sup> (Módulo Fotovoltaico)	kgf/m <sup>2</sup> (Estrutura)	kgf/m <sup>2</sup> (Sistema)
a-Si		Sanduíche Vidro/ Vidro fixado em estrutura de alumínio	6-8%	20	5	25
a-Si		Módulo flexível colado em manta impermeabilizante	6-8%	3,6	3,4	7,0
c-Si		Vidro com Moldura fixado em estrutura de alumínio	14-18%	12	5	17

Fonte: Pinho e Galdino, 2014 (Adaptado de DGS, 2008).

O dimensionamento do inversor depende da potência do gerador fotovoltaico, tecnologia e características do módulo para compor o gerador, características ambientais do local, e topologia de instalação escolhida (PINHO E GALDINO, 2014).

Para a escolha do melhor inversor, assim como dos módulos, deve-se conferir a credibilidade do fabricante do produto e da empresa que irá instalar o projeto, sempre verificando a garantia do produto e qualidades técnicas.

Para que se obtenha melhor otimização ao dimensionar um projeto FV, deve-se considerar o planejamento das conexões de todos os componentes do sistema para evitar a perda de energia, adequar o projeto aos requisitos de segurança, sob o ponto de vista elétrico, e verificar se todos os procedimentos seguem às normas e regulamentos referentes ao tipo de conexão.

Estes pontos citados a cima fazem parte do Projeto Elétrico, a próxima etapa no processo de instalação de um sistema fotovoltaico residencial. Nesta etapa inclui desde a escolha dos condutores até o dimensionamento e especificação dos dispositivos de segurança (PINHO E GALDINO, 2014).

Para projetos instalados em conexão com baixa tensão, devem ser seguidos os procedimentos condicionantes da NBR5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão.

O projeto fotovoltaico final pode ser apresentado de duas formas: o Projeto Básico e/ou Projeto Executivo, isso vai depender da relação de contrato entre o contratante/usuário do sistema e o prestador do serviço

O Projeto Básico apresenta informações necessárias e suficientes para o entendimento da obra ou serviço a ser executado, baseado em informações preliminares que garantam a viabilidade e adequações do projeto à legislação vigente (PINHO E GALDINO, 2014).

No Projeto Básico deve conter as representações gráficas do serviço/projeto a ser executado (plantas, gráficos, etc.), um memorial descritivo e de cálculo, as especificações técnicas que devem ser seguidas para a execução, o orçamento e cronograma. Todas essas informações devem ser elaboradas por um profissional legalmente habilitado, identificando o autor do projeto e a respectiva assinatura em cada um dos documentos (PINHO E GALDINO, 2014).

O Projeto Executivo apresenta um conjunto de informações mais detalhados, a nível que o projeto ou serviço seja completamente executado, de acordo com as normas e legislações vigentes. Nesta etapa devem ser apresentadas as plantas e diagramas detalhados das estruturas e circuitos, cálculos detalhados de todo o sistema de geração, de aterramento etc., e cálculos de estruturas de suporte e construções civis. Também devem ser considerados as informações sobre o sistema de ventilação dos equipamentos, a logística para de acesso e transporte ao local.

No Projeto Executivo deve-se constar uma lista completa dos materiais e equipamentos do sistema (fabricante, modelo, norma de certificação), seus catálogos e manuais, e equipamentos de controle, medição e monitoramento, se houver (PINHO E GALDINO, 2014).

As garantias referentes ao sistema fotovoltaico e seus equipamentos, estão relacionadas a: Garantia de tempo para a conclusão da instalação; Garantias de fábrica; Garantia do Sistema; e Garantia de desempenho da planta fotovoltaica. Essas garantias devem ser previstas no contrato de serviço para a instalação do sistema fotovoltaico.

## **5. AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA UNIDADE RESIDENCIAL POPULAR**

Neste capítulo será avaliado o desempenho de um Sistema Fotovoltaico no contexto de uma habitação popular, relacionando seus índices de geração de energia com a demanda de energética que deverá ser suprida, atribuindo ao sistema os valores de custo do investimento e tempo de retorno econômico.

Considera-se que os dados utilizados como parâmetros para a caracterização de uma classe social, ou seja, uma família de baixa renda, fazem parte de uma situação real das condições econômicas, ainda que, não reflitam uma totalidade das situações de baixa renda que hoje são realidade na cidade de São Luís - MA.

É importante ressaltar que, por falta de instrumentos mais precisos e especialidade na área, a metodologia utilizada para o teste de desempenho de um sistema fotovoltaico não garante com precisão os dados de energia gerada pelos módulos, visto que, há diversos fatores que influenciam nesse aspecto como as condições atmosféricas presentes em determinados dias, elementos que possam causar sombreamento ou reflexo, as perdas de energia pelo sistema, além do desgaste do SF com o passar dos anos.

### **5.1 Dados preliminares para aplicação de teste**

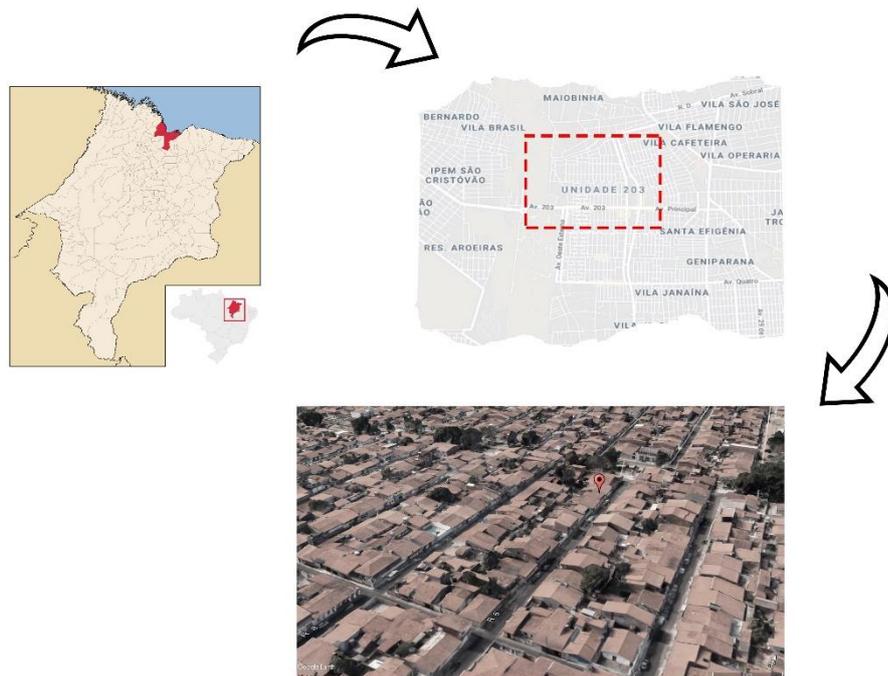
Como já citado no item 4.3.1 do Capítulo 4, uma das etapas de um projeto fotovoltaico é o levantamento dos dados preliminares para o dimensionamento do gerador solar. Nessa etapa serão levantados dados referentes ao levantamento arquitetônico da unidade residencial onde serão aplicados os testes com o SF; Taxa de irradiação solar média diária durante o mês, esses dados serão obtidos através da plataforma SunData; Demanda e consumo de energia elétrica da unidade residencial; e Dimensionamento do gerador fotovoltaico e dos equipamentos de condicionamento de potência.

Este trabalho tem como objetivo simular uma situação cotidiana de uso de painéis solares em São Luís - MA, desta forma é coerente a escolha pelo Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede como peça essencial do teste. Esse sistema tem como característica a integração do SF com a rede de distribuição, ocasionando nos créditos de energia, onde o excedente que for gerado é injetado na rede pública e convertido no abatimento da conta ou para uso de outra unidade residencial, conforme a NR 482/2012 da Aneel.

### 5.1.1 Levantamento arquitetônico da unidade residencial

A unidade residencial refere-se a uma edificação térrea, com área de 165,89 m<sup>2</sup>. A residência possui 01 terraço, 01 sala, 03 quartos, 02 banheiros, 01 cozinha, 01 copa e área externa com 02 depósitos. As plantas técnicas Planta Baixa e Cobertura, e o Layout Humanizado, estão inseridos como anexos B e C, respectivamente. A residência está inserida no bairro da Cidade Operária, região caracterizada por grande densidade de residências populares.

Figura 55: Localização da unidade residencial no bairro da Cidade Operária



Fonte: Acervo do Autor, 2020 (Adaptado de GoogleMaps.com)

### 5.1.2 Taxa de irradiação solar

Como já apresentado no item 3.3.1 do Capítulo 3, a base de dados SunData é uma plataforma *online* oferecida pelo CRESESB, que fornece índices de irradiação solar por média diária ao mês, durante o ano. Os valores divulgados servem como orientação para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, e consistem em um histórico de medições durante o ano (CRESESB, 2017).

Os dados a seguir referem-se ao índice de irradiação solar na cidade de São Luís - MA (Latitude: 2,501° S e Longitude: 44,349° O). São mostrados os valores referentes ao Plano horizontal, ao Ângulo igual a latitude, da menor irradiação diária média mensal (mínimo), da maior irradiação diária média mensal (máximo), da irradiação média anual (média) e a diferença entre a máxima e a mínima (delta).

Figura 56: Dados de irradiação solar (kWh/m<sup>2</sup>. dia) durante um ano, a partir de janeiro.

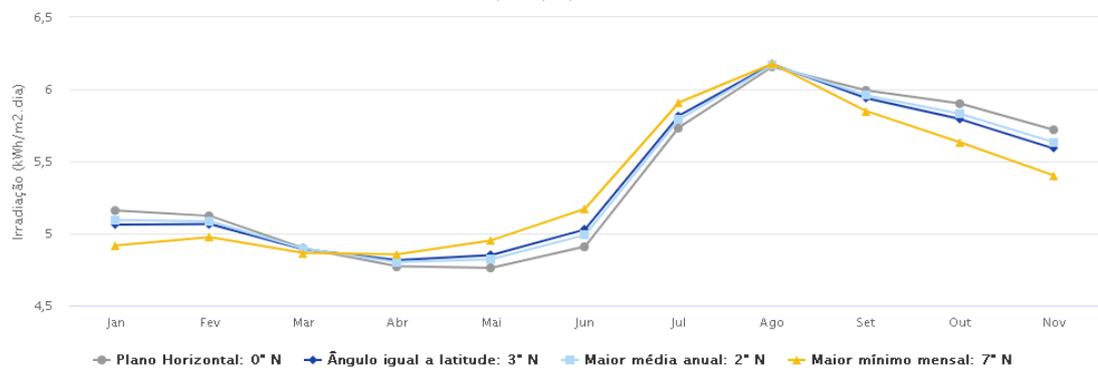
## Cálculo no Plano Inclinado

Estação: Sao Luis  
 Município: Sao Luis , MA - BRASIL  
 Latitude: 2,501° S  
 Longitude: 44,349° O  
 Distância do ponto de ref. ( 2,530833° S; 44,306667° O) :5,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
✓	Plano Horizontal	0° N	5,16	5,12	4,90	4,77	4,76	4,91	5,15	5,73	6,16	5,99	5,90	5,72	5,36	1,39
✓	Ângulo igual a latitude	3° N	5,06	5,07	4,89	4,81	4,85	5,03	5,26	5,82	6,17	5,94	5,79	5,59	5,36	1,36
✓	Maior média anual	2° N	5,09	5,09	4,89	4,80	4,82	4,99	5,23	5,79	6,17	5,96	5,83	5,63	5,36	1,37
✓	Maior mínimo mensal	7° N	4,92	4,98	4,86	4,86	4,95	5,17	5,40	5,91	6,18	5,85	5,63	5,40	5,34	1,32

## Irradiação Solar no Plano Inclinado –Sao Luis–Sao Luis, MA–BRASIL

2,501°S; 44,349° O

Fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>

Conforme apresentado, os índices de radiação solar da Maior média anual possuem as condições necessárias para o dimensionamento de um gerador fotovoltaico, além de indicar o ângulo dos módulos para atingir esses valores (2° N).

## 5.1.3 Dados de consumo médio de energia

Quantificar o consumo de energia da edificação onde potencialmente será instalado o SF significa definir a demanda energética que este sistema irá suprir, além de determinar a potência do gerador fotovoltaico. É importante saber que, para sistemas conectados à rede de distribuição (on grid), a geração não irá zerar totalmente os custos na conta, pois ainda haverá cobranças relacionadas ao tipo de ligação, aos possíveis custos de manutenção da rede (previsto na revisão da resolução normativa 482/2012) e aos custos da concessionária de energia da região.

Visto isso, o histórico de consumo de energia mensal da unidade consumidora é:

Tabela 6 – Consumo mensal de energia da unidade residencial

MESES	Eletricidade consumida por mês (kW)
JANEIRO	139 kW
FEVEREIRO	148 kW

MARÇO	163 kW
ABRIL	148 kW
MAIO	165 kW
JUNHO	167 kW
JULHO	190 kW
AGOSTO	177 kW
SETEMBRO	152 kW
OUTUBRO	155 kW
NOVEMBRO	226 kW
DEZEMBRO	181 kW

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado de equatorialenergia.com)

Estes dados são referentes ao consumo mensal entre os períodos de janeiro/2019 a dezembro/2019. A unidade consumidora pertence ao grupo B (baixa tensão) e possui ligação Monofásica com a rede de distribuição.

#### 5.1.4 Dimensionamento do gerador fotovoltaico e inversor

De acordo com a demanda estabelecida pelo consumo de energia na residência, foi gerado o dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico que irá suprir tal demanda e gerar uma redução gradativa nos custos da conta de energia. Esse dimensionamento foi elaborado através da fórmula de cálculo citada no item 4.3.2 do Capítulo 4, que trata das principais características do sistema fotovoltaico.

$$P_{FV} (Wp) = \frac{(E / TD)}{HSP_{MA}}$$

Onde:

$P_{FV} (Wp)$  – Potência Fotovoltaica;

$E (Wh/dia)$  – Consumo diário médio anual da unidade consumidora;

$HSP_{MA} (h)$  – Média diária anual da HSP incidente no painel FV;

$TD$  (adimensional) – Taxa de desempenho<sup>13</sup>.

A partir disto, o dimensionamento do gerador fotovoltaico será o seguinte:

**Potência do gerador fotovoltaico: 1,9 kWp**

**Número total de painéis: 7 painéis de 270 Wp**

**Potência total dos inversores: 2 kWp**

O módulo fotovoltaico selecionado para a aplicação dos testes é o modelo Yingli YL270P-29b:

<sup>13</sup> Admite-se a Taxa de Desempenho de 16,6% para painéis de 270 Wp, conforme consta em modelos atualmente comercializados no mercado.

Tabela 7 – Dados técnicos do módulo fotovoltaico

<b>Especificações mecânicas:</b>	<b>Especificações Técnicas:</b>
Dimensões do painel (1640 x 990 x 335) mm;	Máxima Potência (Pm): 270 Watts;
Número de células e tipo: 60, Silício Policristalino;	Voltagem de Máxima Potência (Vm): 30,7 Volts
Peso do módulo: 18,5 Kg;	Corrente de Máxima Potência (Im): 8,80 Amps;
Vidro, tipo e espessura: Vidro solar de Alta Transparência, liga de alumínio anodizado, vidro temperado 3,2mm;	Voltagem Máxima do Sistema: 1000 Volts;
	Eficiência do Painel: 16,6%;
	Coeficiente de Temperatura da Potência (Pm) <sup>14</sup> : -0,42%/°C;
	Temperatura Nominal de Operação de Célula (TNOC/NOCT) <sup>15</sup> : 43+/- 2°C;

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado de neosolar.com.br)

Somando a área quadrada do módulo fotovoltaico pela quantidade de painéis, será necessária uma área de 11,34 metros quadrados para a instalação dos módulos na cobertura da residência.

Este modelo possui uma garantia linear<sup>16</sup> de 25 anos, densidade de alta potência para conversão de energia por metro quadrado, vidro com tecnologia avançada, alta durabilidade e resistência, além de ter como principal aplicação em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, para geração de energia solar residencial e empresarial.

De acordo com dados coletados em pesquisa no mercado fotovoltaico em todo o país, foi possível estipular os custos totais para a instalação de um gerador fotovoltaico conectado à rede com potência de 1,9kW, considerando todos seus componentes e custos de serviço.

Tabela 8 – Levantamento de custo para um sistema fotovoltaico on grid

Custo do Sistema Fotovoltaico	
<b>Descrição</b>	<b>Preço</b>
Kit Solar 7 placas 270W Inversor 2kW + itens adicionais	R\$9.225,37
Preço médio do serviço de instalação para gerador de 2.070kWp	R\$3.084,30
<b>Valor total</b>	<b>R\$12.309,67</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

<sup>14</sup> Coeficiente de Temperatura do inglês *Temperature coefficient of Pmax*

<sup>15</sup> Temperatura Nominal de Operação da Célula do inglês *Nominal Operating Cell Temperature*.

<sup>16</sup> Garantia atribuída pela fabricante Yingli mais a garantia padrão da indústria.

É importante ressaltar que estes valores tendem a variar por região, além dos fatores como a distância de instalação, a altura do local de instalação e sua facilidade de acesso, a superfície onde os painéis serão instalados, as condições do local onde haverá a instalação, a estrutura do telhado, as condições do relógio de luz e padrões de entrada, assim como os valores referentes aos produtos que variam de acordo com a estabilidade do mercado financeiro.

## 5.2 Análise de eficiência do módulo fotovoltaico

A partir dos dados analisados referentes a geração de energia pelo módulo fotovoltaico, estes serão comparados aos valores mensais de consumo de energia da unidade residencial a ser analisada.

### 5.2.1 Aplicação de fatores para cálculo de eficiência de um painel solar

Para a análise da geração de um módulo fotovoltaico é necessário considerar diversos fatores internos e externos ao sistema que influenciarão em seu desempenho, mas como já citado no início deste capítulo, serão desconsiderados alguns aspectos nesta análise por falta de instrumentos de precisão mais específicos.

Dito isto, inicialmente é importante analisar a perda de desempenho da potência do gerador fotovoltaico ao modo que ele irá aumentar sua temperatura, como já citado no item 4.1.1 do Capítulo 4. Para calcular esta perda é necessário identificar 3 fatores: O coeficiente de temperatura da potência ( $P_m$ ), que indica a porcentagem de perda de potência do módulo ao modo que ele ultrapassar sua temperatura padrão de testes; a temperatura do painel fotovoltaico em condições de laboratório (STC) que geralmente é de 25°C; e o NOCT que indica quanto o painel irá normalmente atingir em funcionamento. Estes dados podem ser encontrados na ficha técnica do painel solar que será utilizado.

Para o modelo escolhido:

$$P_m = -0,42\%$$

$$\text{NOCT} = 43^\circ\text{C}$$

$$43^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 18^\circ\text{C} \times 0,42\% = 7,56\%$$

Este resultado será proporcionalmente calculado ao processo de geração de energia, pois há um constante comprometimento na potência do módulo fotovoltaico.

Para a conversão de energia solar em energia elétrica, é necessário ter conhecimento da taxa de desempenho do painel, que está relacionada a geração da energia, ou seja, o painel

escolhido de 16,6% de eficiência irá gerar a respectiva porcentagem de energia sobre a taxa de irradiação que incidir sobre o plano horizontal do painel.

### 5.2.2 Análise da geração e consumo de energia elétrica média mensal

Após a testagem da geração do sistema fotovoltaico, considerando os 7 módulos, durante o período de dias do respectivo mês, foi registrada esta tabela com a comparação da energia gerada pelo SF em relação a quantidade de energia consumida pela unidade residencial:

Tabela 9 – Análise entre geração de energia pelo SF e consumo da unidade residencial

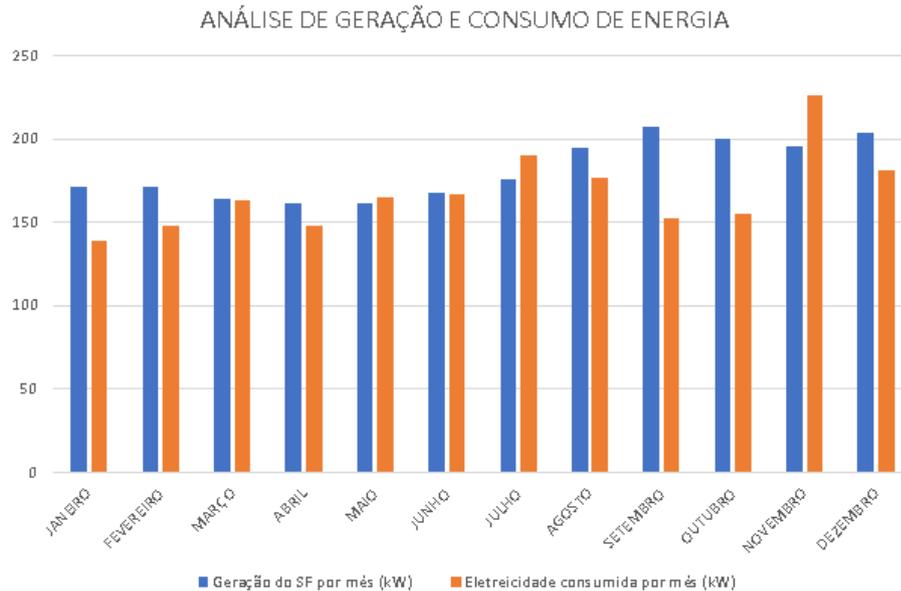
ANÁLISE DE GERAÇÃO E CONSUMO DE ENERGIA				
MESES	Taxa de irradiação (kWh/m <sup>2</sup> . dia)	Geração do SF por mês (kW)	Eletricidade consumida por mês (kW)	Créditos de energia gerados pelo sistema (kW)
JANEIRO	5,09	171 kW	139 kW	+32 kW
FEVEREIRO	5,09	171 kW	148 kW	+23 kW
MARÇO	4,89	163,8 kW	163 kW	+0,8 kW
ABRIL	4,8	160,86 kW	148 kW	+12,86 kW
MAIO	4,82	161,67 kW	165 kW	-3,33 kW
JUNHO	4,99	167,37 kW	167 kW	+0,37 kW
JULHO	5,23	175,35 kW	190 kW	-14,65 kW
AGOSTO	5,79	194,25 kW	177 kW	+17,25 kW
SETEMBRO	6,17	207,06 kW	152 kW	+55,06 kW
OUTUBRO	5,96	199,92 kW	155 kW	+44,92 kW
NOVEMBRO	5,83	195,55 kW	226 kW	-30,45 kW
DEZEMBRO	5,63	203,70 kW	181 kW	+22,70 kW

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020

Após os resultados, fica claro que o pico de energia gerada pelo Sistema Fotovoltaico acontece no mês onde há maior taxa de incidência solar, nesse caso Setembro. Os meses em que houveram sobra de energia, os “créditos de energia”, foram marcados com sinal positivo e os meses em que a geração do SF não superou o consumo foram marcados com sinal negativo.

No gráfico abaixo é possível visualizar de forma mais detalhada a comparação entre geração e consumo de energia em cada mês.

Figura 57: Gráfico de análise entre a geração de energia pelo SF e consumo da unidade residencial



Fonte: Acervo do Autor, 2020

Nessa perspectiva, é possível afirmar que o sistema gerou um crédito de 75% do consumo de energia para aquele ano, que de certa forma, compensa os meses em que não houve o suprimento da demanda de consumo.

### 5.3 Parâmetro de viabilidade econômica

A metodologia aplicada para se obter o tempo de retorno do investimento no sistema fotovoltaico foi através do ROI (Retorno On Investment), onde o cálculo é baseado na divisão entre o ganho obtido a partir do investimento pela quantia gasta com o investimento, multiplicando esse resultado por 100, para que se obtenha em porcentagem.

$$\text{ROI} = (\text{Ganho obtido} / \text{Quantia gasta com o investimento} \times 100)$$

Para a coleta dos dados iniciais, foi compilado o consumo de energia elétrica da rede de distribuição com os custos mensais com, totalizando no ganho obtido, ou custo evitado para aquele ano.

Tabela 10 – Análise dos custos do consumo de energia elétrica

CUSTOS DO CONSUMO DE ENERGIA			
MESES	Eletricidade consumida por mês (kW)	Tarifa do consumo de energia para baixa renda	Valor total da conta de energia
JANEIRO	139	0,54	R\$ 75,06
FEVEREIRO	148	0,54	R\$ 79,92
MARÇO	163	0,54	R\$ 88,02

ABRIL	148	0,54	R\$	79,92
MAIO	165	0,54	R\$	89,10
JUNHO	167	0,54	R\$	90,18
JULHO	190	0,54	R\$	102,60
AGOSTO	177	0,54	R\$	95,58
SETEMBRO	152	0,54	R\$	82,08
OUTUBRO	155	0,54	R\$	83,70
NOVEMBRO	226	0,6	R\$	135,60
DEZEMBRO	181	0,54	R\$	97,74
TOTAL			R\$	1.099,50

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado de equatorialenergia.com)

Os dados equivalentes a tarifa de consumo para baixa renda foram obtidos pela empresa Equatorial Energia, que classifica o valor das tarifas para baixa renda a partir da quantidade de consumo de energia.

Tabela 11 – Valores de tarifas para baixa renda

Tarifa Convencional	
Classe	Tarifa (R\$/kWh)
Consumo - até 30 kWh	0,21
Consumo - 31 kWh a 100 kWh	0,36
Consumo - 101 a 220 kWh	0,54
Consumo acima de 220 kWh	0,6

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2020 (Adaptado de equatorialenergia.com)

Com todas as informações coletadas, é aplicado ao cálculo para obter o tempo de retorno de investimento.

Dados obtidos:

Ganho obtido = 1.099,50

Quantia gasta com o investimento = 12.309,67

ROI =  $(1.099,50/12.309,67 \times 100) = 8,93\%$

Desta forma, o investimento no sistema fotovoltaico seria pago em um período em torno de 12 anos, como o sistema possui uma garantia de funcionamento de 25 anos, a aquisição do gerador fotovoltaico proporcionaria um período de 13 anos de uso do gerador fotovoltaico livre dos custos iniciais do investimento, e com os benefícios da geração da própria energia.

## 6 CONCLUSÃO

A instalação de um Sistema Fotovoltaico em uma habitação popular é um tema de interesse para diversas famílias que desejam instalar esse sistema em sua habitação, porém a falta de informação mais direcionada acaba por dificultar o interesse nessa área, impossibilitando no aumento da energia solar no Brasil.

Este trabalho teve o intuito de demonstrar de forma prática como acontece o processo de aquisição de um sistema fotovoltaico em uma residência, o direcionamento para habitações populares tem como objetivo democratizar o acesso a esse sistema, através da informação e de um exemplo real na cidade de São Luís - MA.

O uso da energia nas habitações brasileiras é crescente conforme o aumento das cidades, a dependência cada vez mais constante de equipamentos eletrodomésticos estimula no crescimento da demanda energética brasileira, que por sua vez se utiliza de fontes não renováveis para a geração de energia. O investimento em energia solar abrange um tema que trata não somente dos componentes eletro/eletrônicos de um sistema, mas sim de uma nova visão do futuro em termos de sustentabilidade, crescimento tecnológico e econômico.

Apesar da abordagem mais focada no tema de energia solar, este trabalho utiliza como conceito fundamental a eficiência energética como prática para que se obtenha uma arquitetura mais funcional, especialmente em habitações. Os métodos de boa prática arquitetônica citados ao longo de toda a pesquisa visam na diminuição do uso de condicionamento de ar e iluminação artificial, reduzindo os custos na conta de energia, que por sua vez tendem a requerer de um sistema fotovoltaico menor e mais barato.

Em relação ao gerador fotovoltaico testado para a unidade residencial em São Luís, os valores obtidos demonstram que o sistema irá suprir quase por completo a demanda energética da residência, chegando a uma eficiência de 75% do consumo no ano, considerando os valores referentes aos créditos de energia gerados nos meses, admite-se que essa economia chegaria próxima a totalidade naquele ano.

Comprovou-se também que o sistema fotovoltaico se torna viável para aquisição no contexto da unidade residencial testada, apresentando uma rentabilidade de 100% em relação ao custo de investimento.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10067**: Representação em Desenho Técnico. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704**: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: Informação e documentação – Trabalhos acadêmicos. Rio de Janeiro, 2011.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social – Classificação. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6492/94**: Representação dos Projetos de Arquitetura. Rio de Janeiro, 1994.

ABSOLAR ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Perspectivas da Energia Solar no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/quem-somos.html>>. Acesso em: 08 set. 2019.

AMERICA DO SOL. **Simulador Solar**. 2020. Disponível em: [https://www.americadosol.org/simulador/simulation.php?id=405881&session=95b879c560953ebb034573bf439995c9&id\\_s=1](https://www.americadosol.org/simulador/simulation.php?id=405881&session=95b879c560953ebb034573bf439995c9&id_s=1). Acesso em: 04 jun. 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Entenda melhor o que a ANEEL está propondo para o futuro da GD**. 2019. Disponível em: [https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset\\_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entenda-melhor-o-que-a-aneel-esta-propondo-para-o-futuro-da-gd/656877?inheritRedirect=false](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entenda-melhor-o-que-a-aneel-esta-propondo-para-o-futuro-da-gd/656877?inheritRedirect=false). Acesso em: 27 maio 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. 2015. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>. Acesso em: 27 maio 2020.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) - Módulo 3, Acesso ao Sistema de Distribuição**. 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 04 jun. 2020.

ARINI, Ruy. Arquitetura de terra: uma solução ecológica, econômica e autossustentável. **Revista de Direito da Cidade**, v. 7, n. 1, p. 303-312, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA (ABINEE). **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo: ABINEE, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA (ABSOLAR). **GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL PODE QUADRUPPLICAR ATÉ 2029**. 2020. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/noticia/noticias-externas/geracao-de-energia-solar-no-brasil-pode-quadruplicar-ate-2029.html>>. Acesso em: 25 mar. 2020.

BARROS, Mariana Chaves; BASTOS, Nathalia Flinkas de Argollo. **Edificações Sustentáveis e Certificações Ambientais – Análise do Selo Qualiverde** – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015. X, 90 p.: il.

BONDUKI, Nabil Georges. Origens da habitação social no Brasil. **Análise social**, p. 711-732, 1994.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável, São Paulo: Páginas e Letras - Editora e Gráfica, 2010. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/01.pdf>>. Acesso em: 04 de mar. 2020.

CRESESB. **Fontes de dados eólicos e solares**. 2017. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com\\_content&cid=fontes\\_dados\\_vento\\_sol](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=fontes_dados_vento_sol)> Acesso em: 02 abr. 2020.

EQUATORIAL ENERGIA (São Luís). **Iluminação Pública**. 2020. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/iluminacao-publica/>. Acesso em: 04 jun. 2020.

ESPINEIII, U. - a gestão do consumo de materiais como instrumento para a redução da geração de resíduos nos canteiros de obras. In: Seminário de Gestão e reciclagem de resíduos da Construção e demolição – avanços e desafios. São Paulo. PCC USP, 2005. Cd-roM.

FILHO, José Ribamar Santos Moraes. **Análise de viabilidade econômica do mercado de micro geração fotovoltaica on grid no Estado do Maranhão.** 2017. 121 p. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) CCET – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2017.

GELLER, H. S. **Revolução Energética:** políticas para um futuro sustentável. Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

GRANEMANN, Matheus Brandão. **7 benefícios dos prédios sustentáveis.** 2012. Disponível em: <<http://atitudesustentavel.com.br/blog/2012/01/31/7-beneficios-dos-predios-sustentaveis/>>. Acesso em: 13 nov. 2019.

LAMBERTS, Roberto et al. Casa eficiente: consumo e geração de energia. **Florianópolis: UFSC/LabEEE,** v. 2, p. 76, 2010.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura.** 3º edição. São Paulo: Eletrobrás/Procel, 2014.

MARICATO, Ermínia. **A produção capitalista da casa (e da cidade) no Brasil industrial.** Editora Alfa-Omega, 1979.

MEDEIROS, Virgílio Almeida. Casa Sustentável. In: SENGE MINAS GERAIS, 65., 2012, Belo Horizonte. **Cartilha.** Belo Horizonte: Senge, 2012. p. 01 – 54.

MPX. **Usina Solar Tauá.** Apresentação no EnerGen LatAm 2013. Rio de Janeiro-RJ. 28 e 29 janeiro de 2013.

NOVIS, L.E.M. Estudos dos Indicadores Ambientais na Construção Civil – Estudo de Caso em 4 Construtoras. 2014. 85p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. **Programa Brasileiro de Etiquetagem.** Disponível em < <https://www2.inmetro.gov.br/pbe/>>. Acessado em: 29 out. 2019.

PEREIRA, E. B., MARTINS, F. R., de ABREU, S. L., & RÜTHER, R. (2006). **Atlas brasileiro de energia solar** (Vol. 1). São José dos Campos: Inpe.

PINHO, J. T.; GALDINO, M.A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPTEL-CRESESB, 2014.

PORTAL SOLAR. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. 2019. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 29 out. 2019.

PROCEL. **Etiquetagem PBE Edifica**. 2019. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BD3C90184-7BCF-454B-A22E-31B8F2E1EE3C%7D&Team=¶ms=itemID=%7BC28C2387-3172-4D9F-B769-EB386F0961E5%7D;LumisAdmin=1;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 08 set. 2019.

REPENSA ENERGIA. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Remota**. 2020. Disponível em: <https://www.repensaenergia.com/geracao-remota>. Acesso em: 27 maio 2020.

SOLARGIS. **ATLAS SOLAR GLOBAL**. Disponível em: [https://globalsolaratlas.info/detail?c=-23.550769,-46.63353,11&r=BRA:BRA.25\\_1&s=-23.5507,-46.6334&m=site&pv=small,0,24,1](https://globalsolaratlas.info/detail?c=-23.550769,-46.63353,11&r=BRA:BRA.25_1&s=-23.5507,-46.6334&m=site&pv=small,0,24,1). Acesso em: 02 abr. 2020.

SOLETROL. **O Aquecedor Solar de Água em Habitações de Interesse Social**. Disponível em: <<https://www.soletrol.com.br/produtos/habitacoes-de-interesse-social/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

SOUZA, Ronilson di. **Sistema Fotovoltaico Off-Grid (Isolado): Você acha que sabe tudo?** 2016. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-off-grid-isolado-voce-acha-que-sabe-tudo/>. Acesso em: 03 jun. 2020.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia Solar Fotovoltaica**. Saraiva Educação SA, 1983.

## ANEXO A - RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482/2012

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012

Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

(\*) Vide alterações e inclusões no final do texto.

### Módulos do PRODIST

O DIRETOR-GERAL DA AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, no uso de suas atribuições regimentais, de acordo com deliberação da Diretoria, tendo em vista o disposto na Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, no art. 4º, inciso XX, Anexo I, do Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, na Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, na Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, no Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, o que consta no Processo nº 48500.004924/2010-51 e considerando:

as contribuições recebidas na Consulta Pública nº [15/2010](#), realizada por intercâmbio documental no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 e

as contribuições recebidas na Audiência Pública nº [42/2011](#), realizadas no período de 11 de agosto a 14 de outubro de 2011, resolve:

## CAPÍTULO I

### DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art. 1º Estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

I - Micro geração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - Mini geração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

III - Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com micro geração distribuída ou mini geração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa.

## CAPÍTULO II

### DO ACESSO AOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Art. 3º As distribuidoras deverão adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de microgeração e minigeração distribuída, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, as normas internacionais.

§1º O prazo para a distribuidora efetuar as alterações de que trata o *caput* e publicar as referidas normas técnicas em seu endereço eletrônico é de 240 (duzentos e quarenta) dias, contados da publicação desta Resolução.

§2º Após o prazo do § 1º, a distribuidora deverá atender às solicitações de acesso para microgeradores e minigeradores distribuídos nos termos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

Art.4º Fica dispensada a assinatura de contratos de uso e conexão para a central geradora que participe do sistema de compensação de energia elétrica da distribuidora, nos termos do Capítulo III, sendo suficiente a celebração de Acordo Operativo para os minigeradores ou do Relacionamento Operacional para os microgeradores.

Art. 5º Caso seja necessário realizar ampliações ou reforços no sistema de distribuição em função da conexão de centrais geradoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, a distribuidora deverá observar o disposto no Módulo 3 do PRODIST.

## CAPÍTULO III

### DO SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 6º O consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica, observadas as disposições desta Resolução.

Art. 7º No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica deverão ser observados os seguintes procedimentos:

I - Deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.

II - O consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.

III - Caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo, ainda, ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia, se houver.

IV - os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria

unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.

V - O consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica.

VI - Os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento, e serão revertidos em prol da modicidade tarifária.

VII - A fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente, em quilowatt-hora (kWh), por posto horário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.

VIII - Os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia serão considerados no cálculo da sobre contratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

Parágrafo único. Aplica-se de forma complementar as disposições da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, relativas aos procedimentos para faturamento.

## CAPÍTULO IV

### DA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Art. 8º Os custos referentes à adequação do sistema de medição, necessário para implantar o sistema de compensação de energia elétrica, são de responsabilidade do interessado.

§1º O custo de adequação a que se refere o *caput* é a diferença entre o custo dos componentes do sistema de medição requerido para o sistema de compensação de energia elétrica e o custo do medidor convencional utilizado em unidades consumidoras do mesmo nível de tensão.

§2º Os equipamentos de medição instalados nos termos do *caput* deverão atender às especificações técnicas do PRODIST e da distribuidora.

§3º Os equipamentos de que trata o *caput* deverão ser cedidos sem ônus às respectivas Concessionárias e Permissionárias de Distribuição, as quais farão o registro contábil no Ativo Imobilizado, tendo como contrapartida Obrigações Vinculadas à Concessão de Serviço Público de Energia Elétrica.

Art. 9º Após a adequação do sistema de medição, a distribuidora será responsável pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição ou adequação.

Art. 10. A distribuidora deverá adequar o sistema de medição dentro do prazo para realização da vistoria e ligação das instalações e iniciar o sistema de compensação de energia elétrica assim que for aprovado o ponto de conexão, conforme procedimentos e prazos estabelecidos na seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

## CAPÍTULO V

### DAS RESPONSABILIDADES POR DANO AO SISTEMA ELÉTRICO

Art. 11. Aplica-se o estabelecido no *caput* e no inciso II do art. 164 da Resolução Normativa nº [414](#) de 9 de setembro de 2010, no caso de dano ao sistema elétrico de distribuição comprovadamente ocasionado por microgeração ou minigeração distribuída incentivada.

Art.12. Aplica-se o estabelecido no art. 170 da Resolução Normativa nº [414](#), de 2010, no caso de o consumidor gerar energia elétrica na sua unidade consumidora sem observar as normas e padrões da distribuidora local.

Parágrafo único. Caso seja comprovado que houve irregularidade na unidade consumidora, nos termos do *caput*, os créditos de energia ativa gerados no respectivo período não poderão ser utilizados no sistema de compensação de energia elétrica.

## CAPÍTULO VI

### DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art.13. Compete à distribuidora a responsabilidade pela coleta das informações das unidades geradoras junto aos microgeradores e minigeradores distribuídos e envio dos dados constantes nos Anexos das Resoluções Normativas nºs [390](#) e [391](#), ambas de 15 de dezembro de 2009, para a ANEEL.

Art.14. Ficam aprovadas as revisões 4 do Módulo 1 – Introdução, e 4 do Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição, do PRODIST, de forma a contemplar a inclusão da Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída com as adequações necessárias nesse Módulo.

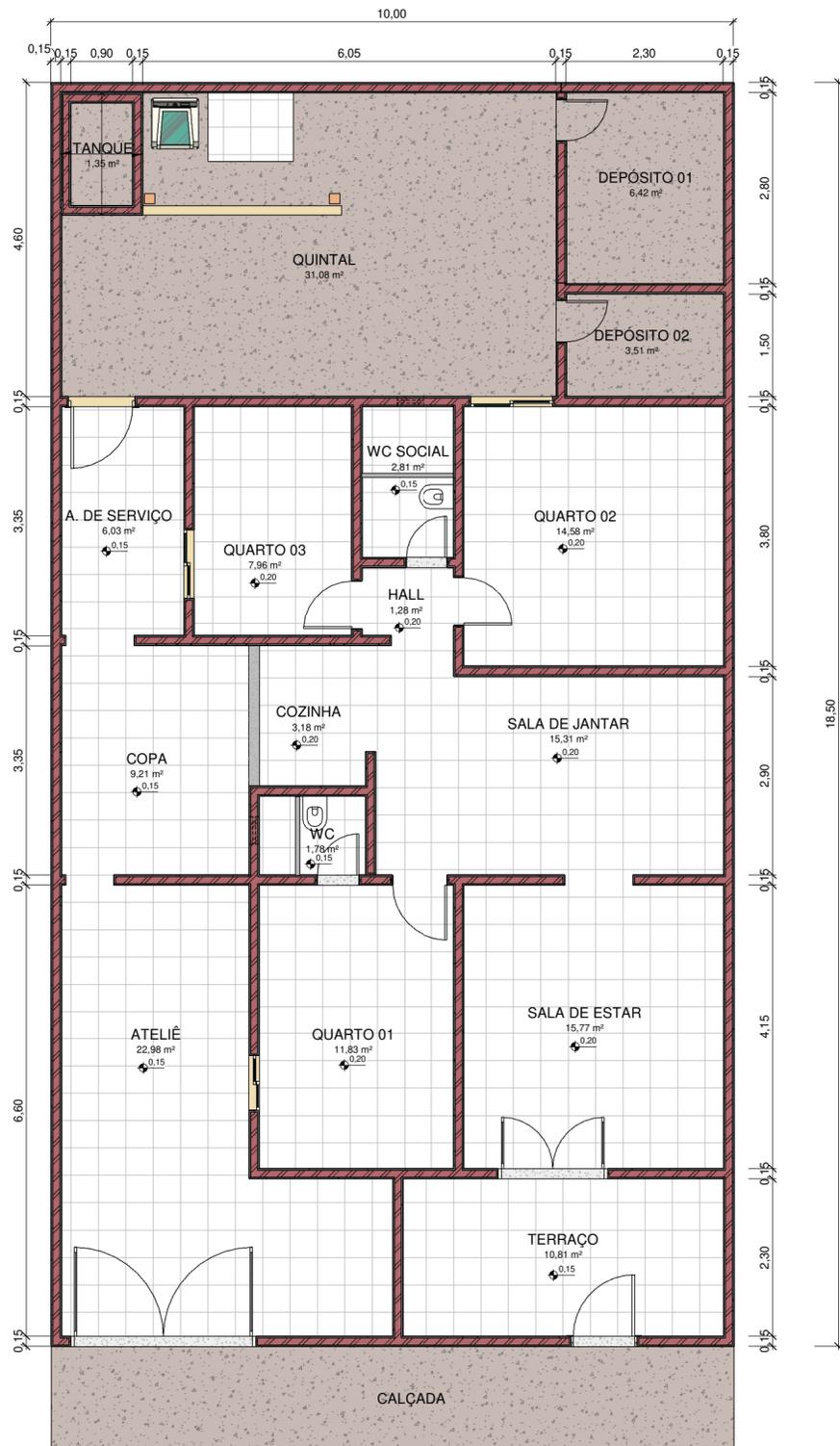
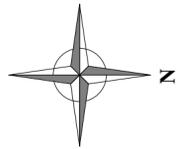
Art. 15. A ANEEL irá revisar esta Resolução em até cinco anos após sua publicação. Art. 16. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

NELSON JOSÉ HÜBNER MOREIRA

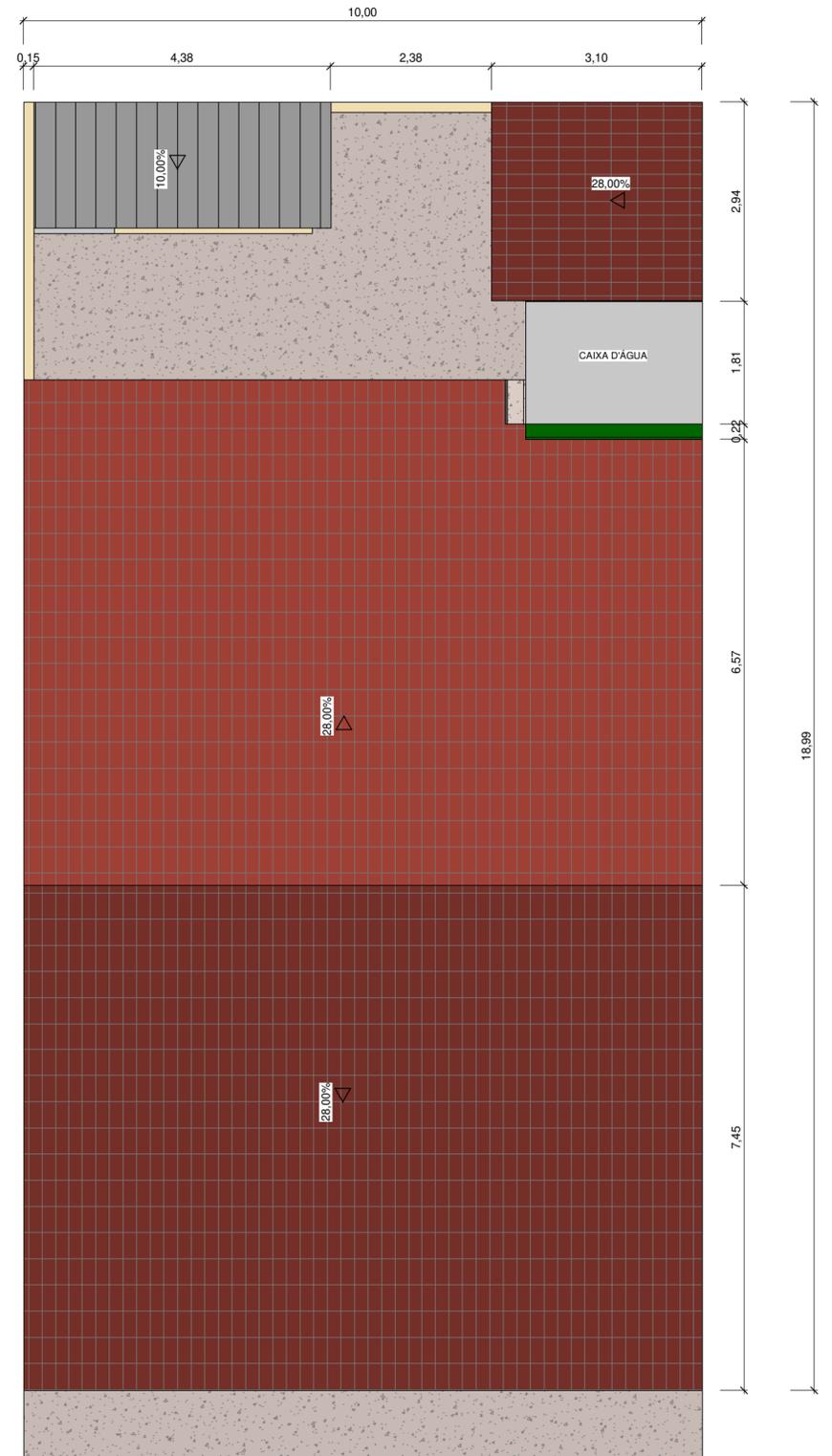
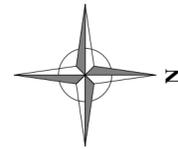
Este texto não substitui o publicado no D.O. de 19.04.2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76.

(\*) Retificação publicada no D.O. de 08.05.2012, seção 1, p. 44, v. 149, n. 88, referente ao item 6.2, a Etapa 3 da Tabela 3 e os itens 3 e 4 do Anexo I, todos da Seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST

**ANEXO B – PLANTA BAIXA E COBERTURA**



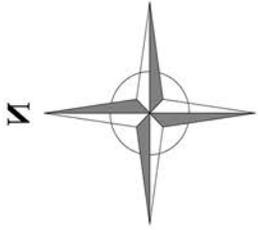
1 Térreo  
1 : 50



2 Cobertura  
1 : 50

PROJETO:	LEVANTAMENTO ARQUITETÔNICO	FOLHA:	1
ENDEREÇO:	Und. 203 Rua 06 Cidade Operária, São Luís-MA		/1
ASSUNTO:	Planta baixa e Cobertura	DATA:	23/06/2020
		ESCALA:	1/50

**ANEXO C – LAYOUT HUMANIZADO**



LAYOUT HUMANIZADO  
SEM ESCALA