

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

ISABELLA YUMI MORI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UTFPR LONDRINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA

2018

ISABELLA YUMI MORI

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO
DISTRIBUÍDA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UTFPR LONDRINA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli

LONDRINA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Análise da viabilidade de um sistema de geração distribuída solar
fotovoltaica para UTFPR Londrina

por

Isabella Yumi Mori

Monografia apresentada no dia 21 de Junho de 2018 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Prof. Dr. Alexandre Sordi
(UTFPR)

Prof. Dr. Roger Nabeyama Michels
(UTFPR)

Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)
Orientador

Profª. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado saúde, condições físicas e psicológicas, proteção, luz e força para a realização de toda a minha graduação, bem como o presente trabalho.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais e minha irmã, que sempre acreditaram em mim e me deram forças e todo o apoio necessário para que eu completasse com muito sucesso essa fase de minha vida. Agradeço por sempre me incentivarem a buscar os meus sonhos e me darem a total liberdade de escolher os meus caminhos, porém me guiando com sua sabedoria e conselhos, e jamais medindo esforços para que eu pudesse conquistá-los. Eles sempre foram e serão a minha razão de levantar todos os dias e me esforçar para ser uma pessoa melhor. A vocês eu dedico essa vitória e o meu eterno amor e gratidão.

Agradeço aos meus amigos, que foram a minha família aqui em Londrina, que dividiram bons momentos e viveram comigo essa fase que não teria sido tão incrível sem eles. Nos momentos de dúvida, cansaço e desânimo do cotidiano, eles sempre me levantaram e me incentivaram a continuar seguindo esse meu sonho. Com certeza cada um deles foi imprescindível para o sucesso da conclusão dessa fase, e a eles fica o meu imenso obrigado!

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Aulus Bineli por compartilhar comigo seus conhecimentos da melhor forma possível, sempre com muita paciência e dedicação. Muito obrigada por sempre me incentivar e me acalmar nos momentos de ansiedade e incerteza, agradeço muito por ter me orientado da melhor forma possível.

Agradeço ainda ao Prof. Dr. Marcos Rambalducci por aceitar me ajudar, mesmo que de última hora, de forma muito paciente comigo compartilhando da melhor forma seus conhecimentos.

Agradeço, por fim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento e realização deste trabalho, bem como da minha graduação como um todo. Muito obrigada, sem cada um de vocês eu não teria chego até aqui.

“Lembre-se de olhar para as estrelas e não para baixo em seus pés. Tente identificar o sentido do que você vê e se pergunte sobre o que faz o Universo existir. Seja curioso. E, no entanto, por mais que a vida possa parecer difícil, há sempre algo que você pode fazer e ter sucesso. É importante que você não desista”.

(Stephen Hawking)

RESUMO

MORI, Isabella Yumi. **Análise da viabilidade de um sistema de geração distribuída solar fotovoltaica para UTFPR Londrina**. 2018. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

A crescente preocupação com as questões ambiental e energética levaram a busca por fontes renováveis de energia. Neste cenário, a energia solar fotovoltaica é considerada como uma das mais promissoras, devido a vantagens significativas como sua fácil operação, possibilidade de integração às edificações, baixos índices poluição durante a sua operação, e grande potencial Brasileiro de geração. Assim, o presente trabalho avaliou a possibilidade de instalação desta tecnologia na UTFPR - Campus Londrina, visando a autossuficiência energética do Câmpus. A viabilidade técnica foi estudada por meio da escolha das áreas apropriadas e dimensionamento do sistema de geração de energia solar fotovoltaica; cálculo do Payback, Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR) para análise da viabilidade econômica; e uma discussão sobre a contribuição deste projeto para a adesão das fontes renováveis na matriz energética brasileira, bem como as emissões evitadas em relação à fonte utilizada atualmente. Os resultados indicaram que o Câmpus possui área suficiente para suprir sua própria demanda, podendo instalar os painéis em diversas localizações. No entanto, a partir das considerações, os locais mais indicados para instalação dos módulos seriam os estacionamentos 2, 3 e 5. Além disso, economicamente o projeto mostrou-se positivo uma vez que o investimento seria recuperado em 9 anos e 11 meses, e as emissões evitadas seriam de 64,18 toneladas de CO₂ por ano. Portanto, foi possível concluir a total viabilidade do projeto, confirmar os benefícios da implantação do sistema de geração distribuída de energia solar fotovoltaica, e indicar pontos para uma possível continuação do trabalho.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Energia solar fotovoltaica. Geração distribuída. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

MORI, Isabella Yumi. **Analysis of the feasibility of a photovoltaic solar energy generation system for UTFPR Londrina**. 2018. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

The increasing concern about both environmental and energy issues has led to the search for renewable energy sources. Photovoltaic solar energy is considered one of the most promising, due to its significant advantages such as its easy operation, possibility of integration to buildings, low pollution rates during its operation, and great Brazilian potential of generation. Thus, the present study evaluated the possibility of installing this technology at UTFPR - Campus Londrina, aiming its energy self-sufficiency. The technical feasibility was studied by choosing the appropriate areas and designing the photovoltaic solar energy generation system; it was calculated the Payback, Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR) for economic viability analysis; and the discussion about the contribution of this project to the adhesion of renewable sources in the Brazilian energy matrix, as well as the avoided emissions in relation to the current source. The results indicated that the campus has enough area to supply its own demand and can install the panels in different locations, which the study demonstrated that the most indicated areas are the parking 2, 3 and 5. Economically the project is positive since the investment would be recovered in 9 years and 11 months, and the avoided emissions would be 64.18 tons of CO₂ per year. Therefore, it was possible to conclude the total viability of the project, to confirm the benefits of the implementation of the distributed solar photovoltaic system, and to point out points for a possible continuation of the work.

Keywords: Photovoltaic systems. Photovoltaic solar energy. Distributed generation. Economic feasibility.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Média anual da irradiação solar global horizontal	16
Figura 2 - Médias sazonais de irradiação global diária	17
Figura 3 - Componentes de uma célula fotovoltaica com silício de material semicondutor	18
Figura 4 - Efeito fotovoltaico na junção pn	19
Figura 5 - Quota de mercado das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas	20
Figura 6 - Sistema isolado de geração de energia fotovoltaica na comunidade de Boa Sorte – MS	21
Figura 7 - Sistema fotovoltaico isolado e integrado à edificação	22
Figura 8 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica convencional e interligado a uma edificação	23
Figura 9 - Estimativa do custo de investimento de um sistema fotovoltaico completo, exceto montagem	25
Figura 10 – Fluxograma das atividades propostas	32
Figura 11 – História do Câmpus Londrina da UTFPR	33
Figura 12 – Imagens aéreas da localização e do próprio Câmpus da UTFPR Londrina	34
Figura 13 – Médias mensais de irradiação solar em Londrina – Pr	37
Figura 14 – Gráfico do consumo de energia elétrica de ponta, fora de ponta e número de pessoas na UTFPR – Câmpus Londrina	44
Figura 15 – Gráfico do consumo de energia elétrica no Câmpus por durante o ano	45
Figura 16 – Gráfico do consumo médio de energia elétrica por pessoa ao longo dos anos	45
Figura 17 – Mapa da UTFPR – Londrina e os possíveis locais para a instalação dos módulos	46
Figura 18 – Movimento do Sol	48
Figura 19 – Mapa geoeletrico do Paraná	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Médias diárias mensais de irradiação solar em Londrina – Pr	36
Tabela 2 - Módulos fotovoltaicos considerados e suas características	38
Tabela 3 – Número de pessoas presentes na UTFPR - Câmpus Londrina	43
Tabela 4 – Medidas das áreas disponíveis para instalação dos módulos fotovoltaicos	47
Tabela 5 – Resultados dos cálculos para dimensionamento do sistema fotovoltaico	49
Tabela 6 – Vantagens e desvantagens associadas aos diferentes métodos de limpeza	51
Tabela 7 – Cálculo parâmetros para análise de viabilidade econômica	55
Tabela 8 – Cálculo parâmetros para análise de viabilidade econômica	56

LISTA DE ABREVIATURAS

a-Si	Silício Amorfo
LID	<i>Light Induced Degradation</i> – Degradação Induzida pela Luz
m-Si	Silício Monocristalino
PID	<i>Potential Induced Degradation</i> – Degradação Induzida Potencial
p-Si	Silício Policristalino
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
T&D	Sistema de Transmissão e Distribuição
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	15
3.1.1. IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL	15
3.1.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	18
3.1.3 Tecnologias disponíveis.....	19
3.1.4 Sistemas fotovoltaicos	21
3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	23
3.3 QUESTÃO ECONÔMICA	24
3.3.1 Custo do sistema fotovoltaico	24
3.3.2 Indicadores para a Análise de Viabilidade Econômica	25
3.4 QUESTÃO AMBIENTAL	27
3.4.1 Reciclagem dos módulos.....	28
3.4.2 Aspecto legal	29
3.5 LEGISLAÇÃO	29
4 METODOLOGIA	32
4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	32
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	32
4.2.2. Consumo de energia elétrica.....	35
4.2.3. Área disponível para instalação dos módulos	35
4.2.4. Irradiação solar.....	36
4.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	37
4.4. MANUTENÇÃO DO SISTEMA.....	39
4.5. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	40
4.6. ANÁLISE AMBIENTAL.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CAMPUS	43
5.2. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CÂMPUS.....	43

5.3.	DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS	46
5.3.1.	Áreas disponíveis	46
5.3.2.	Viabilidade das áreas selecionadas	47
5.4.	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	49
5.5.	MANUTENÇÃO DOS PAINÉIS.....	50
5.6.	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	51
5.7.	DISCUSSÕES SOBRE ASPECTOS AMBIENTAIS	56
6.	CONCLUSÃO.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as questões energética e ambiental vêm sendo de grande preocupação mundial. Como expõe Lisita (2005), a crise do petróleo, que elevou os preços; a crise do gás natural na Bolívia, grande fornecedora do Brasil; a escassez de recursos para a construção de grandes obras e os problemas ambientais gerados por alagamentos, ambos relacionados à construção de hidrelétricas; e a necessidade de abandonar o uso de combustíveis fósseis são fatos motivadores à adoção de fontes de energia renováveis e limpas. Dessa forma, é uma realidade a constante busca à eficiência energética e à preservação do meio ambiente.

Felizmente, a conscientização e busca pela adoção de fontes de energia limpa já são realidade em diversos países, onde investimentos em energias renováveis aumentaram consideravelmente, alcançando US\$301 bilhões em 2015, segundo o Renewables Global Status Report (2015). No Brasil, observa-se também um cenário promissor, onde a oferta interna de energia renovável subiu de 39,4% em 2014 para 41,2% em 2015; enquanto que a partir das não-renováveis abaixou de 60,6% para 58,8% no mesmo período, conforme os dados do Balanço Energético Nacional (MME, 2015).

Presente neste cenário está a energia solar, que corresponde a aproximadamente 55% de novos investimentos em energias renováveis no mundo, com um crescimento de 25% em relação a 2013, atingindo US\$149.5 bilhões (Renewables Global Status Report, 2015). Conforme dados disponibilizados pela Agência Internacional de Energia (IEA), o segmento conta com 586 milhões de metros quadrados de coletores solares em operação, sendo a maioria localizada na China e no continente Europeu, que somam 82,1% da capacidade instalada. No Brasil a situação também é favorável, ocupando o terceiro lugar (entre 61 países estudados) no ranking de capacidade instalada, e contribuindo ao meio ambiente com 2,5 milhões de toneladas de emissões evitadas de CO₂, ambos no ano de 2014, segundo o relatório anual Solar HeatWorldWide (MAUTHNER et. al., 2016).

É incontestável o crescimento de investimentos no setor de geração de energia fotovoltaica no Brasil e no mundo, fato que se deve a diversas vantagens trazidas pela tecnologia ao meio ambiente e à economia. A energia solar fotovoltaica é uma das mais promissoras tecnologias existentes, pois é silenciosa, estática,

simples de operar, não ocupa grandes áreas e, devido à forma distribuída de geração de eletricidade e à possibilidade de ser integrada nas edificações, ficando próxima ao ponto de consumo, diminui-se as perdas por transmissão e distribuição, que são comuns no setor elétrico brasileiro (RÜTHER, 2004).

Porém, ainda se espera maior adesão à essa tecnologia em países como o Brasil, devido ao seu grande potencial de radiação solar, com médias anuais que variam entre 4kWh/m^2 e $6,5\text{kWh/m}^2$ por dia, enquanto em países como Alemanha o valor máximo é de $3,44\text{kWh/m}^2$ (ALVES, et al., 2014). Vários fatores contribuem para essa resistência, como o alto custo para implantação do sistema, que demanda grande investimento inicial; e políticas públicas e tarifárias, em que o incentivo ainda deixa a desejar. Dessa forma, estudos da viabilidade de implantação de energia solar têm sido fundamentais para a sua consolidação na matriz energética brasileira e mundial. Estes têm trazido contribuições importantes para uma maior eficiência e consequente redução de custos de sistemas fotovoltaicos, bem como a sua popularização ao ressaltar seus benefícios à economia e ao meio ambiente a curto e longo prazo.

Assim, ao executar o estudo proposto na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina, acredita-se incentivar o uso da tecnologia, ampliando o conhecimento da mesma e contribuindo para uma possível implantação no futuro. Esta que é uma instituição com alta visibilidade, onde transitam milhares de pessoas; além de contar com um consumo significativo de energia elétrica durante o dia e noite, incluindo fins de semana e por possuir em seus laboratórios equipamentos de alto consumo, que muitas vezes não podem ser desligados. Segundo a ANEEL (2016), dentre as 63 instituições públicas de educação superior presentes no Brasil atualmente, a conta de energia elétrica se encontra como uma de suas maiores despesas.

Além disso, outra grande motivação é a publicação da Chamada de Projeto Prioritário de Eficiência Energética e Estratégico de Pesquisa e Desenvolvimento proposta pela ANEEL, que busca selecionar projetos pilotos em Instituições Públicas de Educação Superior promovendo a eficiência energética, mudança de hábito de consumo, minigeração de energia dentro da instituição, redução das contas de energia e contribuindo para a disseminação da cultura de eficiência energética na formação de futuros profissionais (ANEEL, 2016).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo do presente trabalho é analisar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de geração distribuída solar fotovoltaica nas edificações da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar o consumo energético do Câmpus em relação à capacidade de geração de energia por meio de sistemas de energia fotovoltaicos;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico;
- Prever os procedimentos de instalação do sistema fotovoltaico e, assim, a viabilidade técnica;
- Analisar a viabilidade econômica por meio de parâmetros como Payback, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica é definida por CRESESB (2006) como a energia obtida por meio da conversão direta da luz em eletricidade. Em 1839, Edmond Becquerel observou pela primeira vez o efeito fotovoltaico, verificando uma pequena diferença de potencial em placas metálicas de platina ou prata, mergulhadas em um eletrólito, e expostas à luz. Anos depois, em 1877, os norte-americanos W. G. Adams e R. E. Day desenvolveram o primeiro dispositivo sólido de produção de eletricidade por exposição da luz utilizando o selênio, que apesar de sua baixa eficiência (de ordem de 0,5%) foi comercializado pelo alemão Werner Siemens como fotômetros para máquinas fotográficas, no século XIX (VALLÊRA; BRITO, 2006).

A princípio, o interesse pelo desenvolvimento da tecnologia era principalmente das empresas do setor de telecomunicações, que buscavam fontes de energia para sistemas instalados em locais remotos. Além da indústria espacial, que percebeu nessa tecnologia a fonte mais adequada para fornecer energia durante longos períodos de tempo no espaço e para alimentar satélites (CRESESB, 2006). Dessa forma, a energia solar fotovoltaica teve grande avanço em sua tecnologia, otimizando o tamanho e peso das células assim como sua eficiência.

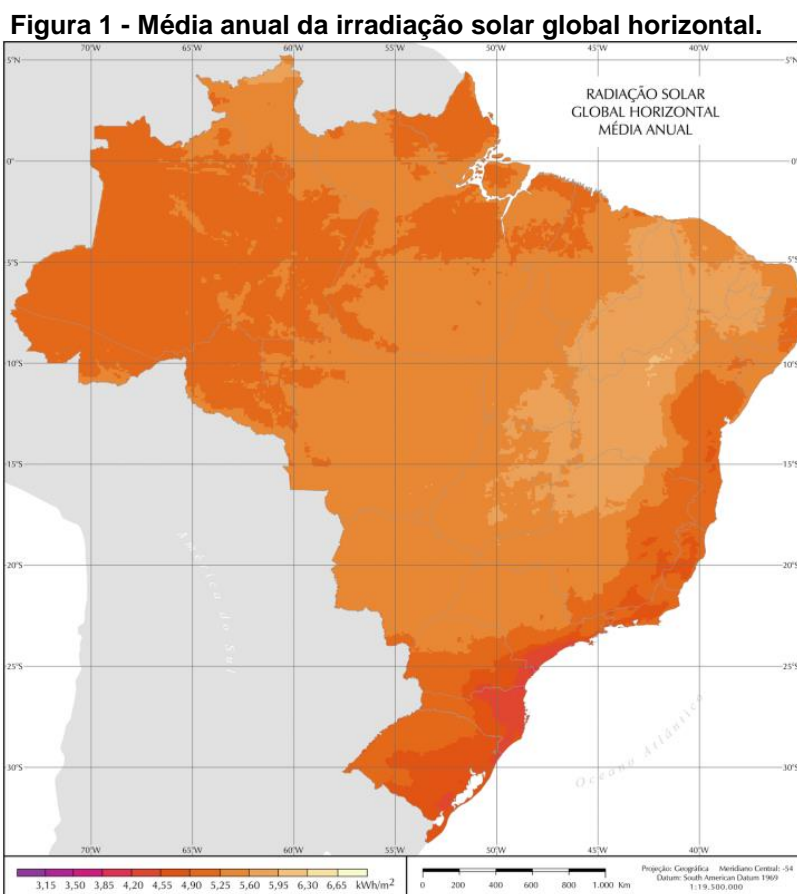
A crise energética do início dos anos 70 alavancou o interesse pela adaptação da tecnologia ao meio terrestre, pois o alto custo das células fotovoltaicas inviabilizava a sua aplicação em larga escala. Dessa forma, a ampliação do mercado e a modificação do perfil das empresas envolvidas no setor, têm otimizado a tecnologia, reduzido os preços das células fotovoltaicas e aumentando sua eficiência de forma a tornar possível sua utilização em larga escala, em residências e em locais desprovidos de rede elétrica (TEIXEIRA et al, 2011).

3.1.1. IRRADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

A radiação solar é o principal fator para geração de energia solar através do efeito fotovoltaico e é definida por Varejão-Silva (2006) como “a energia que se propaga sem necessidade da presença de um meio material. O termo radiação é

igualmente aplicado para designar o próprio processo de transferência desse tipo de energia”. Já a irradiação solar consiste na quantidade de radiação incidida em uma superfície e integrada durante um determinado período de tempo, este parâmetro é utilizado nos cálculos para estimar a capacidade de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico (BRAUN-GRANBOLLE, 2010).

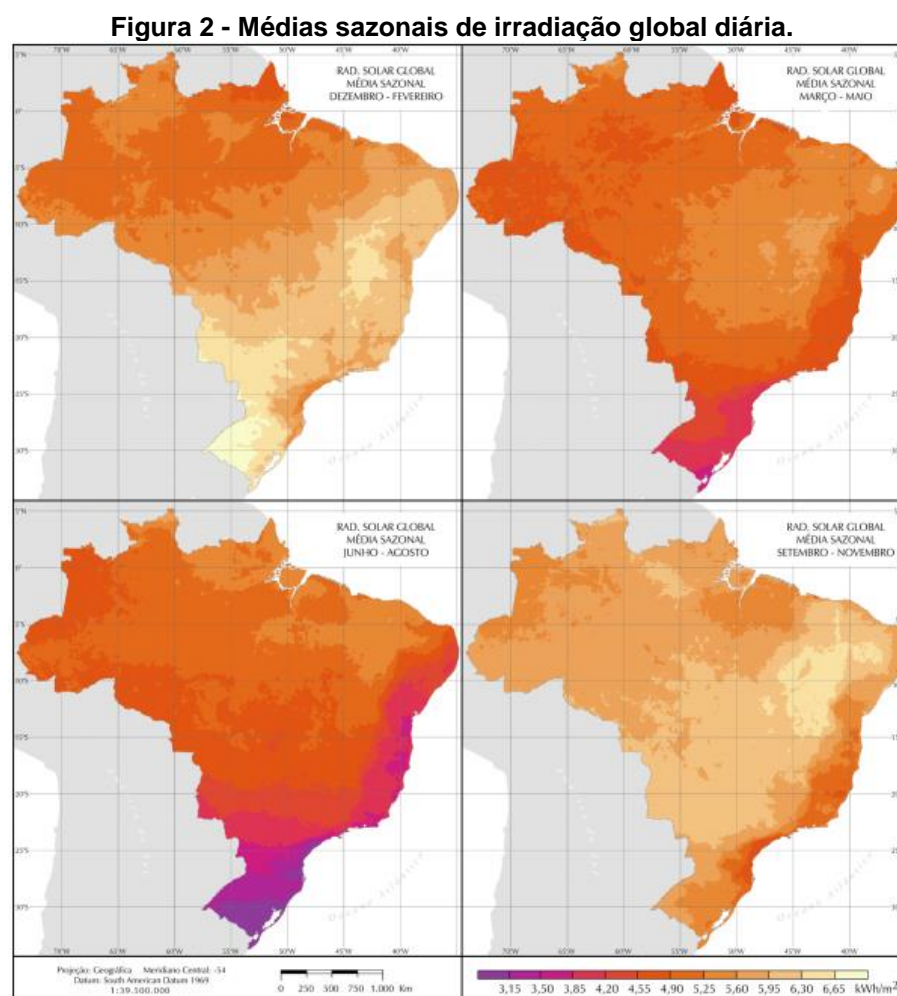
Para auxiliar na obtenção deste parâmetro no Brasil foi elaborado, entre outros, o Atlas Brasileiro de Energia Solar publicado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, desenvolvido no Projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) e escrito por Pereira et. al. (2006). A Figura 1 mostra o mapa com as médias anuais do total diário de irradiação solar global incidente em todo o território brasileiro.



Fonte: PEREIRA, et. al., 2006.

Percebe-se que, apesar da variação da média anual de irradiação global entre as regiões, são altas em todo o país. O valor máximo de irradiação global se encontra no estado da Bahia, sendo de 6,5 kWh/m²; e a menor ocorre em Santa Catarina, com 4,25 kWh/m². Estes dados demonstram o grande potencial de irradiação Brasileiro.

A Figura 2 mostra outro mapa interessante presente no Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA, et. al., 2006), mostrando as médias sazonais de irradiação global diária. Os meses do ano foram divididos em quatro estações, sendo de Dezembro a Fevereiro o verão, de Março a Maio o Outono, de Junho a Agosto o Inverno e de Setembro a Novembro a Primavera.

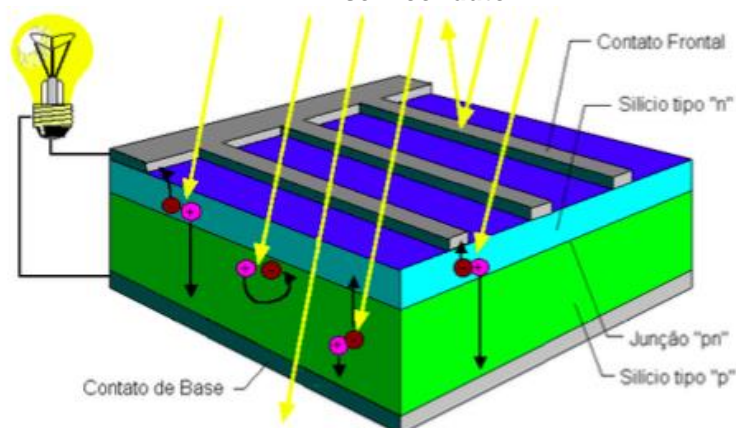


O período com menos irradiação corresponde aos meses do inverno e o com maior irradiação os meses da Primavera. É importante fazer também a análise sazonal pois nos meses com menor irradiação haverá menor geração de energia e isso deve ser levado em consideração nos cálculos de dimensionamento, assim como os meses com maior irradiação e conseqüente maior geração de energia.

3.1.2 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

Segundo a norma da ABNT NBR 10899:2006 (*apud* ORTEGA, 2013), uma célula fotovoltaica pode ser definida como um “dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica”. Esse processo ocorre através do efeito fotovoltaico, que se dá por meio de materiais semicondutores, sendo o silício o mais utilizado. Seus átomos possuem quatro elétrons que se ligam aos vizinhos, formando o que se chama de uma rede cristalina. Ao adicionar átomos com cinco elétrons de ligação, haverá um elétron em excesso que irá para a banda de condução, sendo este átomo um dopante p ; e ao adicionar átomos com três elétrons, haverá um elétron a menos criando-se uma lacuna, sendo este um dopante n (CRESESB, 2006). A Figura 3 representa o corte transversal de uma célula fotovoltaica, onde é possível observar os seus componentes.

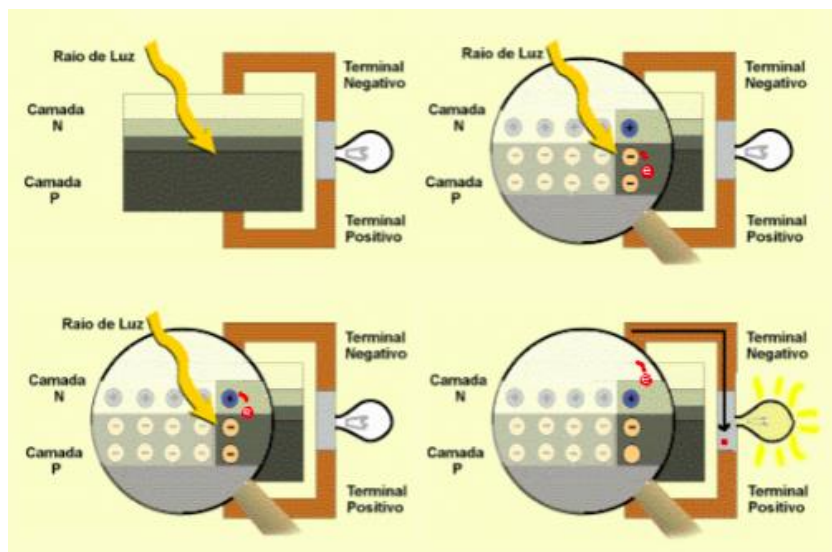
Figura 3 - Componentes de uma célula fotovoltaica com silício de material semicondutor.



Fonte: CRESESB, 2006.

Uma célula fotovoltaica tem como principal componente uma grande área de material semicondutor, onde é criado um campo elétrico interno permanente (junção pn). Quando a radiação solar atinge a célula e é absorvida, um átomo do material semicondutor libera um elétron que é conduzido pelo campo elétrico interno para os contatos, levando à geração de corrente pela célula fotovoltaica (SILVA; BRITO, 2006). Na Figura 4 ilustra-se o efeito fotovoltaico em uma célula.

Figura 4 - Efeito fotovoltaico na junção pn.



Fonte: CRESESB, 2006.

3.1.3 Tecnologias disponíveis

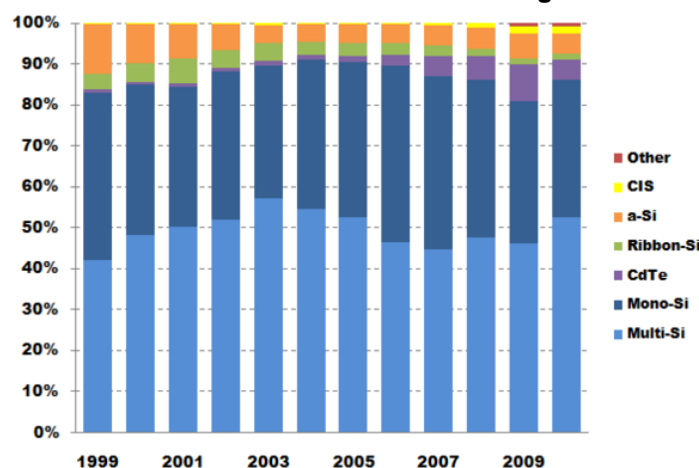
Os tipos de células fotovoltaicas comercialmente disponíveis no mercado podem ser classificados em três tipos: primeira geração, segunda geração de terceira geração. Sendo que as primeiras têm em sua composição silício cristalino como material semiconductor, e se subdividem em dois: Monocristalino (mc-Si) e Policristalino (pc-Si); as de segunda geração, também chamadas de tecnologia de filme fino, são flexíveis, resistem a altas temperaturas e sofrem menos influência do sombreamento. Neste grupo se enquadram células de Silício Amorfo (a-Si), Disseleneto de Cobre e Índio (CIS), Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS), Telureto de Cádmio (CdTe) e Multijunção de Silício (a-Si/ μ c-Si); por fim, as células de terceira geração, conhecidas como de nova tecnologia tem como mais importantes as Células Solares Fotoeletroquímicas (Células de Grätzel) e as Células Solares Orgânicas e Células Solares de Polímero (ORTEGA, 2013).

Em aplicações terrestres, dentre todos esses tipos de células fotovoltaicas, por ordem decrescente de maturidade e utilização destacam-se o Silício Cristalino (c-Si), o Silício Amorfo (a-Si), o Telureto de Cádmio (CdTe) e os compostos que utilizam Disseleneto de Cobre e Índio (RÜTHER, 2004). Porém, alguns dos elementos utilizados para a fabricação dos últimos, como Cd, Se e Te são muito tóxicos ou muito raros, como o Te, Se, Cd e In, o que limitou uma maior exploração desse tipo de tecnologia em células fotovoltaicas.

Sendo assim, o material mais utilizado para a composição dessas células é o silício cristalino devido à sua grande disponibilidade na Terra, à sua não-toxicidade, ao amplo conhecimento de suas características e comportamento por ser comumente utilizado na indústria de eletrônicos, entre outros (SILVA, 2006). Porém, conta com uma grande desvantagem: o alto custo de produção, devido a necessidade do uso de lâminas cristalinas relativamente espessas (300-400 μm), enquanto novas tecnologias utilizam películas delgadas de fina espessura (1 μm) tornando possível a redução de custos (RÜTHER, 2004).

A Figura 5 representa a distribuição de mercado da utilização das diferentes tecnologias fotovoltaicas, Disseleneto de Cobre e Índio (CIS), Silício Amorfo (a-Si), Telureto de Cádmio (CdTe), Monocristalino (Mono-Si) e Policristalino (Multi-Si). E percebe-se a predominância das células de Silício.

Figura 5 - Quota de mercado das diferentes tecnologias de células fotovoltaicas.



Fonte: Solar Power Advice, 2010.

A célula composta de silício monocristalino é a mais utilizada e comercializada, obtida através da fusão de silício de alta pureza (99,9999%), gerando células monocristalinas que são posteriormente fatiadas. Esta apresenta a maior eficiência, entre 15% a 18%; a célula de silício policristalino requer um processo menos complexo, onde o líquido do silício puro é diretamente solidificado e transformado em cristais. Sua eficiência é menor, em torno de 12,5% (RÜTHER, 2004; CRESESB, 2006).

3.1.4 Sistemas fotovoltaicos

Existem basicamente dois tipos de sistemas fotovoltaicos: os isolados e os conectados à rede elétrica. O primeiro tipo é bastante utilizado em países em desenvolvimento para suprir demandas em áreas remotas desprovidas de energia elétrica. Um exemplo é o PRODEEM (Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios), uma iniciativa do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE), do Ministério de Minas e Energia - MME, que tem como objetivo principal levar sistemas convencionais de suprimento de energia a comunidades não atendidas utilizando fontes energéticas renováveis, como sistemas isolados de geração de energia fotovoltaica. A Figura 6 mostra o primeiro projeto do programa, instalado em uma escola rural na comunidade de Boa Sorte – MS, em 1995 (MME, 1997).

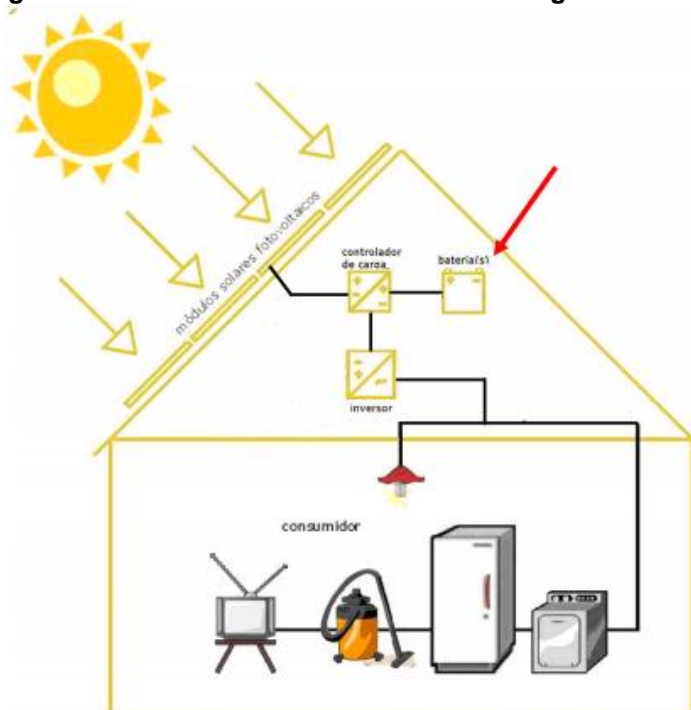
Figura 6 - Sistema isolado de geração de energia fotovoltaica na comunidade de Boa Sorte – MS.



Fonte: MME, 1997.

Em um sistema isolado utiliza-se um banco de baterias para o armazenamento da energia fotovoltaica excedente gerada. O funcionamento básico de um sistema desse tipo é esquematizado na Figura 7 a seguir:

Figura 7 - Sistema fotovoltaico isolado e integrado à edificação.



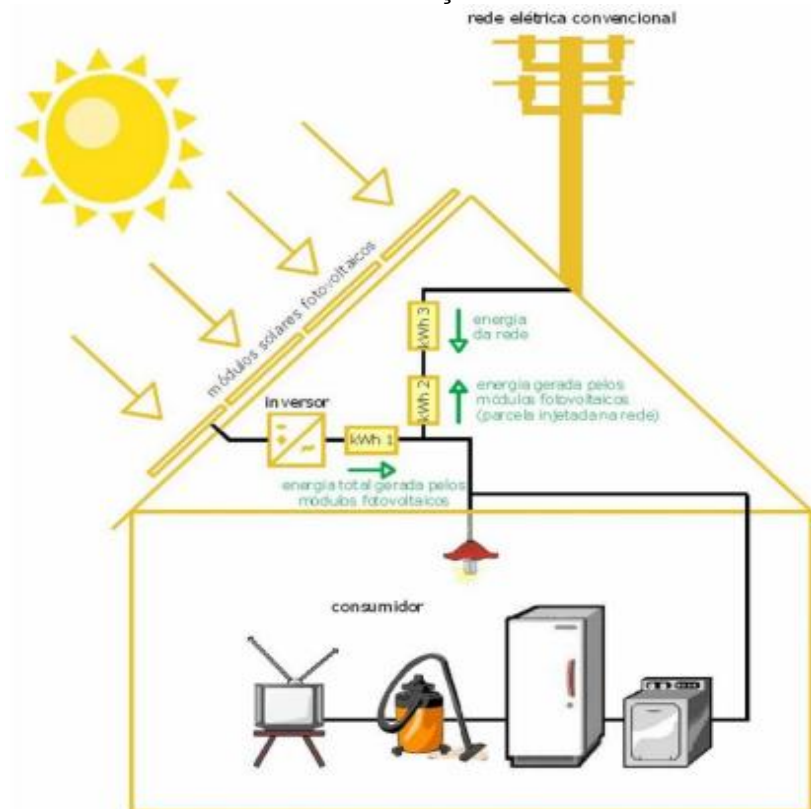
Fonte: ZOMER, 2010.

Outra forma de se instalar um sistema fotovoltaico a uma edificação é conectando-o à rede elétrica. Neste segundo caso, se houver energia excedente gerada, ou seja, que não foi utilizada pela própria edificação, é introduzida na rede convencional e pode ser convertida através de créditos conforme a legislação vigente no país e em cada estado. Uma instalação deste tipo é composta basicamente pelos seguintes itens:

- Painéis solares;
- Sistema de fixação ao envoltório da construção;
- Sistema conversor CC-CA;
- Fusíveis, para proteção dos cabos contra sobrecorrentes;
- Disjuntores;
- Cabos elétricos, resistentes à radiação ultravioleta e com duplo isolamento para suportar temperaturas elevadas;
- Terminais;
- Proteções contra sobretensões e descargas atmosféricas, para isolar o sistema de transientes de tensão indesejáveis;
- Caixas de conexão; onde são instalados componentes de proteção contra surtos de tensão (RÜTHER, 2004).

A Figura 8 representa o sistema fotovoltaico integrado a edificações e conectado à rede elétrica convencional.

Figura 8 - Sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica convencional e interligado a uma edificação.



Fonte: ZOMER, 2010.

3.2 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é uma das grandes vantagens da tecnologia fotovoltaica, entre elas está a geração próxima ao ponto de consumo, que dispensa o uso de sistemas de transmissão e distribuição (T&D) diminuindo os custos e perdas envolvidas (RÜTHER, 2004). Urbanetz Junior (2010) destaca ainda a elevada produtividade, pois praticamente toda a energia disponibilizada pelo módulo é utilizada e o excedente é injetado na rede; e a ausência do conjunto de baterias, que é o maior ponto fraco do sistema fotovoltaico isolado devido à sua baixa vida útil e alto custo. Câmara (2011) adiciona às vantagens o menor espaço utilizado, já que o sistema está interligado à edificação e a coincidência no consumo, principalmente em

empreendimentos comerciais, onde o maior consumo de energia ocorre no mesmo horário que a maior produção de energia pelo sistema fotovoltaico.

Fazendo a relação de consumo e geração de uma residência que possui um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica, considera-se que esta utilizará a energia da rede no período de 18h às 5h, pois não há irradiação solar e consequentemente não há geração de energia pelos painéis. No restante do dia a residência consome a energia necessária produzida pelos módulos fotovoltaicos e o excedente é vendido à concessionária, sendo convertida em créditos. Estes créditos podem ser utilizados durante o período que não se tem produção de energia fotovoltaica. Assim, na maioria dos casos, o consumidor não só deixaria de pagar pela energia como também poderia receber por ela (CÂMARA, 2011).

3.3 QUESTÃO ECONÔMICA

Apesar das evidentes vantagens de se implantar um sistema de geração de energia fotovoltaica, o lado financeiro representa grande parte da decisão final. Dessa forma, é importante analisar fatores como o custo de sistemas fotovoltaicos, tempo de retorno do investimento e a relação custo/energia gerada ao longo da vida útil do sistema antes de tomar a decisão de implantar ou não a tecnologia (TORRES, 2012).

3.3.1 Custo do sistema fotovoltaico

Conforme dissertado por Torres (2012), os avanços tecnológicos e as economias de escala da tecnologia solar fotovoltaica têm levado a uma redução considerável e constante dos custos, que deve continuar ao longo dos anos, tornando-se grande competidora das fontes convencionais de energia. O custo de geração é referente a uma unidade de eletricidade, geralmente expressa em kWh e os custos de investimento e operacional são considerados sobre a vida útil do sistema.

Torres (2012) argumenta sobre a queda dos preços dos módulos fotovoltaicos na Europa ao longo dos anos, o qual reduz 70% em 10 anos, de 4,2 €/W para 1,2 €/W. No Brasil, ainda segundo Torres (2012), considerando os menores preços dos módulos, o valor médio seria o equivalente a 2,5 €/W na época, sendo mais que o dobro do registrado na Europa.

Já no Brasil, é necessário considerar a incidência de impostos (imposto de importação, IPI, ICMS, PIS, COFINS) no cálculo dos custos envolvidos na instalação de sistemas fotovoltaicos. A Figura 9 do Grupo Setorial Fotovoltaico da Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), mostra a influência das cargas tributárias em uma instalação de 100 kWp em 2012. Neste caso, desconsiderando impostos, o investimento seria de R\$6,31/Wp elevando-se para R\$8,36/Wp (32,5%) quando adicionado a carga tributária.

Figura 9 - Estimativa do custo de investimento de um sistema fotovoltaico completo, exceto montagem.

Carga Tributária Exemplo Instalação Corporativa 100 KWp									
Componente	Preço cliente final	II	ICMS	IPI	PIS	COFINS	ISS	Carga tributária cliente final	Sistema sem impostos
Módulo	R\$ 406.802	12%	0%	0%	1,65%	7,65%	0%	R\$ 71.802 18%	R\$ 335.000
Inversor	R\$ 156.402	14%	12%	15%	1,65%	7,65%	0%	R\$ 58.594 37%	R\$ 97.808
Estruturas, cabos, conexão	R\$ 195.000	0%	18%	10%	1,65%	7,65%	0%	R\$ 60.937 31%	R\$ 134.063
Projeto, registro, instalação*	R\$ 78.000	0%	0%	0%	1,65%	7,65%	5%	R\$ 14.235 18%	R\$ 63.765
	R\$ 836.203							R\$ 205.567 25%	R\$ 630.636 75%
Preço sistema R\$/Wp	R\$ 8,36							R\$ 2,06	R\$ 6,31

Fonte: TORRES, 2012.

3.3.2 Indicadores para a Análise de Viabilidade Econômica

A fim de verificar a viabilidade do projeto do ponto de vista econômico, utilizam-se de alguns indicadores como o payback descontado, valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR). A seguir, será brevemente descrito cada um dos indicadores.

3.3.2.1 Payback Descontado

O mais comum e mais simples método de se determinar a viabilidade de um projeto é através do tempo necessário para se recuperar o capital investido, a partir da estimativa do fluxo de caixa. Este tempo é denominado payback e o procedimento utilizado é chamado de Método do payback. Porém, há dois métodos diferentes, em um deles não se considera a desvalorização do capital pelo tempo (payback simples); já no payback descontado, considera-se cálculos este fator aplicando o custo de capital, ou seja, a taxa mínima requerida de juro (DI PIERO & COLOMBINI, 2004).

3.3.2.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Este indicador fornece a informação do valor que será criado ou adicionado a partir de um determinado investimento, sendo o resultado do cálculo da diferença entre os benefícios gerados pelo projeto e seus custos (DASSI, et al., 2015; BREALEY, MYERS, ALLEN, 2011). Nos cálculos considera-se o investimento inicial, o fluxo de caixa do projeto, o período em questão, e a taxa de desconto. Dessa forma, o VPL positivo significa que as receitas do projeto são maiores que o valor investido somado às suas despesas, sendo assim economicamente viável (NAKABAYASHI, 2015).

3.3.2.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Outro parâmetro importante a ser analisado em uma avaliação financeira é a TIR, que segundo Keynes (1936), simboliza a eficiência marginal do capital. Quando aplicada como desconto, a TIR representa a taxa de retorno exigida para que o VPL se iguale a zero. Utiliza-se deste para encontrar o ponto de equilíbrio econômico do projeto, ou seja, onde não há criação nem perda de valor (ROSS, WESTERFIELD, JORDAN, 2000).

3.4 QUESTÃO AMBIENTAL

Além da análise da viabilidade econômica cabe-se também olhar pelo lado ambiental ao optar pela implantação da tecnologia, considerando todos os impactos envolvidos, desde o ciclo de vida dos materiais que compõem o sistema fotovoltaico, implantação, manutenção e desativação. Apesar dessa tecnologia ser considerada uma forma de geração limpa de energia, principalmente devido à livre emissão de gases poluentes durante a sua operação, há vários outros aspectos ambientais a serem considerados.

De acordo com Inatomi e Udaeta (2005), o impacto ambiental mais significativo na obtenção de energia por sistemas fotovoltaicos está na fabricação dos materiais e em sua construção, bem como ao processo de implantação. Tolmasquim (2004) apresenta alguns dos principais impactos negativos ao meio ambiente, como os relacionados à produção de energia necessária para a fabricação, transporte, instalação, operação, manutenção e descomissionamento do sistema; emissão de produtos tóxicos na produção dos módulos, durante o processamento da matéria-prima; ocupação de áreas pelo sistema fotovoltaico, exceto quando instalado em telhados ou fachadas, por exemplo; riscos relacionados aos materiais perigosos presentes nos módulos e baterias, quando utilizadas.

Porém, todos esses impactos negativos não excluem o potencial dessa tecnologia como uma importante alternativa para geração de energia de forma sustentável. É necessário quantificar esses impactos e considerar também os impactos positivos gerados pelo uso de sistemas fotovoltaicos em relação a outras fontes de energia. Inatomi e Udaeta (2005) cita formas de quantificá-los:

- Massa de poluente emitido x geração de energia;
- Área ocupada x produção de energia;
- Riscos de acidentes x produção de energia;
- Ciclo de vida dos componentes do sistema fotovoltaico;
- Riscos/Emissão de poluentes durante a fabricação x produção de energia.

3.4.1 Reciclagem dos módulos

Módulos solares descartados de forma incorreta podem acarretar em diversos problemas ao meio ambiente e à saúde pública, como a lixiviação de metais pesados e decorrente contaminação de solo e águas. Porém, segundo Paiano (2015), a presença deste resíduo ainda não é muito significativa devido à vida útil desse material (em média de 20 a 25 anos) e à essa tecnologia ser ainda muito nova no Brasil. Mas este fato não minimiza a importância de se tomar medidas preventivas para evitar impactos negativos provenientes do descarte deste material. Dessa forma, a caracterização dos materiais que compõem os módulos é fundamental para a determinação da forma mais adequada de disposição desse tipo de resíduo e processos de reciclagem apresentam-se como uma medida necessária para prevenir o descarte incorreto e ainda reaproveitar a matéria-prima, a maioria elementos químicos raros que são de grande interesse para a indústria (DIAS, 2015).

A reciclagem dos módulos fotovoltaicos de silício pode ser feita de forma mecânica, química, térmica e com a utilização de laser. Algumas empresas já contam com planos de gerenciamento desse tipo de resíduo, como a First Solar, que coleta e recicla painéis de filme fino. O processo de reciclagem é realizado segundo as seguintes etapas: quebra dos módulos para redução de tamanho, remoção do filme fino com a utilização de H_2SO_4 e H_2O_2 , separação sólido-líquido, separação do vidro e EVA (etil vinil acetato), lavagem do vidro, precipitação e secagem (GIACCHETTA, et. al., 2013). Outro exemplo é o projeto europeu Recovery of Solar Valuable Materials, Enrichment and Decontamination – RESOLVED, que utiliza somente o tratamento térmico. As camadas do módulo são separadas com uma temperatura entre 450°C e 500°C, que destrói a camada de EVA, em seguida é feita a moagem e separação do material semicondutor (DIAS, 2015).

Existem muitos métodos diferentes para a reciclagem dos módulos fotovoltaicos, mas Dias (2015) comenta sobre a necessidade de se otimizar essas técnicas, visando a máxima recuperação dos materiais presentes no módulo, não somente o material semicondutor que tem sido o foco principal.

3.4.2 Aspecto legal

A partir de Fevereiro de 2017, no estado do Paraná, a geração de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica pode ser licenciada. Essa permissão foi regulamentada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) através da portaria nº 19/2017, elaborada por técnicos do próprio IAP e posteriormente submetida aos técnicos do Programa Oeste em Desenvolvimento (IAP, 2017). A portaria em questão “estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar em superfície terrestre, nos termos que especifica”, considerando resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) (PARANÁ, 2017). Segundo a nova portaria, a obrigatoriedade de licenciamento e estudos para os empreendimentos são de acordo com a potência energética, sendo que os que produzem até 1 MW (megawatt) não precisam apresentar o licenciamento ou outros estudos; de 1 MW a 5 MW é necessário a elaboração de um memorial descritivo para receber a autorização do IAP; de 5 MW a 10 MW é exigido o relatório ambiental simples para obtenção das licenças prévia, de instalação e de operação; e a partir de 10 MW, para que seja emitido a licença, é necessária a elaboração do estudo de impacto ambiental e o relatório de impacto ambiental (EIA/RIMA) (PARANÁ, 2017).

3.5 LEGISLAÇÃO

Como primeiro avanço importante para a evolução da geração distribuída no Brasil foi o Decreto 2.003/1996 amparado pela Lei Federal Nº 9.704/1995, que instituiu o papel de duas importantes figuras do Setor Energético Brasileiro: o Auto-Produtor (AP) e o Produtor Independente de Energia (PIE), que podem ser definidos como pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que tenham concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, no primeiro caso, ou destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (BENEDITO, 2009).

E somente em 2004, a partir do Decreto 5.163/2004, pela primeira vez no Brasil a figura do Gerador Distribuído foi reconhecida legalmente. Neste foi delineado o mercado a ser atendido por tais geradores, sendo basicamente as concessionárias de distribuição, que pode adquirir até 10% de sua carga total de energia dos geradores distribuídos (BENEDITO, 2009). Dessa forma, os geradores deixam de ser vistos como concorrentes pelas concessionárias e sim parceiros, servindo até como alternativa para que não precisem se submeter aos altos preços impostos pelo mercado *spot* caso não consigam suprir a demanda exigida por seu mercado (ROMAGNOLI, 2005).

Finalmente, em 2012, quando entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL Nº 482/2012, foi regulamentado o direito da pessoa física de gerar sua própria energia e fornecer o seu excedente para a rede de distribuição. Embora a concessionária não seja obrigada a pagar por essa energia, são gerados créditos de energia que podem ser utilizados posteriormente. A criação dessa Resolução Normativa representa um grande avanço para os micro e mini geradores de energia no país. Segundo a própria ANEEL (2015), os estímulos ao desenvolvimento da geração distribuída se devem aos benefícios proporcionados ao sistema elétrico, como “o adiantamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética”.

Ainda em 2015, com o objetivo de beneficiar ainda mais a micro e mini geração, reduzindo custos e tempo, a ANEEL publicou a Resolução Normativa Nº 687/2015, como revisão da Resolução Normativa Nº 482/2012. Dentre as principais novidades estão o aumento da validade dos créditos provenientes do excedente de energia produzida, que passa a ser de 60 meses e não mais 36, sendo possível também seu consumo em unidades situadas em outro local desde que pertencente ao mesmo titular e situada na área de atendimento de uma mesma distribuidora; passar a ser classificado como micro geração distribuída a central de geradora com potência instalada até 75 kW ao invés de 100 kW e mini geração com potência superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW, ao invés de superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW; os procedimentos para se conectar a micro ou macro geração distribuída à rede da distribuidora ficaram mais simples devido à novas regras estabelecidas pela ANEEL. Além disso, existe agora a possibilidade de se instalar geração distribuída em empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, onde

a energia gerada por ser dividida entre os condôminos; e foi criada também a figura da “geração compartilhada”, possibilitando a união de vários interessados em um consórcio, a instalação de geradores distribuídos e a utilização da energia gerada para reduzir suas faturas.

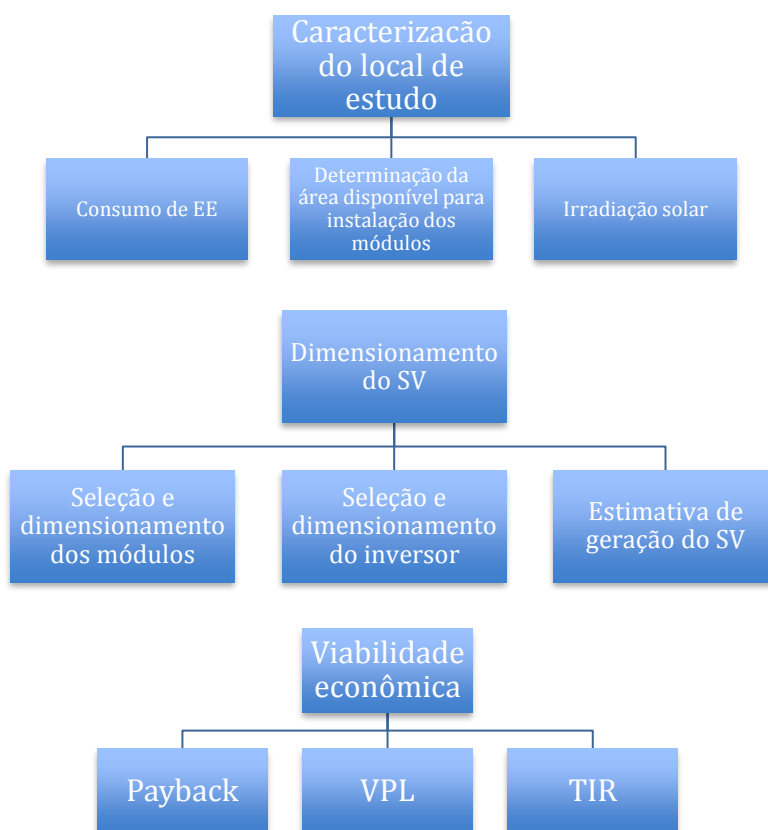
Em 2016, foi aprovado, no Paraná, o projeto de lei nº 378/2015 que institui benefícios fiscais para incentivar a microgeração e a minigeração distribuída de energia elétrica, e o aproveitamento das energias solar e eólica, relativos ao ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (PARANÁ, 2015). A partir da aprovação dessa lei, os geradores de 100 kW até 1 MW terão o imposto isento na compra e venda de equipamentos e componentes para a geração de energia. Além disso, o ICMS sobre a energia produzida será reduzido, pois não será mais cobrado o imposto sobre a energia produzida e consumida pela unidade produtora, somente sobre o excedente da produção injetada na rede elétrica (PARANÁ, 2016).

4 METODOLOGIA

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após o estudo dos temas considerados relevantes para o melhor desenvolvimento do presente trabalho, apresentados na revisão bibliográfica, o fluxograma presente na Figura 10, a seguir, apresenta as etapas desenvolvidas no trabalho:

Figura 10 – Fluxograma das atividades propostas.



Fonte: Autoria própria.

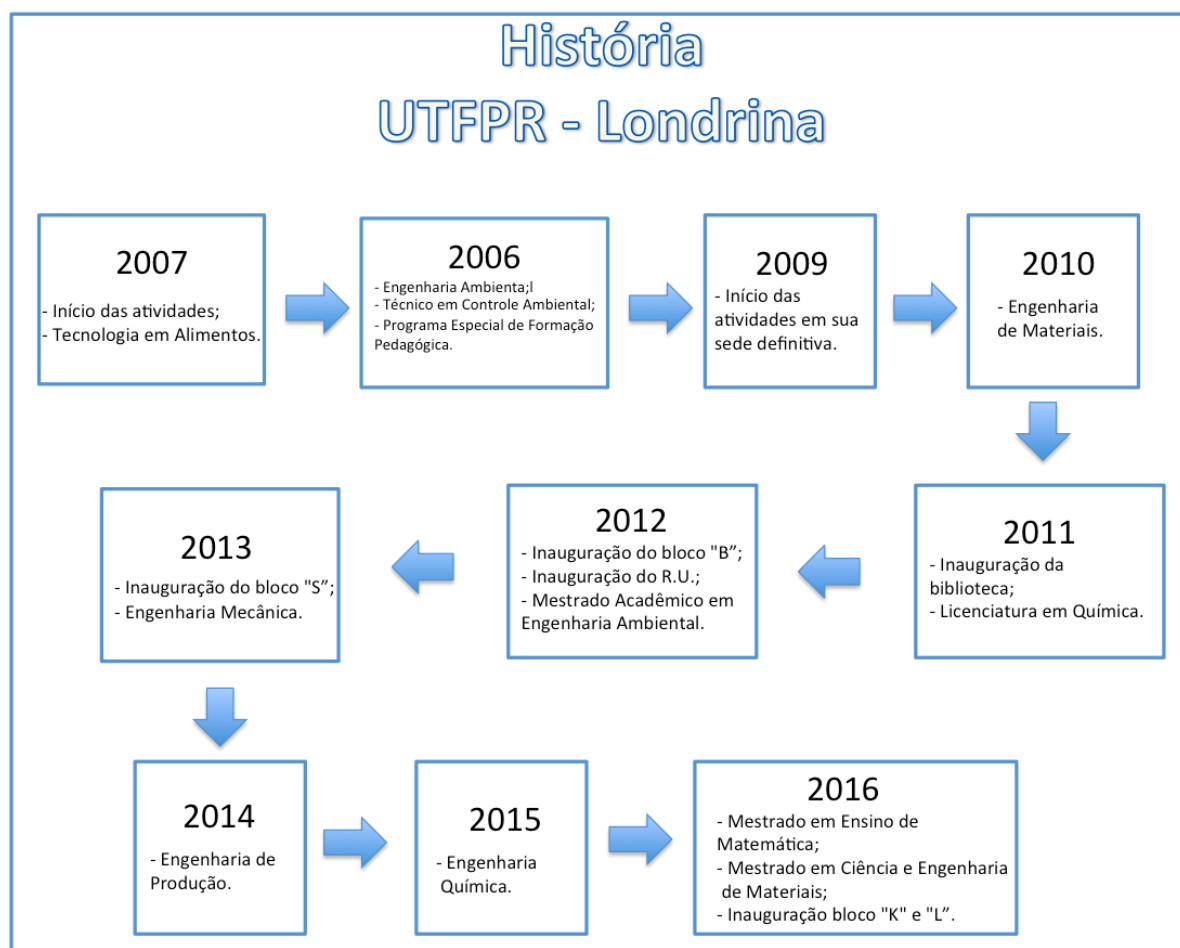
4.2. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

4.2.1. Histórico

O Câmpus está localizado na Avenida dos Pioneiros, 3131 na região metropolitana de Londrina, latitude 23,3045° Sul, longitude 51,1696° Oeste. As

atividades se iniciaram em Fevereiro de 2007, provisoriamente em um prédio cedido pela prefeitura de Londrina, apenas com o curso de Tecnologia em Alimentos que contava com 160 vagas. Durante esses 10 anos, o campus se desenvolveu crescendo não só em estrutura mas também em número de alunos, professores e servidores.

Figura 11 – História do campus Londrina da UTFPR.



Fonte: Informações do site da UTFPR, 2016.

Hoje, em 2018, o Câmpus oferece sete cursos de graduação, cinco cursos de mestrado, cursos de qualificação profissional destinados aos alunos e à comunidade e cursos de especialização. Aproximadamente, 1.725 alunos, 166 professores e 75 servidores técnico-administrativos circulam pelas dependências do Câmpus. A sua estrutura é composta de oito prédios: 6 blocos com salas de aula, laboratórios e departamentos administrativos; a biblioteca e o restaurante universitário.

Figura 12 – Imagens aéreas da localização e do próprio Câmpus Londrina.



Fonte: Google Maps, 2017.

4.2.2. Consumo de energia elétrica

Para se fazer o dimensionamento do sistema fotovoltaico é necessário conhecer a demanda de energia do local em questão. Assim, foram solicitados os dados do consumo de energia elétrica da UTFPR computados pela concessionária local COPEL (Companhia Paranaense de Energia), na própria UTFPR. Foram analisadas as faturas de energia dos 12 meses de cada ano desde a criação do Câmpus. Dessa forma, foi possível detectar a diferença no consumo de energia de acordo com a época do ano, ou seja, durante as férias espera-se um menor consumo de energia devido à menor circulação de pessoas; e durante o verão também se esperam um maior consumo devido à utilização de ventiladores e ar-condicionado, por exemplo. Além disso, foi analisado também o impacto da evolução do Câmpus, tanto em estrutura como em número de alunos, professores e servidores, no consumo de energia.

4.2.3. Área disponível para instalação dos módulos

Um dos fatores de grande influência na geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico é o posicionamento do painel e a ocorrência de sombreamentos. Dessa forma, para se obter a maior eficiência possível do sistema, é necessário analisar bem o local ideal para a instalação dos módulos. A princípio, os telhados dos blocos parecem ser mais indicados, porém se faz necessário analisar a inclinação e orientação a fim de se escolher o mais indicado. Outra opção seria a instalação nos estacionamentos, como já foi feito em alguns casos e citado no referencial teórico. Neste caso, é necessário considerar as estruturas de suporte das placas no orçamento.

Existem duas formas de se fazer a instalação em telhados: soluções aditivas ou integrativas. No primeiro caso, utiliza-se de uma estrutura metálica para a fixação dos módulos fotovoltaicos no telhado da edificação. Já na solução integrativa, o sistema passa a ser parte da edificação, os componentes do telhado são substituídos pelos módulos (TORRES, 2012).

4.2.4. Irradiação solar

A irradiação solar do local de estudo é mais uma característica importante para se conhecer para o melhor dimensionamento do sistema de geração solar fotovoltaica. O Brasil apresenta médias anuais relativamente altas em todo o seu território, inclusive no estado do Paraná, onde está localizada a cidade de Londrina, esta com média anual de 5,308 kWh/m².dia.

A cidade de Londrina está situada nas coordenadas geográficas: latitude 23.3045° S e longitude 51.1696° Oeste. Na Tabela 1 são apresentados os valores médios mensais, considerando o plano horizontal, um ângulo igual a latitude (23°), o ângulo de maior média mensal (22°), e o ângulo de menor mínimo mensal (28°).

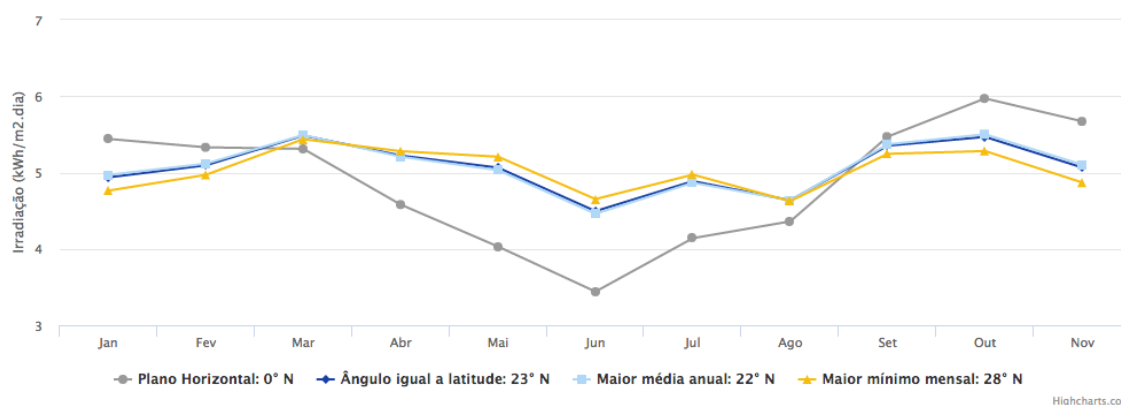
Tabela 1 – Médias diárias mensais de irradiação solar em Londrina – Pr.

Ângulo	Incl.	Irradiação solar diária média mensal (kWh/m ² .dia)											
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Plano Horizontal	0° N	5,44	5,33	5,31	4,58	4,03	3,44	3,94	4,14	4,36	5,47	5,97	5,67
Ângulo igual a latitude	23° N	4,94	5,09	5,48	5,22	5,06	4,49	5,11	4,89	4,64	5,35	5,47	5,06
Maior média anual	22° N	4,97	5,12	5,49	5,21	5,03	4,46	5,07	4,87	4,63	5,37	5,50	5,10
Maior mínimo mensal	28° N	4,76	4,97	5,44	5,28	5,21	4,65	5,28	4,97	4,63	5,24	5,28	4,87

Fonte: CRESESB.

Analisando o gráfico da Figura 13 é possível perceber a diferença entre as diferentes inclinações e a variação da irradiação de acordo com a época do ano. E nota-se uma variação mínima entre os ângulos de 22°, 23° e 28° de inclinação.

Figura 13 – Irradiação solar em Londrina – Pr.



Fonte: CRESESB.

4.3. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Uma instalação solar fotovoltaica integrada a uma edificação e conectada à rede elétrica é composta basicamente pelos seguintes itens:

- Módulos fotovoltaicos;
- Inversor (conversor CC-CA);
- Sistema de fixação ao envoltório da edificação;
- Fusíveis e disjuntores;
- Cabos elétricos.

Para o dimensionamento do sistema, foram utilizadas as equações adaptadas de Pinho e Galdino (2014). Assim, primeiramente, utiliza-se as seguintes equações para obter a quantidade total de painéis fotovoltaicos que serão necessários para suprir a demanda de energia. Com a Equação 1 determina-se horas de sol pleno (HSP), ou seja, a quantidade de horas por dia em que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a 1kW/m^2 .

$$HSP \text{ (horas de sol pleno)}(h/dia) = \frac{\text{Irradiação}}{1 \text{ kW/m}^2} \quad (\text{Equação 1})$$

A Equação 3 dá o valor da potência total de geração sem perdas, refletindo a potência de energia necessária para a geração em um dia.

$$E_{necessária\ diária} (kWh/dia) = \frac{Média\ do\ consumo\ mensal}{30\ dias} \quad (\text{Equação 2})$$

$$P_{geração} (kW) = \frac{E_{necessária\ diária}}{HSP} \quad (\text{Equação 3})$$

Como todo sistema está sujeito a perdas de energia em seus componentes, é necessário corrigir a Potência de geração a partir de um fator de perdas, como mostra a Equação 4:

$$P_{geração\ corrigida} (kW) = \frac{P_{geração}}{(1 - \text{fator de perdas})} \quad (\text{Equação 4})$$

Assim, finalmente é possível determinar o número de painéis necessários, fazendo-se a divisão da potência de geração corrigida diária pela potência do painel fotovoltaico. Este último depende da escolha do painel e suas características, que são descritos na Tabela 2 abaixo e um será escolhido.

$$N^{\circ}_{painéis} = \frac{P_{geração\ corrigida}}{P_{painel}} \quad (\text{Equação 5})$$

Atualmente, a maioria dos painéis solares instalados são baseados em alguma variação do silício, sendo monocristalino, policristalino ou amorfo. A mais antiga delas é a tecnologia monocristalina, apesar de ser uma das mais caras é a que possui eficiência mais alta. Na tabela a seguir é feita uma comparação de painéis de diferentes fabricantes, modelos e tecnologias, considerando-se a eficiência, potência nominal e dimensões, que são características importantes para a escolha do painel a ser instalado.

Tabela 2 – Módulos fotovoltaicos considerados e suas características.

Modelo	Tecnologia	Eficiência (%)	Potência nominal (Wp)	Dimensões (L/W/H)
Modelo 1	a-Si	8,15	145	1684/1056/8,7 mm
Modelo 2	m-Si	17,00	200	1580/808 mm
Modelo 3	m-Si	21,00	335	1558/1046/46mm
Modelo 4	p-Si	14,00	210	1524/1016/88,9
Modelo 5	p-Si	15,9	260	1650/992/40mm
Modelo 6	p-Si	16,46	320	1966/992/40mm

Fonte: ZOMER, 2010 (modificado).

Posteriormente, faz-se a escolha do modelo e o dimensionamento do inversor, aparelho importante para converter a energia de corrente contínua, como é gerada pelos módulos, em corrente alternada, para satisfazer as condições da rede elétrica pública e se fazer possível a conexão à rede. Os tipos mais comuns de inversores são: “comutados pela rede própria rede elétrica, onde o sinal da rede é utilizado para sincronizar o inversor com a rede; e auto-comutados, onde um circuito eletrônico no inversor controla e sincroniza o sinal do inversor ao sinal da rede” (RÜTHER, 2004). Além disso, é importante considerar características como a eficiência do inversor; sua qualidade para que se garanta a segurança da rede elétrica da concessionária; e a compatibilidade com o arranjo fotovoltaico, sendo que a tensão máxima do arranjo fotovoltaico não pode ser maior do que a tensão nominal de entrada do inversor.

4.4. MANUTENÇÃO DO SISTEMA

Após a implantação do sistema de geração de energia solar fotovoltaica, a manutenção é um importante aspecto a ser discutido, pois esta irá garantir a sua melhor eficiência. A acumulação de poeira, fuligem, compostos de plantas, sais, crescimento de espécies como os musgos, e excrementos de animais, principalmente pássaros, são denominados sujidade e tem grande influência na vida útil do painel e no desempenho de todo o sistema (GAIO; CAMPOS, 2017).

Um fator que tem grande influência na quantidade de perda devido à sujidade, principalmente poeira, é a inclinação dos painéis, sendo que estando a uma inclinação de 0° , o acúmulo será bem maior do que de 90° , por exemplo, em que a limpeza proveniente das chuvas e a ação da gravidade reduzirão o seu depósito nos painéis, como explica Sayyah et al. (2014). Assim, Pinho e Galdino (2014) recomendam uma inclinação mínima de pelo menos 10° , fazendo mínima a necessidade da limpeza automatizada.

O tamanho da partícula presente no painel também é relevante na perda gerada para o sistema. Segundo o estudo apresentado por Sayyah et al. (2014), partículas maiores (diâmetro maior que 75 μm) apresentam de 12 a 20% menos corrosão do que partículas menores (diâmetro menor que 75 μm).

Assim, existem vários métodos com o objetivo principal de manter o painel com uma limpeza adequada e evitando perdas desnecessárias causadas pela sujeira. Alguns deles serão considerados para aplicação neste projeto, são eles:

- Processo natural: como chuva, ventos e força gravitacional. Em casos em que são escolhidos esse método apenas, a inclinação dos painéis é ainda mais importante para que se garanta a sua limpeza e, assim, o melhor desempenho do sistema. Quando os painéis estão em posições quase horizontais, os sais presentes na chuva deixam manchas de água, favorecendo a acumulação de poeiras mais aderentes. Além disso, o vento reduz a sujeira dos painéis removendo as partículas maiores de poeira das superfícies (GAIO; CAMPOS, 2014).
- Sistemas automatizados: consiste na utilização de dispositivos mecânicos controlados por computador para se realizar a limpeza, minimizando o uso de água e contribuindo, assim, para a melhor eficiência do módulo fotovoltaico (SAYYAH *et al.*, 2014). Um sistema desenvolvido e testado por Tejwani e Solanki (2010) faz a limpeza através de uma escova montada sobre uma haste deslizante, que gira e segue o percurso de cima e para baixo com a ajuda da gravidade.
- Limpeza manual: segundo Mohamed e Hasan (2012), a forma de limpeza mais utilizada em sistemas de menor escala utiliza água de torneira, detergente, esponja ou pano macio. Já Pavan *et al.* (2011), comenta sobre a eficácia da utilização de jatos de alta pressão, seguida de escovação, para plantas maiores, que realiza a limpeza de forma menos nociva aos painéis e mais econômico.

4.5. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise de viabilidade econômica serão considerados três parâmetros:

- Payback:

Este método representa o período de recuperação do investimento inicial. Consiste no cálculo do número de anos que será necessário para que os fluxos de caixa futuros acumulados se igualem ao montante do investimento inicial (FONSECA, 2010).

$$PAYBACK = \frac{\text{Investimento}}{\text{Fluxo de caixa}}$$

Esta técnica não considera os fluxos de caixa posteriores ao payback e não se faz a atualização dos fluxos de caixa a uma taxa de aplicação de mercado (TMA). Dessa forma, utiliza-se o payback descontado, que considera essa taxa de aplicação. Neste caso, a TMA é determinada pelo próprio investidor como parâmetro para remuneração do seu capital (GIACOMIN, 2008).

- VPL – Valor Presente Líquido

De acordo com Fonseca (2010), este parâmetro é o mais recomendado para a decisão de investimento, sendo que considera-se o valor temporal do dinheiro e utiliza todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo projeto, refletindo toda a movimentação de caixa. Para este cálculo, considera-se o valor inicial do investimento, outras parcelas de investimento a serem pagas no futuro, receitas, despesas, tempo e taxa de juros.

$$VPL = -I_0 + \sum \left(\frac{C_j}{(1+i)^j} \right)$$

Assim, o projeto é aceitável quando o VPL for maior que zero, que significa que a empresa está obtendo um retorno maior que o valor de seu investimento inicial (GITMAN, 1997).

- TIR – Taxa Interna de Retorno

A TIR representa taxa que remunera o investimento e torna nulo o VPL dos fluxos de caixa. Ela identifica a taxa que deve ser aplicada para que, corrigidos, o investimento, custos e despesas sejam iguais ao valor das receitas (MOURA, 2010).

$$0 = -I_0 + \sum \left(\frac{\text{FluxodeCaixa}}{1 + (TIR)^i} \right)$$

O cálculo dessa taxa é feito através de tentativas até se encontrar a maior aproximação a zero. Quanto maior o valor de TIR, melhor o investimento em termos de rentabilidade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CAMPUS

Utilizando-se dos dados presentes nos Relatórios de Gestão referentes aos anos de 2009 a 2017 consultados no site da UTFPR, juntamente com os dados fornecidos pelo DERAC – Departamento de Registros Acadêmicos – do Câmpus Londrina, foi possível analisar a sua evolução quanto ao número de pessoas circulando por suas dependências. Os dados são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 3 – Número de pessoas presentes na UTFPR - Câmpus Londrina.

Ano de Referência	Número de Servidores	Número de Alunos	Número Total de Pessoas no Câmpus
2009	83	465	548
2010	99	584	683
2011	112	753	865
2012	128	783	911
2013	170	915	1085
2014	211	1233	1444
2015	232	1584	1816
2016	235	1820	2055
2017	236	2116	2352

Fonte: Autoria própria.

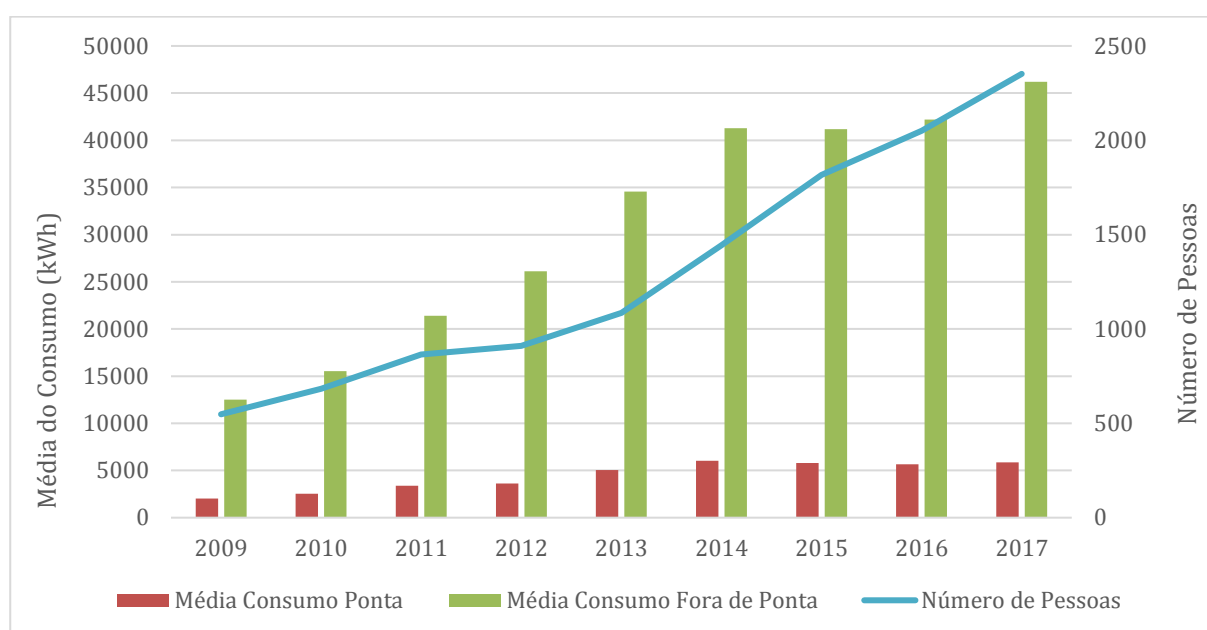
Analisando a Tabela 3 pode-se perceber que o Câmpus esteve em constante crescimento desde sua criação, sendo hoje o número de pessoas que circulam por suas dependências quase cinco vezes maior. Dessa forma, espera-se que ocorra o mesmo quanto ao no consumo de energia elétrica, sendo que essa evolução tem influência direta sobre este fator.

5.2. ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CÂMPUS

Em relação aos dados sobre o consumo de energia elétrica fornecidos para a realização desse trabalho, vale ressaltar a diferença entre o consumo de ponta e fora de ponta, sendo o primeiro referente ao período em que o consumo de energia elétrica tende a ser maior (de segunda-feira à sexta-feira das 18 horas às 21 horas) e o segundo referente ao restante do dia.

Através do acesso às faturas de energia elétrica do Câmpus, foi possível analisar o consumo de energia elétrica de diversas formas, relacionando a média do consumo de ponta, fora de ponta e o número de pessoas que circulam pelas dependências da universidade, entre alunos e servidores; comparando o consumo mensal entre todos os anos desde 2009 até 2017; e por fim o consumo médio por pessoa no decorrer dos anos.

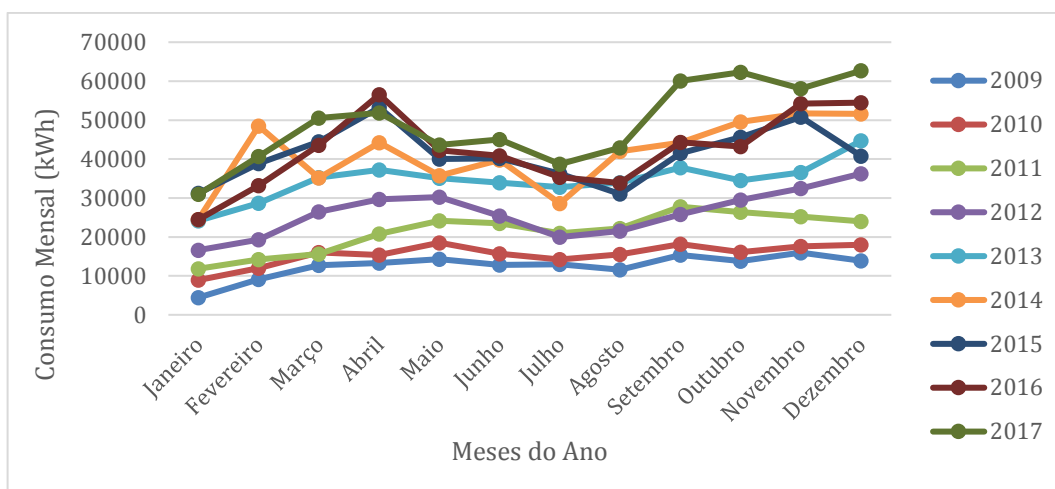
Figura 14 – Gráfico do consumo de energia elétrica de ponta, fora de ponta e número de pessoas na UTFPR – Câmpus Londrina.



Fonte: Autoria própria.

Através do gráfico da Figura 14 pode-se notar um crescente aumento do consumo de energia, relacionado ao número de pessoas que circulam pelo Câmpus, e também ao uso de suas dependências (salas de aula, laboratórios, etc.).

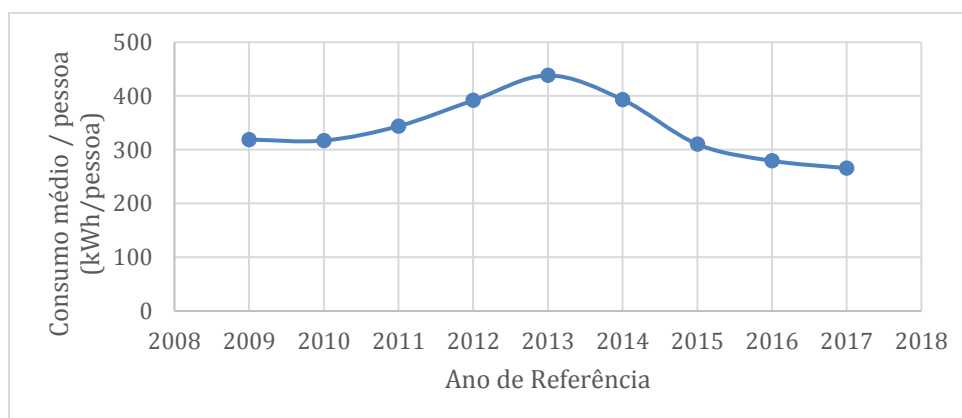
Figura 15 – Gráfico do consumo de energia elétrica no Câmpus por durante o ano.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a distribuição do consumo de energia durante os meses do ano, Figura 15, percebe-se que os maiores valores são referentes aos meses de período letivo, quando se tem mais pessoas circulando pelo Câmpus, e também nos meses de verão, quando tem a maior utilização de ventiladores e ar condicionados. Por outro lado, nos meses de férias e de inverno o consumo cai de forma significativa.

Figura 16 – Gráfico do consumo médio de energia elétrica por pessoa ao longo dos anos.



Fonte: Autoria própria.

Além disso, a partir da Figura 16, percebe-se que nos anos de 2012 a 2014 o consumo médio por pessoa na instituição teve um valor bem maior do que nos outros anos, o que pode ser atribuído ao período de expansão do Câmpus, em que se teve um alto consumo com as obras e utilização de maquinário, por exemplo. Assim, para

os anos 2015, 2016 e 2017 volta-se a estabelecer um padrão do consumo de energia elétrica por pessoa, em relação ao período de 2009 a 2011, que pode ser utilizado para uma projeção futura de demanda, para o dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaica. Apesar disso, para uma análise mais precisa deste gráfico deve-se levar em consideração que as dependências da universidade, como salas de aula, comportam diferentes números de alunos com o mesmo consumo. Além disso, ações que o Câmpus tem realizado para a melhor eficiência, como troca de lâmpadas também modificaram os valores em entre os dois períodos mencionados acima.

5.3. DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE INSTALAÇÃO DOS MÓDULOS

5.3.1. Áreas disponíveis

O Câmpus da UTFPR – Londrina é composto por 10 prédios que possibilitam a instalação dos módulos fotovoltaicos, em que é aproveitada a sua estrutura para fixação dos módulos. Além disso, há ainda a possibilidade de se utilizar o espaço dos estacionamentos, onde seria necessária a construção de uma estrutura para a instalação dos painéis, e que poderia ser feita de forma integrativa, ou seja, utilizando os próprios painéis como cobertura. A Figura 17 indica os locais em que são propostas a instalação dos módulos.

Figura 17 – Mapa da UTFPR – Londrina e os possíveis locais para a instalação dos módulos.



Fonte: Google Earth (modificado).

Assim, com a utilização de uma ferramenta do Google Earth foram medidas as áreas disponíveis para a instalação dos módulos e estão descritas abaixo. Além disso, nas áreas de estacionamento, foram consideradas a construção de duas coberturas ao longo de todo o estacionamento e 5 metros de largura, sendo uma de cada lado.

Tabela 4 – Medidas das áreas disponíveis para instalação dos módulos fotovoltaicos.

Local	Área
Bloco A	66m X 9,6m = 633,6 m ²
Bloco B	66m X 9,6 m = 633,6 m ²
Bloco E	7,5 m X 45,5 m = 341,25 m ²
Bloco K	66,5 m X 18,0 m = 1197 m ²
Bloco L	70 m X 11 m = 770 m ²
Bloco T	14 x 8 = 112 m ²
Biblioteca	30m X 13 m = 390 m ²
RU	8 m X 30,5 m = 244 m ²
Bloco S	21,5 m X 7m = 150,5 m ²
Bloco Z	8,5 x 8 m = 68 m ²
Estacionamento 1	$(5,0 \times 27) + (5,0 \times 18,5) = 227,5 \text{ m}^2$
Estacionamento 2	$2 \times (5,0 \times 85) = 850 \text{ m}^2$
Estacionamento 3	$2 \times (5,0 \times 80,0) = 800 \text{ m}^2$
Estacionamento 4	$2 \times (5,0 \times 71,5) = 715 \text{ m}^2$
Estacionamento 5	$2 \times (5,0 \times 71) = 710 \text{ m}^2$
Estacionamento 6	$2 \times (5,0 \times 77,5) = 775 \text{ m}^2$
Estacionamento 7	$2 \times (5,0 \times 65,5) = 262 \text{ m}^2$
Área Total	8 879,45 m²

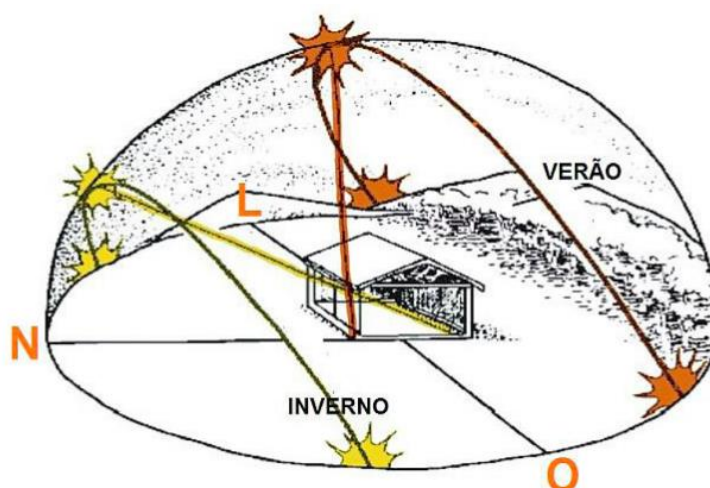
Fonte: Autoria própria.

5.3.2. Viabilidade das áreas selecionadas

Depois de definido as áreas disponíveis para a instalação dos módulos fotovoltaicos, é necessário fazer uma análise da viabilidade dessas áreas, pois alguns fatores devem ser levados em consideração para garantir a melhor eficiência do sistema. Um deles é o posicionamento dos painéis: a inclinação, no qual o ângulo é igual ao da latitude, que no caso de Londrina é de 23°. Assim, caso as áreas

escolhidas sejam os telhados dos blocos, seria necessária a utilização de uma estrutura metálica para a fixação dos módulos fotovoltaicos. Já se as áreas escolhidas forem os estacionamentos seria necessária a construção de coberturas para fixar os módulos, mas já seriam feitos conforme a inclinação necessária, e ainda seria uma vantagem para o próprio estacionamento, oferecendo sombreamento aos carros. Além disso, os estacionamentos têm uma área maior e os processos de instalação e manutenção seriam mais fáceis, considerando que os telhados são bem mais altos. A orientação dos painéis também é muito importante, considerando que o sol nasce no Leste, se inclinando a Norte e se põe a Oeste, como mostrado na Figura 18, o mais recomendado é o sentido Norte.

Figura 18 – Movimento do Sol.



Fonte: Portal Solar.

Outro fator a ser considerado é a ocorrência de sombreamento nos painéis, pois compromete diretamente a geração, reduzindo o desempenho do sistema.

Dessa forma, foram definidas como as áreas mais indicadas para a instalação dos painéis, os estacionamentos 2, 3, 4, 5, 6 e 7 totalizando uma área total de 4.112 m². Essas áreas não serão utilizadas necessariamente no início do projeto, onde consideraremos apenas o consumo atual de energia elétrica como demanda. Porém, é importante ressaltar sua viabilidade para uso futuro, conforme o crescimento do Campus e, conseqüentemente, da demanda.

5.4. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A análise da irradiação solar na cidade de Londrina é o primeiro passo para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, visto que este fator influenciará diretamente na performance do mesmo. Por meio da Tabela 2, presente na Metodologia, analisando o plano inclinado, de 23° N, podem ser identificados como os meses de maior e menor incidência de irradiação solar, o mês de Março, com 5,48 kWh/m².dia e o mês de Junho, com 4,49 kWh/m².dia, respectivamente.

Nos seguintes cálculos foi utilizado o valor de irradiação de Junho, o mês de menor incidência, pois deve-se considerar o cenário menos favorável para a geração de energia elétrica. Assim, foi possível calcular a quantidade de horas de sol pleno (HSP), utilizando a Equação 1; a energia necessária para suprir a demanda da Universidade, utilizando a Equação 2, e dados do consumo médio do ano de 2017; a potência de geração de energia necessária por dia, utilizando a Equação 3; e a potência de geração corrigida, considerando um acréscimo de 20%, 25% e 30% devido a eventuais perdas do sistema, como por exemplo nos cabos e inversores e na conexão. Estas porcentagens variam de acordo com a orientação das placas, sendo referentes ao Norte, Leste/Oeste, Sul respectivamente. Os resultados dos cálculos são apresentados na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Resultados dos cálculos para dimensionamento do sistema fotovoltaico.

Irradiação	4,49 kWh/m².dia
Horas de Sol Pleno (HPS)	4,49 h/dia
Energia necessária	1.735,95 kWh/dia
Potência de geração	386,63 kW
Potência de geração corrigida – Norte (20% perdas)	483,29 kW
Potência de geração corrigida – Leste/Oeste (25% perdas)	515,51 kW
Potência de geração corrigida – Sul (30% perdas)	552,33 kW

Fonte: Autoria própria.

Posteriormente, foi feita a escolha do tipo de painel mais adequado para compor o sistema fotovoltaico. Algumas opções foram apresentadas na Tabela 2 presente na Metodologia, e o critério utilizado para a melhor escolha foi o melhor aproveitamento do espaço, considerando a área disponível escolhida para a

instalação dos painéis. Assim, foi escolhida a placa de Modelo 3, que é de Silício policristalino, potência nominal igual a 335 Wp, e dimensões: comprimento 1,558 m, largura 1,046 m e espessura de 46 mm.

Assim, após escolhido o modelo da placa foi feito o cálculo para a determinação do número de painéis necessários para suprir a demanda energética da Universidade, utilizando a Equação 5, sendo a razão entre a potência de geração e a potência do painel escolhido. A potência de geração foi corrigida considerando uma perda de 20%, relativo a perdas nos inversores e cabos, por exemplo, e neste caso seriam necessários 1.443 painéis.

Após determinado a quantidade de painéis necessários, foi possível determinar a área necessária para a instalação dos mesmos, utilizando as dimensões do painel escolhido, sendo 2.351,61 m². Assim, foi determinada a área exata onde serão instalados. Dentre as áreas em potencial selecionadas anteriormente, foram escolhidos os estacionamentos 2, 3 e 5. Esta escolha foi realizada utilizando como critério principal o melhor aproveitamento do espaço.

5.5. MANUTENÇÃO DOS PAINÉIS

Conforme exposto na Metodologia, a limpeza dos painéis como forma de manutenção do sistema, contribuindo para o melhor desempenho. Assim, foram descritos alguns métodos de limpeza, e estes são comparados na Tabela 6, contendo as principais vantagens e desvantagens de cada método.

O primeiro método, de limpeza natural, não parece ser suficiente para se garantir uma limpeza periódica necessária para o melhor desempenho dos painéis. O sistema ficaria dependente das chuvas, e sem limpeza nos períodos de menos chuva. Assim, este parece não ser o melhor método a se adotar. Enquanto isso, o sistema automatizado de limpeza resolveria esse problema, pois estaria programado para fazer a limpeza correta e periódica, fazendo ainda uma limpeza mais econômica. Porém, o investimento necessário, além da complexidade do equipamento e a necessidade de técnicos altamente treinados tornaria este método um custo elevado, o que seria inviável para o projeto. Assim, a limpeza com jato de água em alta pressão parece ser a melhor alternativa, sendo intermediária, resolvendo o problema da periodicidade da limpeza e também do alto custo.

Tabela 6 – Vantagens e desvantagens associadas aos diferentes métodos de limpeza.

Método de limpeza	Vantagens	Desvantagens
LIMPEZA NATURAL: CHUVA, DERRETIMENTO DE NEVE, VENTO E FORÇAS GRAVITACIONAIS	<ul style="list-style-type: none"> • Chuvas fortes e neve derretida podem restaurar completamente a eficiência do painel solar; • Sistemas de rastreamento podem ser utilizados para aumentar a eficiência de limpeza da chuva; • Não há custo de limpeza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Chuva leve em regiões com elevados níveis de poeira seguida por vento empoeirado aumenta substancialmente a deposição de poeira e reduz a eficiência do painel fotovoltaico; • Chuva nas zonas áridas e semi-áridas são pouco frequentes; • Em terras semi-áridas e desérticas a chuva ocasional não fornece um método de limpeza confiável.
LIMPEZA COM JATO DE ÁGUA EM ALTA PRESSÃO	<ul style="list-style-type: none"> • A limpeza pode ser realizada sempre que necessário; • A alta eficiência do módulo fotovoltaico pode ser mantida rotineiramente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tem custos significativos para o trabalho e recursos hídricos, além de requerer pessoal treinado; • Os recursos hídricos são muito limitados nas zonas áridas; • A deposição de sais orgânicos cria uma película sobre a superfície de vidro que requer a limpeza com escovação. O processo requer pessoal altamente treinado para evitar arranhões.
SISTEMA DE LIMPEZA ROBÓTICA	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizam sistemas eficientes de uso de água para uma limpeza econômica; • Ambos os processos de limpeza e depuração podem ser automatizados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Precisa de uma equipe de técnicos para a supervisão da operação do robô; • O consumo de energia do dispositivo robótico não é rentável em algumas aplicações; • Tem altos custos de operação e manutenção.

Fonte: GAIO; CAMPOS, 2014 *apud* SAYYAH et al., 2014.

5.6. ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Apesar de todos os evidentes benefícios da implantação da energia solar fotovoltaica, o fator econômico é determinante para a viabilidade do projeto. Assim, como explicado na Metodologia, serão utilizados três parâmetros: VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e Payback descontado.

Para que tal análise seja possível é preciso considerar:

- a) O custo inicial de implantação do sistema de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos;

- b) O custo de manutenção mensal do sistema de geração fotovoltaica;
- c) Os custos incorridos com a perda de eficiência dos painéis fotovoltaicos até o período de análise temporal do projeto;
- d) O valor mínimo pago a concessionária de energia elétrica para que a IES se mantenha integrada ao sistema público;
- e) A taxa mínima de atratividade para o capital investido na implantação do sistema fotovoltaico;
- f) O custo anual de energia elétrica da UTFPR, campus Londrina.

Nesta análise não é considerado o crescimento da demanda ao longo dos anos futuros, pois implicaria na necessidade de considerar também o aumento do sistema de produção de energia fotovoltaica. Tal consideração não é inviável, pois a projeção de demanda, considerando o crescimento da estrutura do campus poderia ser realizada considerando o planejamento estratégico da IES.

No entanto, a queda no preço dos equipamentos fotovoltaicos e o aumento de sua eficiência, características que vem evoluindo de forma sistemática, acabariam por inserir um viés não desejável nesta análise, por ser esta evolução de difícil mensuração em função da seguida onda de novas tecnologias que vem sendo desenvolvidas e adotadas.

Para efeito desta análise, considerando os custos com os próprios painéis e com a construção de estruturas de cobertura nos estacionamentos, onde serão fixados, estimou-se o valor médio de mercado R\$5.500,00 por kW, a partir do contato com fornecedores. Assim, sendo uma geração de 483,29 kW, necessária para atender a demanda de pico da IES, chega-se a um investimento total inicial de R\$ 2.658.095,00. Foi escolhido este valor ao invés do encontrado na literatura (Figura 9), devido à evolução da tecnologia e diminuição dos preços de mercado, visto que são dados de 2012.

Um sistema de produção de energia fotovoltaica não pode prescindir de procedimentos de manutenção preventiva e corretiva, pois são equipamentos que estão sob ação de agentes externos como poeira, radiação solar, movimentação mecânica por força dos ventos e própria degradação de conectores, cabos, equipamentos inversores, que exigem algum tipo de atuação.

Manter o sistema em condições de operação em plena capacidade exigirá a contratação de uma empresa para realizar alguns procedimentos, tais como a verificação:

- Das proteções elétricas;
- Do estado do inversor, bem como limpeza da ventilação do inversor;
- Do estado dos painéis e de todas as suas ligações;
- Do estado de todos os cabos e terminais e reaperto de parafusos e ligações;

Considerando o valor obtido em uma simulação de certame licitatório para a manutenção preventiva e corretiva no sistema fotovoltaico, considerando sua capacidade de geração de energia, estima-se o preço mensal de R\$ 2.750,00 e custo anual de R\$ 33.000,00.

Quanto aos custos incorridos pela perda de eficiência na produção de energia fotovoltaica, autores como Krauss et al (2015) e Ishii; Massuda (2017) descrevem como mais relevantes dois agentes denominados Degradação Induzida pela Luz, do inglês *Light Induced Degradation* – LID e Degradação Induzida Potencial, do inglês *Potential Induced Degradation* – PID.

O efeito LID é geralmente atribuído a oxidação das pastilhas de boro de silício cristalino tipo “p”, causado através de um mecanismo de recombinação induzida, enquanto que o efeito PID é atribuído à fuga de tensão causando a migração de íons de sódio de outros elementos do painel como o vidro e a estrutura, para a superfície da célula (KRAUSS et. al., 2015).

Estas perdas não são facilmente mensuráveis, porém aceita-se que os painéis tendem a perder até 3% no primeiro ano e depois em média 0,7% ao ano (ISHII; MATSUDA, 2017). Para efeito de cálculo, estas perdas serão computadas considerando o preço da energia elétrica pela concessionária em relação ao potencial de energia perdido pela degradação na eficiência dos painéis e lançado ao final de cada ano. O cômputo destas perdas ocorrerá após 12 meses do início da operação do sistema no valor de R\$ 13.987,50, alcançando ao final da vida do projeto o valor de R\$ 89.053,75.

Por uma questão de segurança e para atender à demanda de energia elétrica pela concessionária em decorrência da perda anual de eficiência das placas fotovoltaicas, bem como para atender ao compromisso exigido pela concessionária

de energia elétrica, será mantido o contrato nos exatos termos existentes no atual contrato de fornecimento de energia elétrica, cuja tarifa mínima estabelece o valor mensal de R\$ 3.200,00 totalizando ao ano o valor de R\$ 38,400,00.

Para completar os dados que permitam a análise de viabilidade do projeto de implantação de um sistema fotovoltaico para atender a demanda de energia elétrica na unidade em foco, falta ainda a definição Taxa Mínima de Atratividade (TMA), que como coloca Mannarino (1991), é a representação da mínima rentabilidade pretendida em relação a um projeto de investimento.

A determinação da TMA considera as demais alternativas de emprego do capital. Para efeito desta análise, como TMA será considerada a taxa paga pelos títulos públicos federais, que são estipulados considerando a taxa SELIC – Sistema Especial de Liquidação e Custódia, em maio de 2018, de 6,5% a.a.

Quanto aos gastos incorridos pela UTFPR - Câmpus Londrina, com o pagamento de energia elétrica, utilizou-se como referência o valor pago durante o ano de 2017, que montou a R\$ 466.250,00.

5.5.1 Resultados obtidos

O cálculo do VPL (Valor Presente Líquido) permite identificar se um determinado projeto apresenta viabilidade econômica, ou seja, é capaz de gerar mais receita que custos. Para o projeto visando implantar a geração de energia fotovoltaica no Câmpus da UTFPR-LD para atender sua demanda de energia elétrica, considerando o consumo incorrido no ano de 2017 e, a partir das premissas já descritas, o projeto aponta um retorno positivo de R\$ 1.685.042,76, portanto, sob este aspecto ele é gerador de caixa e, portanto, viável economicamente.

A TIR (Taxa Interna de Retorno), buscará ampliar as informações acerca deste investimento permitindo a comparação com outras possibilidades. O valor obtido para este projeto foi de uma taxa de retorno de 13,07%, podendo ser considerada compatível com o projeto na medida que aumentos não programados nos custos ou ainda, uma redução não prevista no valor da energia elétrica por parte da concessionária, poderiam ser facilmente absorvidos sem inviabilizar economicamente o projeto.

Por fim, foi calculado qual seria o período de tempo necessário para recuperar o investimento, avaliando-se os fluxos de caixa descontados, ou seja, considerando-

se o valor do dinheiro no tempo. Esta análise, para um horizonte de 25 anos, apontou que seriam necessários 9 anos e 11 meses para que o investimento aplicado fosse recuperado. Isso significa que o projeto geraria caixa por mais 15 anos e 1 mês.

Importante também frisar que neste projeto não estão sendo considerados a geração de créditos junto à COPEL (Companhia Paranaense de Energia Elétrica), devido ao excedente de energia gerada que poderá ser utilizada posteriormente.

Tabela 7 – Cálculo parâmetros para análise de viabilidade econômica.

Período	Investimento	Saídas			
		Manutenção	Perdas	Consumo Mínimo	TMA %
0	-R\$ 2.658.095,00				0,065
1		R\$ 33.000,00	R\$ 0,00	R\$ 38.400,00	
2		R\$ 33.000,00	R\$ 13.987,50	R\$ 38.400,00	
3		R\$ 33.000,00	R\$ 17.251,25	R\$ 38.400,00	
4		R\$ 33.000,00	R\$ 20.515,00	R\$ 38.400,00	
5		R\$ 33.000,00	R\$ 23.778,75	R\$ 38.400,00	
6		R\$ 33.000,00	R\$ 27.042,50	R\$ 38.400,00	
7		R\$ 33.000,00	R\$ 30.306,25	R\$ 38.400,00	
8		R\$ 33.000,00	R\$ 33.570,00	R\$ 38.400,00	
9		R\$ 33.000,00	R\$ 36.833,75	R\$ 38.400,00	
10		R\$ 33.000,00	R\$ 40.097,50	R\$ 38.400,00	
11		R\$ 33.000,00	R\$ 43.361,25	R\$ 38.400,00	
12		R\$ 33.000,00	R\$ 46.625,00	R\$ 38.400,00	
13		R\$ 33.000,00	R\$ 49.888,75	R\$ 38.400,00	
14		R\$ 33.000,00	R\$ 53.152,50	R\$ 38.400,00	
15		R\$ 33.000,00	R\$ 56.416,25	R\$ 38.400,00	
16		R\$ 33.000,00	R\$ 59.680,00	R\$ 38.400,00	
17		R\$ 33.000,00	R\$ 62.943,75	R\$ 38.400,00	
18		R\$ 33.000,00	R\$ 66.207,50	R\$ 38.400,00	
19		R\$ 33.000,00	R\$ 69.471,25	R\$ 38.400,00	
20		R\$ 33.000,00	R\$ 72.735,00	R\$ 38.400,00	
21		R\$ 33.000,00	R\$ 75.998,75	R\$ 38.400,00	
22		R\$ 33.000,00	R\$ 79.262,50	R\$ 38.400,00	
23		R\$ 33.000,00	R\$ 82.526,25	R\$ 38.400,00	
24		R\$ 33.000,00	R\$ 85.790,00	R\$ 38.400,00	
25		R\$ 33.000,00	R\$ 89.053,75	R\$ 38.400,00	

Fonte: Autoria própria.

Tabela 8 – Cálculo parâmetros para análise de viabilidade econômica.

Período	Entradas	Fluxo de caixa	VPL	Pay-Back descontado	Taxa Interna de Retorno (TIR)
0		-R\$ 2.658.094,94	-R\$ 2.658.094,94	-R\$ 2.658.094,94	13,07%
1	R\$ 466.250,00	R\$ 394.850,00	R\$ 370.751,17	-R\$ 2.287.343,76	
2	R\$ 466.250,00	R\$ 380.862,50	R\$ 335.790,96	-R\$ 1.951.552,80	
3	R\$ 466.250,00	R\$ 377.598,75	R\$ 312.594,78	-R\$ 1.638.958,02	
4	R\$ 466.250,00	R\$ 374.335,00	R\$ 290.979,24	-R\$ 1.347.978,78	
5	R\$ 466.250,00	R\$ 371.071,25	R\$ 270.837,79	-R\$ 1.077.140,99	
6	R\$ 466.250,00	R\$ 367.807,50	R\$ 252.071,03	-R\$ 825.069,96	
7	R\$ 466.250,00	R\$ 364.543,75	R\$ 234.586,17	-R\$ 590.483,79	
8	R\$ 466.250,00	R\$ 361.280,00	R\$ 218.296,64	-R\$ 372.187,15	
9	R\$ 466.250,00	R\$ 358.016,25	R\$ 203.121,68	-R\$ 169.065,47	
10	R\$ 466.250,00	R\$ 354.752,50	R\$ 188.985,89	R\$ 19.920,42	
11	R\$ 466.250,00	R\$ 351.488,75	R\$ 175.818,97	R\$ 195.739,40	
12	R\$ 466.250,00	R\$ 348.225,00	R\$ 163.555,31	R\$ 359.294,71	
13	R\$ 466.250,00	R\$ 344.961,25	R\$ 152.133,69	R\$ 511.428,40	
14	R\$ 466.250,00	R\$ 341.697,50	R\$ 141.497,02	R\$ 652.925,42	
15	R\$ 466.250,00	R\$ 338.433,75	R\$ 131.592,02	R\$ 784.517,44	
16	R\$ 466.250,00	R\$ 335.170,00	R\$ 122.369,00	R\$ 906.886,44	
17	R\$ 466.250,00	R\$ 331.906,25	R\$ 113.781,62	R\$ 1.020.668,06	
18	R\$ 466.250,00	R\$ 328.642,50	R\$ 105.786,63	R\$ 1.126.454,69	
19	R\$ 466.250,00	R\$ 325.378,75	R\$ 98.343,72	R\$ 1.224.798,41	
20	R\$ 466.250,00	R\$ 322.115,00	R\$ 91.415,28	R\$ 1.316.213,69	
21	R\$ 466.250,00	R\$ 318.851,25	R\$ 84.966,23	R\$ 1.401.179,92	
22	R\$ 466.250,00	R\$ 315.587,50	R\$ 78.963,87	R\$ 1.480.143,79	
23	R\$ 466.250,00	R\$ 312.323,75	R\$ 73.377,69	R\$ 1.553.521,48	
24	R\$ 466.250,00	R\$ 309.060,00	R\$ 68.179,25	R\$ 1.621.700,73	
25	R\$ 466.250,00	R\$ 305.796,25	R\$ 63.342,03	R\$ 1.685.042,76	
			R\$ 1.685.042,76		

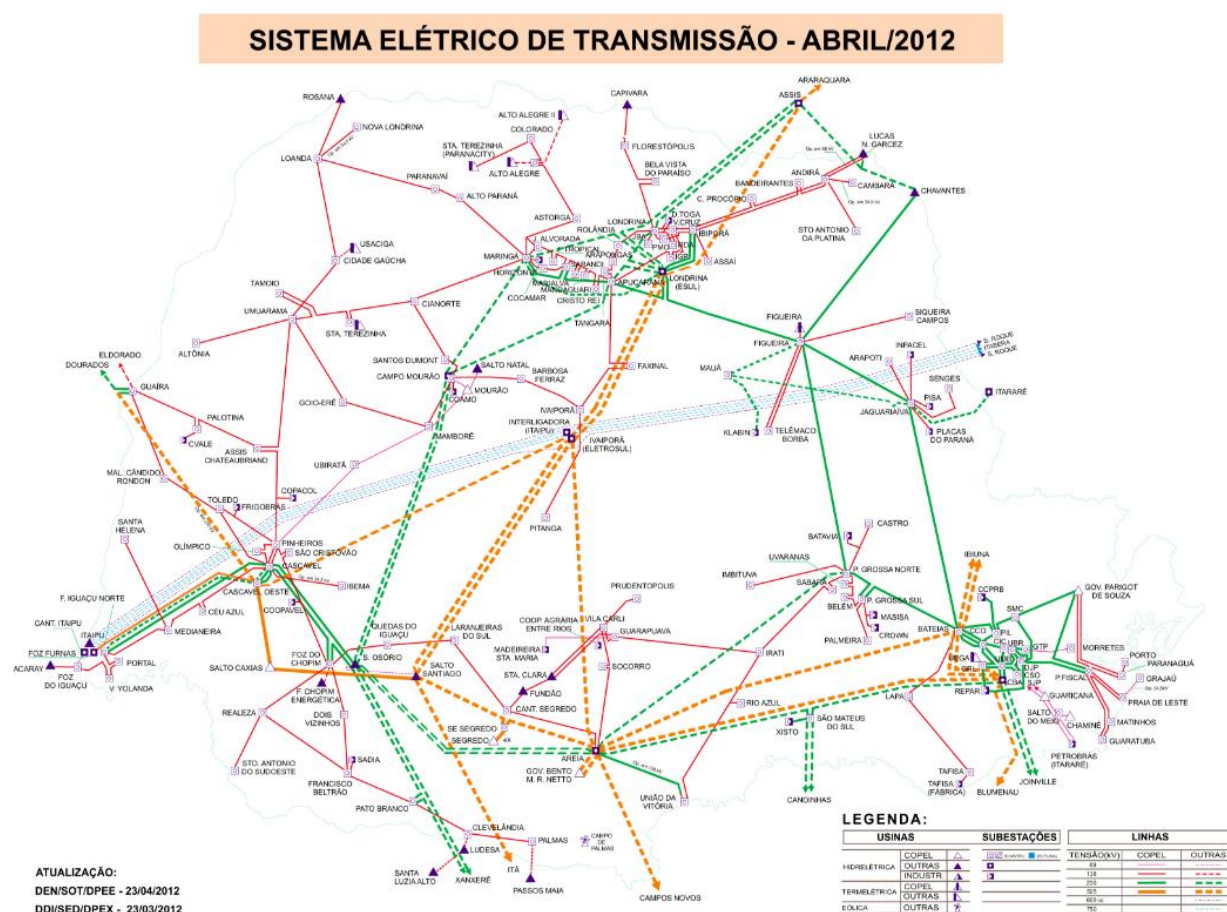
Fonte: Autoria própria.

5.7. DISCUSSÕES SOBRE ASPECTOS AMBIENTAIS

As vantagens trazidas pela implantação de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica no Câmpus, ao invés da energia utilizada da concessionária, está principalmente relacionada às vantagens da geração de energia próxima ao ponto de

consumo. Assim, não se faz necessária o uso de sistemas de transmissão e distribuição, que no caso de Londrina percorre muitos quilômetros, como mostrado no sistema elétrico de transmissão do Paraná (Figura 19):

Figura 19 – Mapa geoeletrico do Paraná.



Fonte: Copel, 2012.

Ou seja, a energia elétrica passa por vários quilômetros de linhas de estação e subestações até chegar ao Câmpus Londrina da UTFPR, estando sujeita a grandes perdas e custos de transmissão, as quais não estariam presentes no sistema fotovoltaico proposto, evitando assim o desperdício de energia gerada que poderia estar sendo utilizada.

Em 2016, a matriz elétrica Brasileira era composta majoritariamente por energia proveniente de hidrelétricas, com 68,1%. As fontes de energia renováveis representavam 81,7%, enquanto as não-renováveis 18,3% (Figura 20), considerando gás natural, derivados de petróleo, nuclear e carvão e derivados. Assim, pode-se dizer

que a matriz elétrica Brasileira é, atualmente, baseada em fontes renováveis de energia, e a implantação do projeto no Câmpus contribuiria, de certa forma, para este cenário, mesmo que em pequena escala.

Além disso, a implantação deste projeto contribuiria ainda mais para o crescimento da adesão à energia solar fotovoltaica, que cresceu 44,7% do ano de 2015 para 2016, mais ainda representa 0,01% da matriz elétrica Brasileira, conforme consta no Relatório Parcial do Balanço Energético Nacional (2017), o que é um valor pouco expressivo comparando com qualquer outro.

Ainda segundo dados presentes no Balanço Energético Nacional de 2017, em 2016, no Brasil, para produzir 1MWh, o setor elétrico brasileiro emitiu em média 101,3 kg de CO₂. Assim, considerando que o sistema terá uma geração de 1.735,95 kWh/dia, em um ano, a produção total de energia seria de 633.621,75 kWh, ou seja, 633,62 MWh. Dessa forma, multiplicando 633,62 MWh por 101,3 kg de CO₂ emitidos por MWh produzido, chega-se ao valor de 64,18 toneladas de CO₂ que seriam evitados em um ano.

6. CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento do presente trabalho, foi possível concluir a total viabilidade da implantação do sistema de geração distribuída de energia solar fotovoltaica na UTFPR Londrina. Os objetivos estabelecidos ao início do projeto foram alcançados com sucesso, sendo que foi possível encontrar a melhor área para a instalação do sistema, bem como realizar o seu dimensionamento de forma a atender a demanda de energia elétrica atual do Câmpus. Além disso, foi possível fazer o cálculo dos parâmetros para a análise da viabilidade econômica, e o projeto se provou viável de acordo com todos eles.

Porém, para uma análise mais profunda, seria desejável se fazer uma projeção futura do crescimento do Câmpus até uma considerável estabilização do mesmo quanto à estrutura e número de alunos, sendo possível prever o dimensionamento e o investimento para que o sistema continue atendendo à demanda total de energia elétrica. Além disso, a análise econômica poderia ter sido mais completa também se tivesse sido considerado a variação no preço dos equipamentos fotovoltaicos e sua eficiência, o que não foi feito devido à dificuldade de mensuração. Ainda em relação à análise econômica, o custo com a manutenção foi estimado e poderia ter sido calculada de uma forma que se encontrasse um valor mais próximo à realidade. E quanto à análise ambiental, a discussão sobre as emissões evitadas também poderia ter sido feita mais a fundo, não somente através de dados do Relatório do Balanço Energético Nacional.

De qualquer forma, acredita-se que o presente trabalho cumpriu todos os seus objetivos e foi possível concluir com sucesso e de forma confiável a análise de viabilidade do projeto. Todos os empecilhos apontados que nos distanciaram de uma análise mais profunda, foram encontrados durante o desenvolvimento do projeto e foram resolvidos da melhor forma, a fim de apresentar os dados mais próximos da realidade possível nas atuais condições de trabalho. Acredita-se que estes não desvalidem as conclusões finais em relação à viabilidade do projeto, e ficam como sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, é importante ressaltar a relevância do desenvolvimento de um trabalho como este, no sentido da disseminação desta tecnologia, bem como das fontes renováveis de energia em geral. Espera-se que este abra portas para estudos futuros

e, finalmente, a implantação de um sistema como o proposto na UTFPR Londrina, assim como em outros Câmpus.

REFERÊNCIAS

ALVES, Gustavo; MORAES, Luciano; MARAFÃO, Fernando; SERNI, Paulo; SIMÕES, Marcelo. Energia solar no Brasil. **O Setor Elétrico**, São Paulo, ed. 104, set. 2014. Disponível em: <<http://www.osestoreletrico.com.br/2016/2014/10/22/energia-solar-no-brasil/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Informações Técnicas**. Brasília, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 05 abril 2017.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Chamada Nº 001/2016 Projeto prioritário de eficiência energética e estratégico de P&D: "Eficiência energética e minigeração em instituições públicas de ensino superior"**. Brasília, 2016. 15 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930433/Priorit%C3%A1rio+e+Estrat%C3%A9gico+%28Edital+final%29/7817f2ab-0f65-42b8-b8d4-e91a2b61239f>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

BEN. **Relatório Síntese Balaço Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2017_Web.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2018.

BENEDITO, Ricardo da Silva. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. São Paulo, 2009. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRAUN-GRANBOLLE, Priscila. **A integração de sistemas solares fotovoltaicos em larga escala no sistema elétrico de distribuição urbana**. Florianópolis, 2010. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

BREALEY, Richard A.; MYERS, Stewart C.; ALLEN, Franklin. **Principles of corporate finance**, 10 ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Lavras, 2011. 68 f. Monografia (Especialização) – Programa de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

COPEL. Companhia Paranaense de Energia Elétrica. **Mapa geoeletrico do Paraná**.

Curitiba, 2016. Disponível em: <
<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Ftransmissao%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2FAA05A48B08082B3A03257410006EE836>>.
Acesso em: 19 maio de 2018.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. **Energia solar: Princípios e aplicações**. Rio de Janeiro, 2006. 28 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>. Acesso em: 28 out. 2016.

DASSI, Jonatan Antonio; ZANIN, Antonio; BAGATINI, Fabiano Marcos; TIBOLA, Ademar; BARICHELLO, Rodrigo; MOURA, Geovanne Dias de. **Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica em uma Instituição de Ensino Superior do Sul do Brasil**. Foz do Iguaçu, 2015.

DI PIERO, Eduardo Paulo Filho; COLOMBINI, Giovanni Nicola Umberto Italiano. Avaliação de projeto de investimento em ultra-sonografia ocular: Método do “payback” descontado. **Revista Brasileira de Oftalmologia**, Rio de Janeiro, vol. 63, n. 5-6, p. 334-339, 2004.

DIAS, Pablo Ribeiro. **Caracterização e reciclagem de materiais de módulos fotovoltaicos**. 2015. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/127924/000973954.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

ENERGIA INTELIGENTE. **Especial: Viabilidade econômica da implantação da geração solar em residências**. Juíz de Fora, 2015. Disponível em: <<https://energiainteligenteufjf.com/2015/01/22/especial-viabilidade-economica-da-implantacao-da-geracao-solar-em-residencias/>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

FONSECA, Yonara Daltro. **Técnicas de avaliação de investimentos: Uma breve revisão da literatura**. 2010. Disponível em: <http://www.infinitaweb.com.br/albruni/artigos/a0303_CAR_AvallInvest.pdf>. Acesso em: 25 maio 2017.

GAIO, João Nicolau; CAMPOS, Kleverson Moisés Apolinário de. **Determinação do tempo ótimo para limpeza de painéis fotovoltaicos para obtenção da melhor produtividade: Estudo de caso dos SFVCR's implantados na UTFPR**. 2017. Curitiba, 2017. 85 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

GANDRA, Alana. Agência Brasil. **Custo da energia elétrica para indústria nacional sobe 59,3% em três anos**. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-07/custo-da-energia-eletrica-para-industria-nacional-sobe-593-em-tres-anos>>. Acesso em: 05 nov. 2016.

GIACCHETTA, Giancarlo; LEPORINI, Mariella; MARCHETTI, Barbara. Evaluation of

the environmental benefits of new high value process for the management of the end of life of thin film photovoltaic modules. **Journal Of Cleaner Production**, vol. 51, p. 214-224. Jul. 2013.

GIACOMIN, Jacksson Hester. **Estudo da viabilidade econômico-financeira de uma microcervejaria no estado de Santa Catarina**. 2008. Florianópolis, 2008. 89 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 7 ed. São Paulo: Editora Atlas, 1999.

IAP. Instituto Ambiental do Paraná. Paraná regulamenta licenciamento ambiental para uso da energia solar. **Site do IAP**, Curitiba, 08 fev. 2017. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br/2017/02/1115/Parana-regulamenta-licenciamento-ambiental-para-uso-da-energia-solar.html>>. Acesso em 19 abril 2017.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos**. 2005. 14 f. Universidade de São Paulo, 2005.

ISHII, Tetsuyuki; MASUDA, Atsushi. Annual degradation rates of recent crystalline silicon photovoltaic modules. **Progress In Photovoltaics: Research and Applications**, v. 25, p. 953-967, jul. 2017.

KRAUSS, Karin; FERTIG, Fabian; MENZEL, Dorothee; REIN, Stefan. Light-induced degradation of silicon solar cells with aluminium oxide passivated rear side. **Energy Procedia**, v. 77, p. 599-606, jul. 2015.

LISITA JÚNIOR, Orlando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso - 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MANNARINO, Remo. *Introdução à engenharia econômica*. Rio de Janeiro: Campus, 1991

MAUTHNER, Franz; WEISS, Werner; SPÖRK-DÜR, Monika. **Solar Heat Wordwild: Markets and contribution to the energy supply 2014**. Gleisdorf, Austria, 2016. 74 p. Disponível em: <https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/reports/iea_shc_solar_heat_worldwide_2016.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional**. Brasília, 2015. 289 p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Energia para as comunidades isoladas**. Brasília, 1997. 4 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/periodicos/informe_prodeem.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2016.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Inserção da geração fotovoltaica distribuída no Brasil: Condicionantes e impactos**. Rio de Janeiro, 2014. 60 p. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série Estudos de Energia/DEA 19 - Inserção da Geração Fotov](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/Série%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inserção%20da%20Geração%20Fotov.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.

MOHAMED, Ali Omar; HASAN, Abdulazez. Effect of dust accumulation on performance of photovoltaic solar modules in Sahara Environment. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**, v. 2, n. 11, p. 11030-11036. 2012.

MOURA, Luiz Antônio Abdalla de. **Economia ambiental: Gestão de custos e investimentos**. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2000.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: Viabilidade econômica**. São Paulo, 2015. 58 f. Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: 01 abril 2017.

NREL. National Renewable Energy Laboratory. Washington. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=z0JMes%255Bv%255D%3Dt&bL=groad&cE=0&R=0&mC=-13.88074584202559%2C-50.009765625&zL=4>>. Acesso em: 28 maio 2017.

ORTEGA, Lisbeth Lucia Martinez. **Conversão fotovoltaica: Comparação de modelos de desempenho**. Rio de Janeiro, 2013. 116 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia) – Programa de Pós Graduação em Metrologia, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2013.

PAIANO, Annarita. Photovoltaic waste assessment in Italy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. Colorado, Usa, vol. 41, p. 99-112. Jan. 2015.

PARANÁ. Assembleia Legislativa do Estado do Paraná. **Aprovado projeto que concede benefícios ao aproveitamento da energia produzida por micro e minigeradores**. Curitiba, 2016. Disponível em: <http://www.alep.pr.gov.br/sala_de_imprensa/noticias/aprovado-projeto-que-concede-beneficios-ao-aproveitamento-da-energia-produzida-por-micro-e-minigeradores>. Acesso em: 20 março 2018.

PARANÁ. **Portaria IAP Nº 19/2017**. Curitiba, PR.

PARANÁ. **Projeto de Lei Nº 378/2015**. Curitiba, PR. Disponível em: <http://portal.alep.pr.gov.br/modules/mod_legislativo_arquivo/mod_legislativo_arquivo>.

php?leiCod=55447&tipo=l>. Acesso em: 20 março 2018.

PAVAN, Alessandro Massi; MELLIT, Adel; DIAMANDO, Pieri. The effect of soiling on energy production of large-scale photovoltaic plants. **Solar Energy**, v. 85, n. 5, p. 1128-1136. Maio 2011.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna de; RÜTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos, 2006. 60 p. Disponível em: <ftp://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2016.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/livro-manual-de-engenharia-sistemas-fotovoltaicos-2014.pdf>>. Acesso em: 27 abril 2018.

PORTAL SOLAR. **A melhor direção do painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 18 abril 2018.

PORTAL SOLAR. **Tipos de painel solar fotovoltaico**. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 02 nov. 2016.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JORDAN, Brandford D. **Princípios de administração financeira**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

REN21. **Renewables 2015 Global Status Report**. Paris, 2015. 250 p. Disponível em: <http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2015/07/REN12-GSR2015_Onlinebook_low1.pdf>. Acesso em: 10 out. 2016.

ROMAGNOLI, Henrique Cesar. **Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro**. Florianópolis, 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JORDAN, Brandford D. **Princípios de administração financeira**. 2.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Editora UFSC/LABSOLAR, 2004. 113 p.

SAYYAH, Arash; HORENSTEIN, Mark N.; MAZUMDER, Malay K. Energy yield loss

caused by dust deposition on photovoltaic panels. **Solar Energy**, v. 107, p. 576-604. Set. 2014.

SILVA, José A.; BRITO, Miguel C.. Energia fotovoltaica: Conversão de energia solar em eletricidade. **O Instalador**, Portugal, jul. 2006.

SOLAR POWER ADVICE. **Complete solar panelcostguide**. 2010. Disponível em: <<http://solarpoweradvice.com>>. Acesso em: 03 nov. 2016.

TEIXEIRA, Alexandre de Almeida; CARVALHO, Matheus Costa; LEITE, Leonardo Henrique de Melo. Análise de viabilidade para a implantação do sistema de energia solar residencial. **E-xacta**, Belo Horizonte, v. 4, n. 3, p.118-136, dez. 2011.

TEJWANI; Ravi; SOLANKI, Chetan S. 360° sun tracking with automated cleaning system for solar PV. In: CONFERENCE RECORD OF THE IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE. Jun 2010.

TOLMASQUIM, Maurício Tiomno. **Alternativas energéticas sustentáveis no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora RelumeDumará, 2004.

TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. 164 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, 2012.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas**: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade. Florianópolis, 2010. 189 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

VALLÊRA, António M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta de Física**, Lisboa, vol. 29, p. 10-15, jan. 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/gazeta2006.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2016.

VAREJÃO-SILVA, Mario Adelmo. **Meteorologia e climatologia**. Recife, 2006. 449 p. Disponível em: <<http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2015/08/LIVRO-382-Mario-Adelmo-Varejao-Silva-Meteorologia-e-Climatologia.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2016.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Mega watt solar**: Geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica. 2010. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.