



**RAFAEL CASTELO BRANCO FERREIRA COSTA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA E AMBIENTAL  
DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA  
RESIDÊNCIA DO PROGRAMA MINHA CASA, MINHA VIDA  
NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

Trabalho apresentado ao curso MBA em Gerenciamento de Projetos, Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management da Fundação Getúlio Vargas, como pré-requisito para a obtenção do Título de Especialista.

**Edmarson Bacelar Mota**  
**Coordenador Acadêmico Executivo**

**Denise Basgal**  
**Orientadora**

**Curitiba – PR**  
**2016**

FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS  
PROGRAMA FGV MANAGEMENT  
MBA EM GERENCIAMENTO DE PROJETOS

O Trabalho de Conclusão de Curso

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA E AMBIENTAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDÊNCIA DO PROGRAMA MINHA CASA, MINHA VIDA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

elaborado por Rafael Castelo Branco Ferreira Costa e aprovado pela Coordenação Acadêmica, foi aceito como pré-requisito para a obtenção do certificado do Curso de Pós-Graduação *lato sensu* MBA em Gerenciamento de Projetos, Nível de Especialização, do Programa FGV Management.

Data da Aprovação: Curitiba, 18/04/2016

---

Edmarson Bacelar Mota

Coordenador Acadêmico Executivo

---

Denise Basgal

Orientadora

## **TERMO DE COMPROMISSO**

O aluno Rafael Castelo Branco Ferreira Costa, abaixo assinado, do curso de MBA em Gerenciamento de Projetos, Turma GP36-Curitiba (5/2013) do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE, no período de 16/08/2013 a 19/12/2015, declara que o conteúdo do Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONOMICA E AMBIENTAL DA GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM UMA RESIDENCIA DO PROGRAMA MINHA CASA, MINHA VIDA NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA** é autêntico e original.

Curitiba, 18/04/2016

---

Rafael Castelo Branco Ferreira Costa

*“A educação é a arma mais poderosa  
que você pode usar  
para mudar o mundo.”*

Nelson Mandela

Ganhador do Nobel da Paz 1993

## Dedicatória

*Dedico este trabalho aos que estão e sempre estiveram ao meu lado,  
aos meus pais,  
aos meus avós e  
a minha amada esposa Karoline*

## **RESUMO**

O presente trabalho se propõe a efetuar uma análise de viabilidade, considerando-se os aspectos econômicos e ambientais da geração de energia fotovoltaica em uma residência do programa do governo federal Minha Casa, Minha Vida localizada na Região Metropolitana de Curitiba, analisando o programa social do governo federal, as características habitacionais da Região Metropolitana de Curitiba, matriz energética brasileira e as características da geração de energia fotovoltaica. O estudo elaborado conta com uma profunda análise documental da legislação do setor elétrico e habitacional para sustentar a análise de viabilidade econômica que utiliza as técnicas do payback simples e do Valor Presente Líquido. A análise de viabilidade ambiental utiliza pesquisa documental, comparando o atual cenário de geração de energia com a geração fotovoltaica. Ao fim é demonstrando que existe uma viabilidade ambiental da utilização de energia fotovoltaica e uma viabilidade econômica parcial.

**Palavras Chave:** Energia Fotovoltaica; Programa Minha Casa Minha Vida; Região Metropolitana de Curitiba; Viabilidade econômica e ambiental.

## **ABSTRACT**

The present work proposes to perform a viability analysis, considering the economic and environmental aspects of photovoltaic energy generation at a residence from the federal government program called Minha Casa, Minha Vida, located at the metropolitan region of Curitiba, analyzing the government's social program, the metro region's habitation characteristics, energy production matrix and photovoltaic energy production characteristics. The study is based in a deep documental analysis of the electrical and habitational sector legislation to sustain the economic viability, which uses the simple payback and Net Present Value technics. The environmental viability is based on documental research, comparing the actual scenario of energy production with the photovoltaic generation. At least is demonstrated the environmental viability in the use of photovoltaic energy and a partial economic viability.

**Key Words:** Photovoltaic Energy, Minha Casa, Minha Vida Program, Curitiba Metropolitan area, Economic and environmental viability.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os envolvidos no desenvolvimento da minha formação acadêmica e indiretamente no desenvolvimento desse trabalho, sejam eles, familiares, professores, colegas e amigos.

A minha querida e amada esposa Karoline, pelo grande incentivo, excelentes horas de conversa sobre a nossas vidas, carreiras e sociedade, incrível admiração pelo esforço executado durante seu mestrado e agora doutorado, pela paciência, mas acima de tudo, pelo amor extraordinário, incondicional e carinhoso demonstrado diariamente, confirmando a nossa grande amizade e existência de um casal com amor verdadeiro.

Aos meus pais Claudia e Fernando, que sempre estiveram de certa forma presentes em todos os momentos da minha vida. Que sempre me apoiaram a voar cada vez mais alto e me auxiliaram a conseguir esses voos com palavras de conforto, determinação e compreensão. Agradeço por todo o carinho e amor que recebi.

Aos meus padrastos, Inara e João, que fazem parte da minha vida, com uma grande amizade e amor. Junto a meus pais, formam a minha grande família. Que me auxiliaram nas minhas escaladas.

Aos meus avós, Lena, Juraci, Floriano e Osório, que sempre foram meu porto seguro de sabedoria, amor, carinho e inspiração. Credito a eles a minha vontade e curiosidade de descobrir. As aulas de matemática, física, história, pedagogia, direito e economia que ganhei junto a almoços e cafés nos fins de semana. Agradeço por serem meus “advogados” quando aprontava algo que meus pais não gostavam, mas acima de tudo, por todo amor recebido incondicionalmente.

Agradeço aos professores da FGV por todo o conhecimento recebido ao longo dessa jornada. Sem as aulas, este trabalho não seria possível.

A Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Oldenburg Basgal pelas aulas de SAAC e orientação para esse Trabalho. Foi uma fonte de luz e orientação para que eu explorasse os “segredos” da geração de energia fotovoltaica e sua viabilidade.

Aos funcionários do ISAE que sempre me atenderam de forma justa e honesta, atendendo as demandas e proporcionando um ambiente excepcional para o desenvolvimento do ensino.

Aos colegas, que transmitiram suas experiências e tornaram esse *Masters in Business Administration* mais descontraído.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA .....	13
2.1 CRITÉRIOS NACIONAIS .....	14
2.2 CRITÉRIOS LOCAIS PARA A RMC .....	15
2.3 DIMENSÕES DO PMCMV .....	16
2.4 SUSTENTABILIDADE NO PMCMV .....	16
3. CARACTERÍSTICAS DA RMC .....	19
3.1 REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – RMC .....	19
3.2 INSTITUTOS DE PLANEJAMENTO .....	20
3.3 EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL .....	21
4. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA .....	24
5. ENERGIA SOLAR .....	28
5.1 ENERGIA FOTOVOLTÁICA .....	28
5.2 PROGRAMA SWERA .....	30
5.3 A TECNOLOGIA DA ENERGIA FOTOVOLTÁICA .....	32
5.4 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA .....	34
5.5 BATERIAS .....	34
5.6 OUTRAS FORMAS DE ARMAZENAMENTO .....	36
6. ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DA ENERGIA FV .....	38
7. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FV .....	41
7.1 PARÂMETROS DE CÁLCULO .....	41
7.2 CÁLCULO DE VIABILIDADE .....	42
8. CONCLUSÃO .....	50
9. REFERÊNCIAS .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Taxa de crescimento do PIB Brasileiro vs. Mundial.....	13
Figura 2 - Número de residências do Programa Minha Casa, Minha Vida.....	16
Figura 3 – Mapa da RMC com destaque para o núcleo urbano central.....	19
Figura 4- Mapa de Relevô do Paraná.....	20
Figura 5 - Mapa das áreas aptas e inaptas da RMC.....	22
Figura 6 - Vetores de crescimento populacional da RMC.....	22
Figura 7 - Grau de Vulnerabilidade social, segundo as áreas de expansão da RMC.....	23
Figura 8 - Mapa de disponibilidade hidrelétrica brasileira.....	26
Figura 9 - Histórico de preço de geração (em US\$/W).....	30
Figura 10 - Matriz Energética da Alemanha para o ano de 2014.....	31
Figura 11 - Mapa solarimétrico para a Alemanha.....	31
Figura 12 - Mapa Solarimétrico para o Brasil.....	32
Figura 13 - Desenho esquemático de um volante de inércia moderno.....	36
Figura 14 - Emissão global de carbono por combustíveis fósseis de 1900 a 2011.....	38
Figura 15 - Emissão global de CO2 em 2011 por país emissor.....	39
Figura 16 - Curva de carga vs. curva geração FV.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes de Energias Exploradas no Brasil .....	24
Tabela 2 - Fontes Energéticas utilizadas no Brasil - Fase de Operação .....	25
Tabela 3 - Fontes energéticas utilizadas no brasil - Fase de operação, construção e Outorga	25
Tabela 4 - Comparativo de benefícios da energia fotovoltaica.....	28
Tabela 5 - Previsão de Inflação período 2015 a 2020.....	45
Tabela 6 - Tarifa elétrica 2016 a 2025 (previsão).....	46
Tabela 7 - Tarifa elétrica 2016 a 2025 (reajustada com manutenção).....	47
Tabela 8 – VPL mensal anualizado - 2016 a 2025 .....	47
Tabela 9 - VPL para cada ano (2016 a 2025) .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Energia elétrica e habitação são assuntos decorrentes da vida de populações em todo o mundo. Desde a revolução industrial, a humanidade tem cada vez mais utilizado equipamentos elétricos para facilitar o seu dia-a-dia e permitir que a humanidade avance; O melhor exemplo é a geladeira, que utiliza de eletricidade para produzir frio e conservar melhor os alimentos e permitir que tenhamos uma alimentação melhor, aumentando a vida das pessoas. Além disso a eletricidade trouxe facilidades para a vida em cidade e no campo, com iluminação noturna, bombas de sucção para abastecimento de água e máquinas para realizarem serviços que são perigosos para uma pessoa.

Mas é preciso possuir um teto para se proteger das intemperes do clima e desenvolver-se com ser humano que vive em sociedade. Sem uma moradia, uma pessoa não pode desenvolver-se em plenitude. Com o intuito de facilitar a aquisição de moradias para pessoas de baixa renda e movimentar a economia, o governo federal criou em 2009 o Programa Minha Casa, Minha Vida, que facilita o crédito para a aquisição e construção de residências de baixa renda.

O problema enfrentado atualmente é que a geração de energia é uma atividade que globalmente produz gases do efeito estufa, responsáveis pelo aquecimento da temperatura atmosférica. Quando se analisa a criação de novas residências com um consumo maior de eletricidade, não há como não correlacionar com uma maior emissão de gases estufa.

Como alternativa a utilização de fontes de energias poluidoras, estão em plena expansão as energias renováveis ou energias limpas, que entre elas a que possui maior potencial de aproveitamento é a energia solar, por estar disponível em qualquer parte do planeta.

Este trabalho irá explorar esses temas para uma residência de baixa renda do Programa Minha Casa, Minha Vida localizada na Região Metropolitana de Curitiba avaliando a viabilidade econômica e ambiental da geração de energia fotovoltaica nesse tipo de residência.

A utilização de energias renováveis é um tema novo e que ganhar força pelo seu apelo ambiental já que vem para resolver um problema que começa a aparecer depois de décadas de descaso das autoridades de vários países. Cada vez mais está nítido o impacto que o consumo desenfreado dos recursos naturais, em especial o petróleo e o carvão, está causando no clima global, como a intensificação dos fenômenos El niño e La niña.

Este trabalho foi elaborado por uma extensa pesquisa bibliográfica de assuntos, em especial a tecnologia por trás da geração de energia fotovoltaica, que foi amplamente elucidada pelo livro do Prof. Dr. Mukund R. Patel. Também houve uma extensa avaliação de legislações federais, estaduais e municipais, já que eletricidade e habitação são atividades regulamentadas e não podem ocorrer ao acaso.

A primeira parte do trabalho se dedica em avaliar o Programa Minha Casa, Minha Vida, abrindo o caminho para entender a importância de moradia e o déficit em que o Brasil se encontra. Logo depois é feita uma análise das características habitacionais da Região Metropolitana de Curitiba. Na terceira parte se analisa a matriz energética brasileira, com a ótica da representatividade da energia solar no percentual de geração. Na quarta parte, se é explanado todos os meandros da geração de energia fotovoltaica e por fim, na quinta parte é finalmente realizada a viabilidade.

## 2. PROGRAMA MINHA CASA MINHA VIDA

Uma moradia própria sempre foi (e continua sendo) o sonho de muitas famílias brasileiras. Em 2007, o déficit habitacional estimado em 2007 era de 6,273 milhões de domicílios (CIDADES, 2009), consequência de anos de políticas mal elaboradas ou mal geridas. O resultado do déficit habitacional é que, para aproximadamente 2 milhões de famílias, o aluguel onera o orçamento familiar em mais de 30%, dificultando os programas de incentivo a crédito e aquisição de bens, fundamentais para progredir a economia.

O ano de 2008 foi marcado pela crise imobiliária nos Estados Unidos, que afetou a economia global, dificultando crédito e crescendo impostos em todo o mundo. No Brasil, com uma economia aquecida pelo aumento do PIB, que de 2001 a 2007 cresceu mais que o PIB mundial, conforme dados do Banco Mundial.

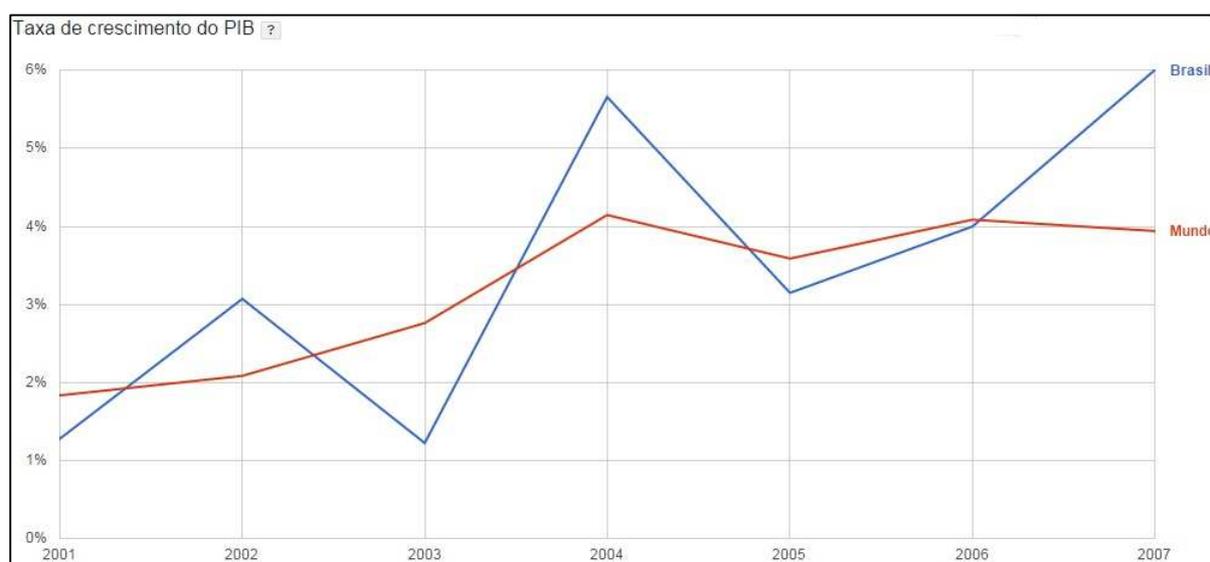


Figura 1 - Taxa de crescimento do PIB Brasileiro vs. Mundial

Fonte: BANCO MUNDIAL, 2016

Nesse cenário, foi criado em 2009 pelo governo federal através da medida provisória 459 de 25 de Março de 2009 e posteriormente convertido na lei 11.977 de 7 de julho de 2009, o Programa Minha Casa Minha Vida (PMCMV). Trata-se de um programa de habitação popular visando o acesso a moradia própria para famílias de baixa e baixíssima renda (BRASIL, 2009). Houveram duas versões do PMCMV, sendo a primeira tendo duração até 2011 e a segunda ainda em andamento.

De acordo com a lei que o estabelece atualmente, o mecanismo de funcionamento do programa visa o incentivo à produção e aquisição de novas habitações ou requalificação de imóveis urbanos ou rurais para famílias com renda de até R\$4.650,00 e compreende dois subprogramas – o Programa Nacional de Habitação Urbana (PNHU) e o Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR).

## **2.1 CRITÉRIOS NACIONAIS**

Para ser beneficiário do programa, é necessário atender aos requisitos previstos na lei nº 11.977 de 07 de Julho de 2009 do governo federal e aos critérios específicos de cada município. Os critérios nacionais são descritos no artigo 3º da lei supracitada (BRASIL, 2009):

**Art. 3º** - Para a indicação dos beneficiários do PMCMV, deverão ser observados os seguintes requisitos:

**I** - comprovação de que o interessado integra família com renda mensal de até R\$ 4.650,00;

**II** - faixas de renda definidas pelo Poder Executivo federal para cada uma das modalidades de operações;

**III** - prioridade de atendimento às famílias residentes em áreas de risco ou insalubres ou que tenham sido desabrigadas;

**IV** - prioridade de atendimento às famílias com mulheres responsáveis pela unidade familiar; e

**V** - prioridade de atendimento às famílias de que façam parte pessoas com deficiência.

**§ 1º** - Em áreas urbanas, os critérios de prioridade para atendimento devem contemplar também: (...)

**II** – a implementação pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios de medidas de desoneração tributária, para as construções destinadas à habitação de interesse social; (...)

A lei 11.977/09 também determina a origem dos recursos financeiros utilizados para financiar o programa. Foi determinado que para a aquisição de residências, poderão ser utilizados o Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e o Fundo de Arrendamento Residencial (FAR). A gestão dos fundos é de responsabilidade da Caixa Econômica Federal (CEF), que já controlava os recursos do FGTS. Qualquer banco com sede no Brasil pode

utilizar e financiar moradias do PMCMV, porém estes precisam contratar o recurso com a CED.

Outro aspecto abordado pela lei 11.977/09 é a origem dos recursos para o financiamento das construções. A origem do dinheiro é por financiamentos junto ao BNDES, porém também com a gestão da CEF. Desse modo, há um grande incentivo para sanar o déficit habitacional brasileiro, pois tanto a construção quando a aquisição, são financiados e subsidiados pelo poder público (BRASIL, 2009).

## 2.2 CRITÉRIOS LOCAIS PARA A RMC

Além dos critérios do governo federal, existem critérios locais para se candidatar ao PMCMV. Os critérios em Curitiba e região metropolitana (RMC) foi definido pelo Conselho da Cidade de Curitiba – Concitiba, através da resolução nº 019 de 13 de Setembro de 2012. Nessa resolução foi definido que os critérios locais são (CURITIBA, 2009):

- a) Famílias atendidas pela rede de proteção social do município que estejam em situações de vulnerabilidade social e habitacional;
- b) Famílias com ao menos 1 dependente menor de 18 anos de idade; e
- c) Famílias que residam neste município em imóvel alugado.

A organização do programa é de responsabilidade da Companhia de Habitação Popular – Cohab Curitiba, criada em 1965 pela Lei municipal nº 2545 de 29 de Abril de 1965 e é responsável desde então pela execução da política de habitação do município de Curitiba e região metropolitana (CURITIBA, 1965). Assim, os papéis de cada *Stakeholder* são assim definidos:

**Cohab Curitiba** - Organizar o programa e verificar se os beneficiários atendem os critérios de seleção.

**Caixa Econômica Federal** – Gerir os contratos e financiamentos

**Municípios da RMC** – Gerir o plano diretor e ocupação do solo em cada município.

## 2.3 DIMENSÕES DO PMCMV

Segundo informações do PMCMV através da página do programa no sítio da CEF, os números de residências atendidas do início do programa em 2009 até Dez/15 são apresentados na tabela abaixo:

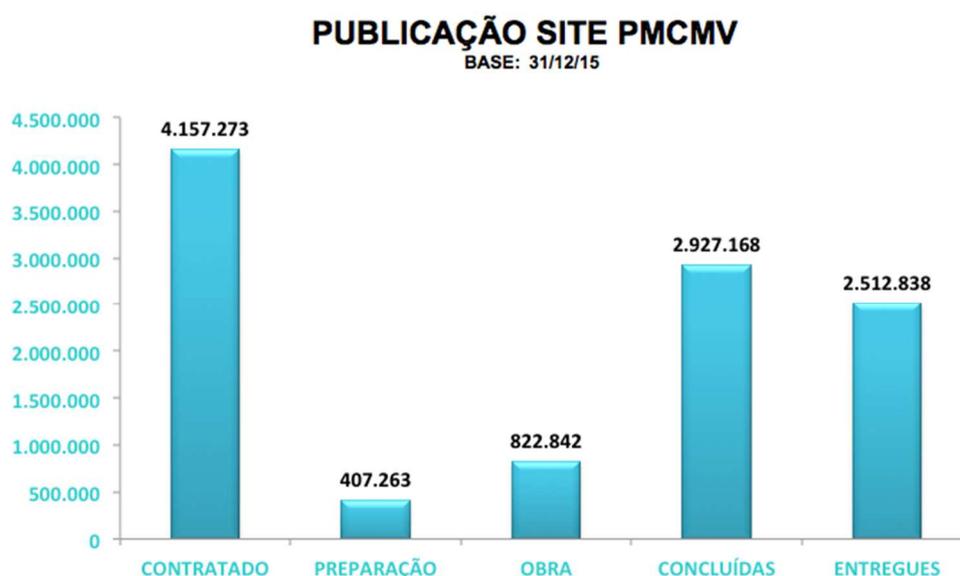


Figura 2 - Número de residências do Programa Minha Casa, Minha Vida

Fonte: CEF, 2016

Considerando-se o total contratado de 4.157.273 casas em Dezembro de 2015 e que residam em média 4 moradores por casa, o programa tem uma abrangência de aproximadamente 16 Milhões de Brasileiros ou próximo a 7,8% da população. O programa ainda não sanou o déficit inicial de mais de 6 milhões de residências em 2007, mas é visível que diminuiu bem o problema.

## 2.4 SUSTENTABILIDADE NO PMCMV

A definição de sustentabilidade segundo o dicionário Priberam da Língua Portuguesa é: **Sustentabilidade** (Subst. Fem.): 1. Qualidade ou condição do que é sustentável. 2. Modelo de sistema que tem condições de se manter ou conservar (PRIBERAM, 2016).

Ou seja, afirmar que um programa do poder público é sustentável, condiz com uma realidade onde o programa de financiamento consiga se capitalizar sem a necessidade de novos aportes do governo. Caso se busque a sustentabilidade ambiental de um programa, é

necessário que o empreendimento não provoca novos danos ao local onde se está sendo construído, buscando zerar a sua “pegada ecológica”.

A sustentabilidade é um tema cada vez mais abrangente e discutido em vários níveis da sociedade, com várias teoremas e propostas. Conforme elucidado por RICHTER (2014) uma obra pública deve primar pela sustentabilidade ambiental, ou seja, minimizar os impactos gerados ao meio ambiente, evitando um aumento da degradação ao local onde se está inserido. Dentro dessa linha, o governo federal publicou em 2010 a Instrução Normativa nº 01, visando estabelecer critérios de sustentabilidade ambientais para aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal.

Para o programa minha casa, minha vida, o tema de sustentabilidade é apresentado de maneira muito vaga no Art. 73 da lei 11.977/09 (BRASIL, 2009):

**Art. 73.** Serão assegurados no PMCMV:

- I** – condições de acessibilidade a todas as áreas públicas e de uso comum;
- II** – disponibilidade de unidades adaptáveis ao uso por pessoas com deficiência, com mobilidade reduzida e idosos, de acordo com a demanda;
- III** – condições de sustentabilidade das construções;
- IV** – uso de novas tecnologias construtivas.

O Fundo Socioambiental da CEF, desde 2013 financia projetos diversos que possuam a finalidade de um desenvolvimento sustentável, social e ambiental (CEF, 2015). Um dos projetos desenvolvidos pela caixa em parceria com a empresa privada Brasil Solair, foi o Projeto Juazeiro, que em 2012 iniciou a construção do maior parque solar brasileiro (à época) dentro de um condomínio do PMCMV (BRASIL-SOLAIR, 2016).

O projeto, como exposto pelos seus idealizadores, foi concebido após a resolução 482 de 17 de Abril de 2012 da ANEEL (ANEEL, 2012) – Que em seus artigos diz que:

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

Onde a energia gerada por um sistema de geração de energia entre 100kW e 1MW com base em fontes renováveis poderá se beneficiar do sistema de compensação de energia elétrica, que é descrito no artigo 6º, §1º da mesma resolução:

**Art. 6º, §1º** - Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de

empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses.

Com isso é gerada energia pelo condomínio durante o dia que é vendida para a concessionária de energia local. Essa venda produz um crédito que poderá ser utilizado para diminuir o valor da conta elétrica, da eletricidade utilizada no período noturno, quando não há geração de energia solar. É interessante frisar que a mão de obra para a obra de implantação do parque solar foi de moradores do condomínio, com capacitação e a supervisão da empresa vendedora. O resultado final é um ganho em todas as frentes: Moradores capacitados em uma tecnologia nova, geração de eletricidade renovável, aumento da capacidade de geração da matriz energética e renda nova para a população local.

### 3. CARACTERÍSTICAS DA RMC

#### 3.1 REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA – RMC

A RMC é uma região geográfica composta de 29 municípios ao redor da cidade de Curitiba, Capital do Estado do Paraná. É a nona maior região metropolitana do país, com população estimada de 3.174.201 habitantes, ou aproximadamente 28% da população do Paraná, de acordo com o Senso 2010 do IBGE (IBGE, 2013). É a única região metropolitana no Brasil que faz divisa com dois estados, São Paulo e Santa Catarina.



Figura 3 – Mapa da RMC com destaque para o núcleo urbano central

Fonte: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2010

Também possui uma característica peculiar por se localizar em um planalto pequeno, entre a serra do mar (a Leste), o segundo planalto ou planalto dos Campos Gerais (a Oeste), a Serra da Dona Francisca, separando os Estados do Paraná e Santa Catarina (ao Sul) e a Serra do Azeite, separando os Estados do Paraná e São Paulo (ao Norte). Isso cria um microclima específico, que segundo a classificação de Köppen é Clima Temperado Úmido.



Figura 4- Mapa de Relevo do Paraná

Fonte: PARANÁ, 2016

Segundo o Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil em 2014, desenvolvido pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em parceria com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e organizações públicas e privadas, a RMC possui o 4º maior Índice de Desenvolvimento Humano - Médio (IDH-M) do país (IPEA,2014). O IDH calculado pela PNUD considera três fatores: a longevidade das pessoas, escolaridade e renda média. Cada um desses fatores é avaliado em uma escala de 0 a 1 e dividida em 5 faixas: Muito baixo (de 0 a 0,499), Baixo (de 0,5 a 0,599), Médio (de 0,6 a 0,699), alto (de 0,7 a 0,799) e muito alto (de 0,8 a 1). A RMC pontuou com 0,783, entrando na faixa de IDHM Alto. As avaliações dos 3 fatores para a RMC foram: Renda 0.803, Longevidade 0.853 e Educação 0.701 (IPEA, 2014).

Apresentado na pesquisa de PIB Brasileiro de 2008, o PIB per capita, da região metropolitana de Curitiba era de R\$22.953,67 acima do PIB per capita brasileiro era de R\$15.240, sendo a 5ª maior economia do país (IBGE, 2008)

### 3.2 INSTITUTOS DE PLANEJAMENTO

Grande parcela de contribuição para esse valor de IDH é resultado de um planejamento integrado do desenvolvimento urbano da região. Com o fim da segunda guerra mundial e início de um processo de forte urbanização na década de 60, o então prefeito de Curitiba Ivo Arzua Pereira por meio da lei 2.660 de 01 de Dezembro de 1965 criou um órgão de planejamento, denominado Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba –

IPPUC (CURITIBA, 1965) - para acompanhar a elaboração de um projeto de plano urbanístico para o município de Curitiba. As atribuições principais do órgão são explicitada no Art. 1º:

**Artigo 1º** - Fica criado o instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, com a sigla IPPUC, (...) com as seguintes finalidades:

**I** - Elaborar e encaminhar ao Executivo anteprojeto de lei, fixando o Plano Urbanístico de Curitiba;

**II** - Promover estudos e pesquisas para o planejamento integrado do desenvolvimento do Município de Curitiba; (...)

**IV**- Desenvolver nos órgãos da Administração Municipal o sentido de racionalização do desenvolvimento do Município em todos os seus aspectos; (...)

**VI** - Coordenar o planejamento local com as diretrizes do planejamento regional ou estadual

Curitiba criou o seu primeiro Plano Diretor no ano de 1966, sob a lei 2.828 de 31 de Julho de 1966 (CURITIBA, 1966). Em 1967 a constituição federal instituiu em seu artigo 164 a criação de regiões metropolitanas, constituídas por municípios que independentemente de sua vinculação administrativa, integrem a mesma unidade socioeconômica, visando a realização de serviços comuns, sendo objeto da lei complementar 14 de 8 de julho de 1973, onde foi definida a Região Metropolitana de Curitiba (COMEC, 2016).

Através da Lei estadual 6.157 de 2 de Janeiro de 1974, o governador do Paraná Emilio Gomes instituiu a criação da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – COMEC - visando a realização de serviços comuns aos Municípios que integram a Região metropolitana de Curitiba. As atribuições definidas pela Lei 6157/74 em muito se assemelham com o papel do IPPUC, porém em seu artigo 23, foi definido que a função de planejamento da RMC fica a cargo do IPPUC (COMEC, 2016), garantindo-se assim uma uniformidade na exploração do solo.

### **3.3 EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL**

Em 2010 o município de São José dos Pinhais realizou um estudo denominado Plano Local de Habitação de Interesse Social – PLHIS em conjunto com a COMEC (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2010), buscando adaptar a expansão do município dentro do crescimento

esperado para a região. Desse estudo foram criados dois mapas, um com a localização de áreas possíveis de crescimento e outro com a previsão de aumento de crescimento populacional.

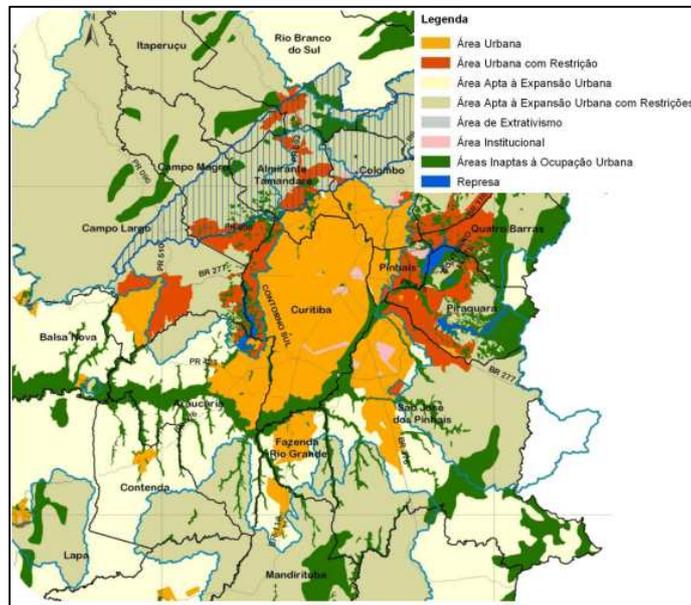


Figura 5 - Mapa das áreas aptas e inaptas da RMC

Fonte: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2010

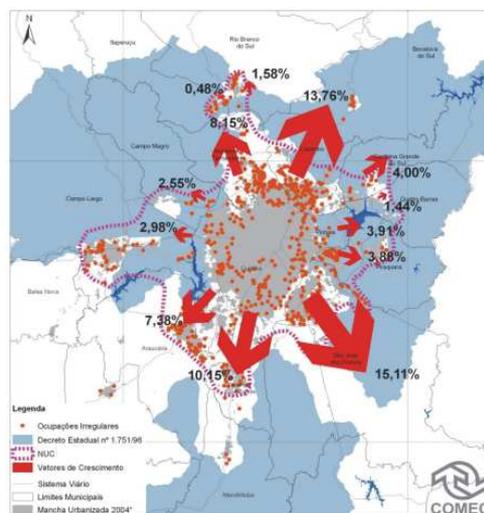
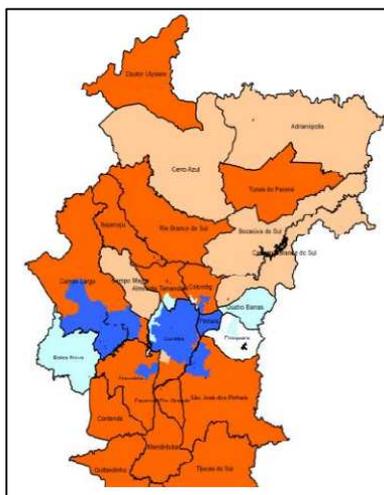


Figura 6 - Vetores de crescimento populacional da RMC

Fonte: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2010

Se obtém das imagens acima que o desenvolvimento da RMC não tem espaço para crescer na área central da RMC, forçando o crescimento para as extremidades, como é comprovado pela imagem dos vetores de crescimento.

A Dra. Marley Vanice Deschamps coordenadora do Observatório das Metrôpoles, organização ligada a Universidade Federal do Rio de Janeiro, em 2009 publicou um relatório denominado Vulnerabilidade Social das Regiões Metropolitanas Brasileiras (UFRJ, 2009), que faz um estudo de diversos fatores onde se classifica as regiões de maior vulnerabilidade social. Para Curitiba, o mapa de vulnerabilidade é apresentado abaixo, onde áreas em azul são menos vulneráveis e áreas em laranja mais vulneráveis, com preto em nível extremamente vulnerável.



*Figura 7 - Grau de Vulnerabilidade social, segundo as áreas de expansão da RMC*

Fonte: UFRJ, 2009

Como pode-se observar, as áreas de expansão da cidade coincidem com as áreas mais vulneráveis, justificando-se a implantação de programas como o Minha Casa, Minha Vida nessas regiões.

Cabe ao IPPUC a atribuição de revisão do plano diretor a cada década, onde orienta, ordena e disciplina o crescimento da Cidade, através dos instrumentos de regulação que definem a distribuição espacial das atividades. O próximo plano diretor de Curitiba, para a década de 2014 a 2024 será apresentado a Câmara Municipal em Março de 2015 para votação e criação da nova lei de plano diretor. A partir dessa revisão, novas áreas devem ser previstas para a expansão da habitação na RMC, de forma ordenada e atendendo as demandas dos municípios, favorecendo a vida de seus habitantes.

#### 4. MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A geração de energia elétrica no Brasil é uma atividade controlada pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia federal vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada pela lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996 (BRASIL, 1996). Cabe a ANEEL segundo parágrafo I do art. 3º da referida lei - “implementar as políticas e diretrizes do governo federal para a exploração da energia elétrica e o aproveitamento dos potenciais hidráulicos”, ou seja, qualquer exploração ou geração de energia só pode ocorrer com o aval na ANEEL.

No estado do Paraná e em específico na cidade de Curitiba, a concessionária de energia é a Companhia Paranaense de energia – Copel – que foi criada através do decreto nº 14.947 de 26 de outubro de 1954, onde especificava a Copel com empresa de geração, distribuição e aproveitamento hídrico das águas do Paraná (PARANÁ, 1954). Atualmente a Copel gera, transmite e distribui eletricidade para o Sistema Interligado Nacional – SIN.

No sítio do Operador Nacional do Sistema, órgão que administra o SIN, explica como (ONS 2016): “Com tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, o sistema de produção e transmissão de energia elétrica do Brasil é um sistema hidrotérmico de grande porte (...) O Sistema Interligado Nacional é formado pelas empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Apenas 1,7% da energia requerida pelo país encontra-se fora do SIN”. Ou seja, praticamente toda geração de energia no país está interligada e dentro de um conjunto chamado matriz energética.

Por definição, matriz energética é a representação das diversas fontes de geração de energia elétrica de um determinado país ou região. Segundo informações obtidas do BIG – Banco de Informações de Geração, no sítio da Aneel (ANEEL, 2015), a matriz energética brasileira para geração de energia elétrica pode ser assim definida:

Tabela 1 - Fontes de Energias Exploradas no Brasil

Origem	Definição
Fóssil	Geração de energia através da queima de combustíveis fósseis
Biomassa	Geração de energia através da queima de bagaço de plantas. Alternativa ao combustível fóssil
Nuclear	Geração de energia através do calor residual da quebra de átomos
Hídrica	Geração de energia através do movimento de queda de corpos hídricos
Eólica	Geração de energia através da passagem de vento por pás de uma turbina
Solar	Geração de energia através da radiação solar

Fonte: ANEEL, 2015

O Brasil possui no total 4.316 empreendimentos em operação, totalizando 142,605 GW de potência instalada. Está prevista para os próximos anos uma adição de 41,578 GW na capacidade de geração do país, proveniente dos empreendimentos atualmente em construção e em empreendimentos com construção não iniciada. A título de curiosidade, em Outubro/15 os estados unidos possuíam um parque energético 312,797 GW (EIA, 2015).

*Tabela 2 - Fontes Energéticas utilizadas no Brasil - Fase de Operação*

<b>Fontes energéticas utilizadas no Brasil - Fase: Operação (Out/15)</b>			
Origem	Quantidade	Potência Outorgada (GW)	%
Fóssil	2316	27,147	19,04
Biomassa	509	13,837	9,70
Nuclear	2	1,990	1,4
Hídrica	1190	92,906	65,15
Eólica	274	6,700	4,7
Solar	25	0,025	0,02
<b>TOTAL</b>	<b>4316</b>	<b>142,605</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2015

*Tabela 3 - Fontes energéticas utilizadas no Brasil - Fase de operação, construção e Outorga*

<b>Fontes energéticas utilizadas no Brasil - Fase: Operação + Construção + Outorga (Out/2015)</b>			
Origem	Quantidade	Potência Outorgada (GW)	%
Fóssil	2434	35,132	19,08
Biomassa	561	15,941	8,66
Nuclear	3	3,340	1,81
Hídrica	1412	110,944	60,24
Eólica	734	17,658	9,58
Solar	65	1,168	0,63
<b>Total</b>	<b>5209</b>	<b>184,183</b>	<b>100</b>

Fonte: ANEEL, 2015

Ou seja, após a construção de todas as fontes geradoras de energia elétrica que estavam outorgadas em Out/15, o montante de energia produzida de origem solar saltará de 0,025 para 1,168 GW (um aumento de 46 vezes o parque atual) porém a participação na matriz energética aumentará de 0,02% a 0,63%, um aumento de apenas de 4 vezes. Apesar de um acréscimo fenomenal do potencial de energia solar no Brasil, a representatividade dentro da matriz energética não crescerá na mesma proporção.

A fonte de energia que terá uma expansão significativa será a energia eólica, que sairá de 4,7% da matriz para 9,58%, praticamente dobrando a sua participação. Esse conjunto de

informações deixa nítido que o esforço em diversificar a matriz solar brasileira não está entre as prioridades do governo federal, uma vez que mesmo com o início de novas gerações de eletricidade, a matriz continuará sendo predominantemente hidrelétrica e térmica, com aproximadamente 80% do total de geração.

Para expansões futuras, o potencial hidrelétrico brasileiro já está bastante restrito, com as bacias próximas dos grandes polos consumidores já praticamente exploradas em sua totalidade, de forma que o potencial hídrico atual é concentrado nas regiões nordeste e norte, onde se encontram os grandes rios da Amazônia.

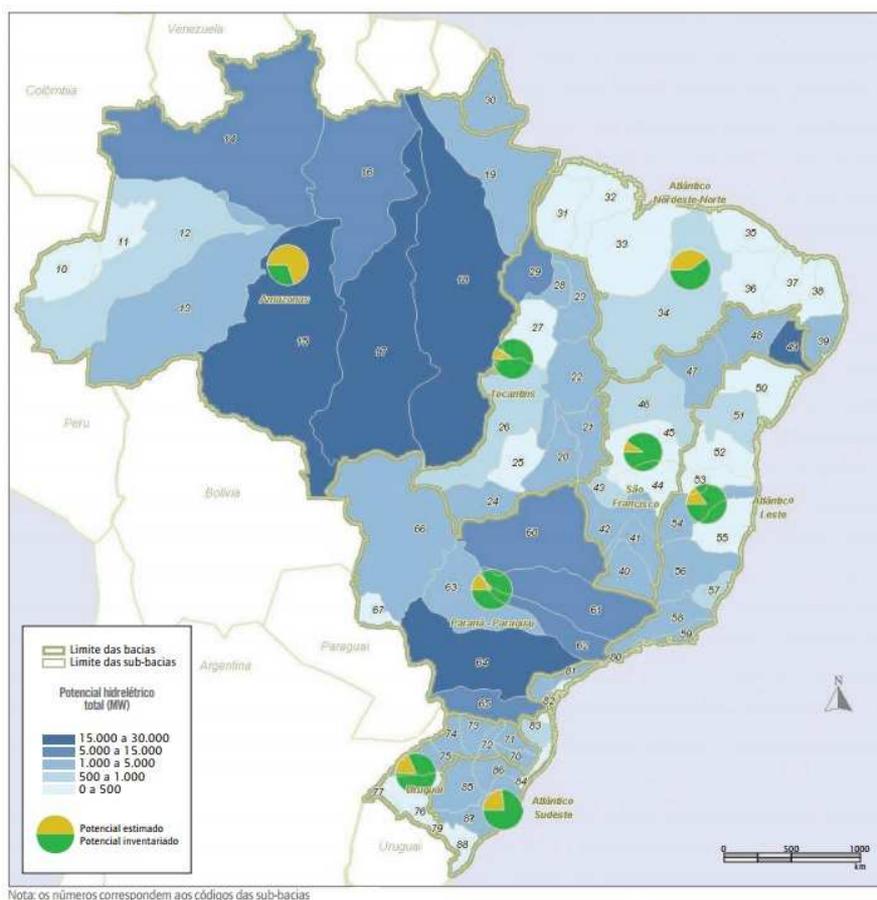


Figura 8 - Mapa de disponibilidade hidrelétrica brasileira

Fonte: ANEEL, 2002

Com um potencial gerador tão distante das unidades consumidoras, o custo de instalação de linhas de transmissão é elevado, o que encarece a tarifa, e só compensa se a quantidade gerada for elevada, como é o caso da Usina de Belo Monte, uma hidrelétrica gigantesca construída no Rio Xingu, sendo a terceira maior hidrelétrica do mundo, atrás apenas de Itaipu (Brasil/Paraguai) e Três Gargantas (China.) A Usina de Belo Monte, mesmo tendo um potencial gigantesco, possui um elevado passivo ambiental, já que o reservatório de

516km<sup>2</sup> atinge comunidades indígenas e ribeirinhas ao Rio Xingu que sofreram com o armazenamento de água da represa durante o período de seca. Com isso o risco do projeto aumentou e consequentemente o custo do MW vendido pela usina (ELETROBRAS, 2009).

Segundo estimativas do Ministério de Minas e Energia, para o ano de 2030 (MME, 2007), 23% da demanda de energia elétrica será de residências, e 21% do setor comercial e de serviços. De uma forma geral, ambos os setores, em função de suas atividades, podem ser atendidos pela geração própria de energia, com a utilização de painéis fotovoltaicos ou turbinas eólicas diretamente nas estruturas que utilizarão a energia. Essa geração de eletricidade local possui um outro benefício ao se reduzir a necessidade de transmissão a longas distâncias, e em consequência diminui as perdas de sistema (que ocorrem na transmissão) o que em 2030 é prevista para ser de 13% do total de eletricidade gerada.

O acréscimo de energia solar ainda auxiliará na redução de custos da tarifa do SIN, pois após os grandes blackouts que assolaram o país na última década (TERRA, 2009) a solução adotada pelo poder público foi a criação de novas usinas termelétricas, por serem mais baratas e rápidas de construção, porém com um custo de geração mais alto (EBC, 2013).

## 5. ENERGIA SOLAR

Segundo o engenheiro pesquisador Mukund R. Patel, Ph.D., P.E em seu livro *Wind and Solar Power Systems*, 1999 (Patel, 1999), A geração de energia solar pode ocorrer de duas maneiras: Aquecimento solar e energia fotovoltaica. O aquecimento solar é utilizado para aquecer água ou gases, evitando-se utilizar eletricidade e fontes fósseis para se ter água quente. A energia fotovoltaica produz energia elétrica diretamente dos raios solares.

### 5.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Energia fotovoltaica (FV), popularmente conhecida como energia solar fotovoltaica, é um sistema de geração de energia elétrica por meio da incidência de raios solares sobre uma placa vítrea, acoplada a um sistema de células semicondutoras, que convertem a radiação solar em corrente elétrica contínua, sem possuir partes móveis ou interferência operacional (Patel, 1999).

É um sistema de geração classificado como de energia renovável, uma vez que não precisa ser abastecido com um combustível e a fonte de geração é considerada inesgotável. Ao contrário das energias renováveis, temos as energias não renováveis, que são obtidas através da queima de combustíveis fósseis (petróleo, gás, minerais, etc.), usualmente ricos em carbono nas suas composições. (IPCC, 2014).

Energia FV possui diversas vantagens sobre outros modos de geração de eletricidade. De acordo com Patel (1999), os benefícios tradicionais de se usar energias renováveis frente aos benefícios não tradicionais, são:

*Tabela 4 - Comparativo de benefícios da energia fotovoltaica*

Benefícios tradicionais	Benefícios não tradicionais
Pequeno intervalo de tempo entre o projeto, instalação e <i>startup</i> de uma nova planta	Redução na emissão de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub>
Alta modularidade; A economia da planta não é função de dimensionamento total	Redução de perda de energia em linhas de transmissão e equipamentos
Geração de energia atende bem a demanda de pico de energia	Prolongamento da vida útil dos equipamentos de distribuição de energia
Estrutura estática: Sem partes móveis ou barulhos	Menor investimento inicial

Grande geração de energia por unidade de peso	
Vida longa com pouca manutenção (visto a ausência de partes móveis)	
Mobilidade e portabilidade visto o peso leve	
Isolante térmico: pode ser utilizado como cobertura	

Fonte: PATEL, 1999

Ainda de acordo com Patel (1999), Energia FV possui uma grande vantagem econômica por ser modular, ou seja, a quantidade de geração de energia, e conseqüentemente o investimento necessário, pode ocorrer em fases, conforme a necessidade de geração de eletricidade. Pode-se acrescentar novas placas, aumentando a capacidade de geração de energia conforme o aumento de demanda por eletricidade acontece.

Essa é uma vantagem competitiva da energia FV frente aos outros modelos de geração de energia, principalmente frente as energias hídricas e fósseis, que não são modulares e o investimento necessariamente deve ocorrer em uma única fase inicial, mesmo que a demanda atual seja menor que a capacidade de geração, obrigando a se basear em projeções (que podem não ocorrer) o que aumenta o risco do negócio, tornando mais caro, e inviabiliza a sua geração para pequenas demandas.

Na geração de energia FV não se precisa construir uma estrutura grandiosa para uma demanda que hoje é pequena, diminuindo o investimento inicial e como consequência reduz os riscos e custos de implantação do projeto. Outro fator econômico de vantagem para as energias renováveis é que os custos de produção das energias tradicionais (fóssil, hídrica e nuclear) tendem a encarecer com o passar do tempo, já que os preços sofrem reajustes inflacionários e os recursos estão se exaurindo no planeta. Já as energias renováveis tendem a diminuir seus custos com o tempo, uma vez que o desenvolvimento de novas tecnologias diminui os custos de produção (Patel, 1999).

O Custo de produção de 1 Watt por meio de energia fotovoltaica hoje é de aproximadamente U\$0,36, segundo o jornal de negócios britânico The Economist (2015). Esse custo está caindo de forma acelerada desde o início da exploração de energia fotovoltaica comercialmente em 1977, quando o custo do Watt era de U\$76,77, inviabilizando a sua utilização fora de centros de pesquisa.

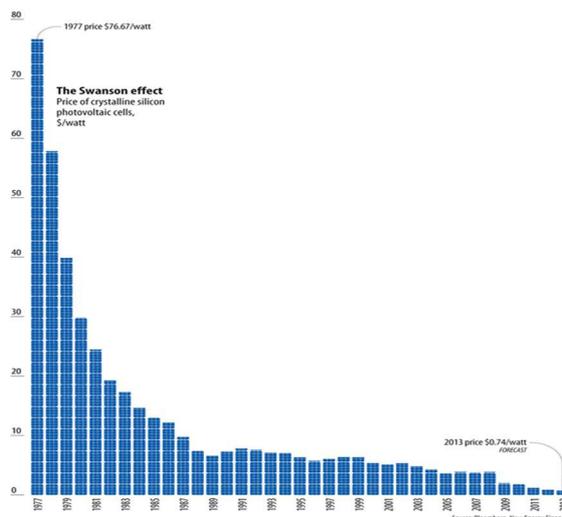


Figura 9 - Histórico de preço de geração (em US\$/W)

Fonte: ECONOMIST, 2015

Porém, em seu estudo, Patel (1999), explica que, mesmo tendo diversas vantagens competitivas, o critério mais importante para a viabilidade de geração de energia FV é a quantidade total anual de incidência solar. Dias com menos horas de sol e a muitas nuvens são os principais fatores prejudiciais a geração de energia. Ao contrário do pensamento popular, dias frios não interferem no potencial de energia gerado, ao contrário, auxiliam a conversão para que seja mais eficiente, melhorando a geração.

## 5.2 PROGRAMA SWERA

A Organização das Nações Unidas (ONU), por meio de seu órgão de programas ambientais - UNEP (*United Nations Environment Programme*) visando desenvolver a ideia da utilização de energias renováveis, criou em 2001 um projeto para aumentar a disponibilidade e acessibilidade informações de alta qualidade sobre recursos solares e eólicos. O programa denominado SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) contou com a participação de diversos países e funcionou até 2011, chegando ao fim com a emissão de um relatório final. Os dados obtidos de todos os parceiros do programa estão disponíveis na página <https://maps.nrel.gov/swera> (ONU, 2011).

No Brasil, o parceiro do projeto SWERA foi o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão do Ministério da Ciência e Tecnologia, que utilizou dados obtidos de dois satélites GOES-EAST no período de 1995 a 2005 para a elaboração do Atlas Solarimétrico

Brasileiro, publicado em 2006 e que ocupa a função de ser a principal referência sobre a incidência solar no território nacional. (INPE, 2006)

Globalmente, o país com o maior percentual de energia de fontes renováveis na sua matriz energética é a Alemanha, que de acordo com a AGEB, uma associação de companhias elétricas alemãs, publicou em 2015 que a matriz energética alemã para 2014 foi:

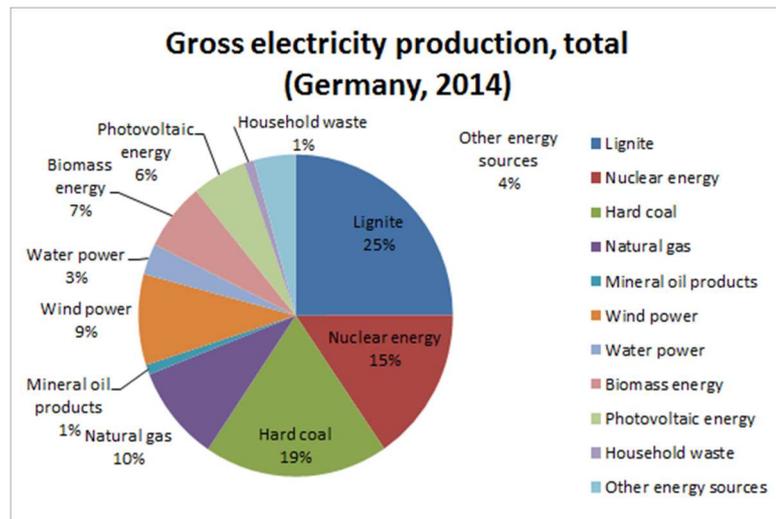


Figura 10 - Matriz Energética da Alemanha para o ano de 2014

Fonte: AGEB, 2015

Energia fotovoltaica ocupa 6% da matriz, um valor considerável para uma tecnologia recente. O mapa Solarimétrico alemão é apresentado na imagem abaixo:

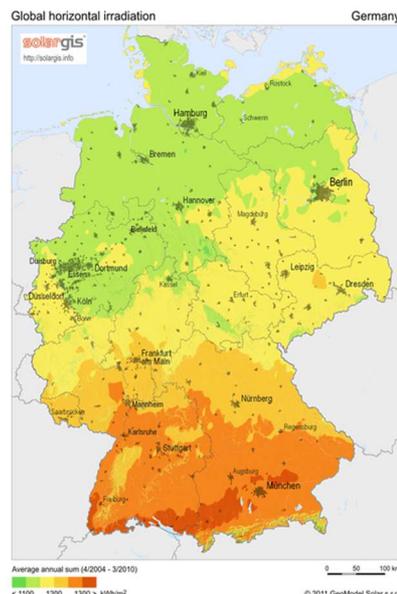


Figura 11 - Mapa Solarimétrico para a Alemanha

Fonte: SOLARGIS, 2012

Já o mapa de radiação solar anual para o Brasil é apresentado abaixo:

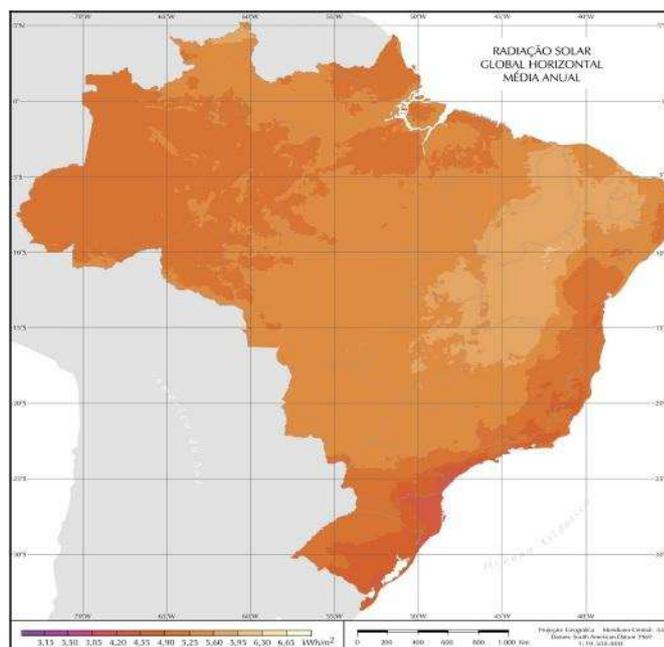


Figura 12 - Mapa Solarimétrico para o Brasil

Fonte: INPE, 2006

Por meio da comparação dos mapas, é possível visualizar que enquanto na Alemanha, país com a maior porcentagem de geração de energia solar em sua matriz energética, as regiões que mais recebem irradiação solar possuem a incidência anual média de 1,3 kWh/m<sup>2</sup>, no Brasil a menor incidência ocorre na região sul, no leste dos estados do PR e SC, com uma incidência anual média é de 4,0 kWh/m<sup>2</sup>. Isso demonstra que o Brasil está localizado em uma faixa latitudinal benéfica para o uso desse tipo de geração de energia.

### 5.3 A TECNOLOGIA DA ENERGIA FOTOVOLTAICA

A tecnologia por trás da geração de energia FV foi descoberta pelo físico francês Becquerel em 1839, porém permaneceu em laboratório até 1954, quando os laboratórios Bell produziram a primeira célula solar. A aplicação em atividades no espaço amadureceu a tecnologia, que é a principal fonte de energia para satélites (Patel, 1999).

Segundo Patel (1999), algumas características precisam ser consideradas ao se projetar um arranjo de células solares, de modo que se possa otimizar o uso da tecnologia, minimizando-se assim o investimento e maximizando a produção. Os fatores de maior influência no design de arranjo de células solares são:

- A intensidade solar

- A angulação solar
- Efeito de sombras
- A temperatura de operação

INTENSIDADE SOLAR - A geração de eletricidade dos módulos FV diminui com uma menor intensidade solar, porém com pequena redução de voltagem. Na faixa de radiação entre 500 a 1000 Watts/m<sup>2</sup> (faixa que ocorre em praticamente toda superfície da Terra), a eficiência da foto-conversão é praticamente constante. Isso significa que a redução da geração de energia em latitudes maiores não é em função de uma característica das células e sim pela redução de radiação atingindo as placas (menos horas de sol com uma Angulação elevada).

ANGULAÇÃO SOLAR - A produção energética de uma célula é uma função da inclinação solar. A produção de eletricidade não é uniforme ao longo do dia, sendo que, pela manhã e ao fim da tarde são os períodos de menor geração de energia, enquanto ao meio dia é o horário de maior produção.

EFEITO DE SOMBRA - Sombras são perigosas para células fotovoltaicas. No local onde existe sombreamento, a célula não produz voltagem, porém continua conectada em paralelo à corrente, atuando como uma carga, gerando calor e perdas. As outras células precisam então produzir uma voltagem maior para compensar a perda. Voltagem maior em células saudáveis, significa uma corrente e vida útil menores. A técnica utilizada para eliminar esse problema é a utilização de *by-passes*, subdividindo o comprimento do circuito.

EFEITO DE TEMPERATURA - Corrente e voltagem são influenciados pela temperatura em que o sistema está operando. Em termos gerais, quanto maior a temperatura, menor é a energia produzida (devido ao calor das moléculas de cristal e perdas de elétrons para o ambiente). A força máxima em altas e baixas temperaturas ocorrem em diferentes voltagens, e um bom design de sistema deve extrair bastante energia em ambas as situações. Segundo fórmula apresentada por Patel, a cada 1°C de aumento na temperatura de operação, a geração de energia decresce em 0,45%.

O modelo de geração possui como característica a geração de energia em corrente contínua, enquanto as nossas redes (grids) são em corrente alterenada, de forma que sem o uso de um inversor de corrente devidamente dimensionado, se torna impossível conectar os utensílios domésticos e iluminação as placas fotovoltaicas. Existem inversores grid-tie, que

além de inverterem a corrente, conectam-se com o grid, permitindo o fornecimento de eletricidade para a rede quando a oferta é maior que a demanda e também possibilita a aquisição de eletricidade da rede quando a demanda for maior que a oferta, garantindo-se assim que a rede seja alimentada corretamente em qualquer momento (PATEL, 1999).

#### **5.4 ARMAZENAMENTO DE ENERGIA**

Segundo Patel (1999), o desafio do futuro da energia fotovoltaica é encontrar uma maneira de armazenar a energia gerada durante o dia e utilizá-la durante a noite ou quando necessária. A maneira mais eficiente de se armazenar essa energia é com o uso combinado de placas fotovoltaicas e baterias ou volantes de inércia.

O uso de baterias não é obrigatório para a geração de energia FV, pois placas fotovoltaicas, após a resolução 482 da ANEEL podem ser ligadas a rede de distribuição de concessionárias (grid) ou trabalhem independente (off-grid) (ANEEL, 2012). A escolha entre ligar ou não o sistema ao grid é meramente econômica, porém em ambos os casos, é possível mesclar o sistema com baterias, o que garante uma usabilidade maior.

A eletricidade é a maneira mais versátil de se usar energia, uma vez que pode ser convertida de forma eficiente em outros tipos de energia. A conversão de eletricidade em energia mecânica pode ser obtida com uma eficiência próxima de 100% e em calor com eficiência de 100%. Por outro lado, converter calor em eletricidade é muito ineficiente, com uma taxa média de conversão próxima a 40% para uma usina termoelétrica típica de queima de recursos fósseis (Patel, 1999).

Uma maneira bem consolidada de armazenamento de eletricidade é com o uso de baterias.

#### **5.5 BATERIAS**

Bateria é um dispositivo desenhado para armazenar energia em sua forma eletroquímica. É o dispositivo com maior abrangência em armazenamento de energia e é utilizado em diversas aplicações, como energizar desde componentes eletrônicos até pequenos eletrodomésticos ou ainda automóveis.

Existem dois tipos de bateria, as unidirecionais (que apenas descarregam, não sendo possível recarregá-las) e as bidirecionais (que podem ser recarregadas).

Segundo Patel (1999), dentre as bidirecionais, existem ao menos 6 métodos eletroquímicos largamente difundidos:

- 1) Chumbo-ácido (Tecnologia mais econômica)
- 2) Níquel-Cádmio (Possui um defeito de “efeito memória”)
- 3) Níquel-metal (Sensível a temperaturas)
- 4) Íons de lítio (Segura, contém lítio metálico - perigoso para o meio ambiente)
- 5) Polímeros de lítio (contém lítio metálico)
- 6) Zinco - ar (requer um com gerenciamento de ar)

Cada tipo de bateria eletroquímica possui vantagens e desvantagens. Atualmente, as baterias mais abrangentes para a população geral são as de íons de lítio, pois entregam uma quantidade de energia muito boa com um custo que está cada vez mais barato, já que novas técnicas e tecnologias estão em desenvolvimento. A desvantagem de ser perigosa ao meio ambiente caso descartada de maneira errada é compensada com programas de reciclagem dos componentes e baterias que as principais fabricantes já executam em escala global.

Existem diversas características que influenciam no design e usabilidade de baterias; Para um consumidor final, as características mais importantes de se compreender são: Vida útil e temperatura.

As baterias possuem uma falha ao serem usadas excessivamente. Esta é associada ao desgaste do eletrodo, devido aos ciclos de carga/descarga. O número de ciclos máximos sem a perda de potência ou segurança depende dos eletroquímicos envolvidos. A vida útil de uma bateria é medida em número de ciclos que pode fornecer antes da falha (Patel, 1999).

Baterias são projetadas para trabalhar em uma certa faixa de variação de temperatura, já que altas temperaturas aumentam a resistência interna, ineficiência de uso, diminuí a capacidade de carga e aumenta a taxa de descarga automática. Os danos oriundos de calor podem resultar em falha de células ou até mesmo falha da bateria. Dependendo do arranjo projetado, uma célula que falha poderá forçar as outras células danificando todas ao longo do tempo.

Em abril de 2015, a fabricante de veículos elétricos TESLA Motors, apresentou uma bateria para uso residencial como solução única doméstica, simples e fácil de adquirir. Com o nome de TESLA Powerwall, a bateria possui dimensões pequenas (18 x 86 x 130cm) e pode ser instalada em uma parede. Com uma capacidade de 7kWh e eficiência de 92%, atende à demanda doméstica noturna da maioria dos domicílios (TESLA, 2015).

## 5.6 OUTRAS FORMAS DE ARMAZENAMENTO

Patel também estudou o armazenamento de energia por outros meios além dos eletroquímicos. Existem novas tecnologias de armazenamento de energia por meio de energia cinética, ou energia de movimento, que está se popularizando globalmente através de carros de corrida com o nome de KERS (*Kinetic Energy Recuperation System*) e que para uso residencial pode ocorrer com a utilização de volantes de inércia.

De acordo com Patel (1999), O funcionamento de volante de inércia é semelhante a um moinho de vento ou de água, tendo como princípio a aplicação de uma força externa rotacionando uma “roda” que transfere essa energia para um eixo que produz força. Os volantes de inércia modernos são caixas metálicas resistentes com um vácuo interno, onde existe uma “roda” de material composto (usualmente fibra de vidro ou de carbono) com eixos ligando para os lados externos do volante e dentro de um campo magnético, o que diminui consideravelmente o atrito, conforme apresentado na figura abaixo:

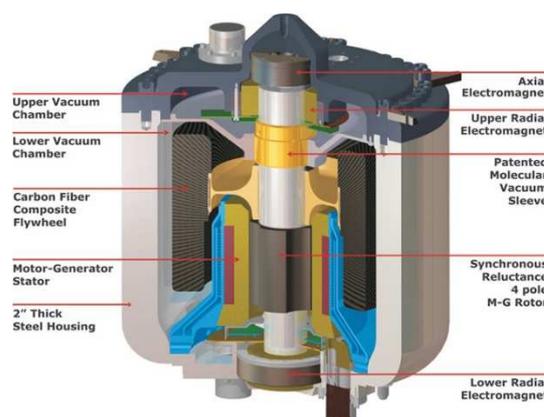


Figura 13 - Desenho esquemático de um volante de inércia moderno

Fonte: POWER-THRU, 2015

O volante de inércia é rotacionado por um motor elétrico que está ligado em um lado do eixo e que é alimentado pela placa fotovoltaica. Ao se gerar energia pela placa FV, o motor acelera o disco de material composto, que por sua vez aumenta a velocidade rotacional e resulta em um acúmulo de energia, estocando-a em forma de energia cinética. Com a associação dos eletroímãs e o vácuo interno a peça, o atrito é reduzido a próximo de zero, garantindo-se assim que a perda de energia interna seja praticamente nula. Ao pôr do sol, a geração de eletricidade cessa e com isso o volante de inércia se conecta na outra extremidade a um gerador que recebe a energia acumulada através de um eixo, produzindo eletricidade da mesma maneira que uma turbina eólica ou uma turbina de hidrelétrica.

Como o atrito é próximo de zero, o desgaste do volante de inércia é apenas o desgaste do material composto, que neste caso é a tensão limite de ruptura do material, fazendo com que a vida útil do volante de inércia seja superior a vida útil de uma bateria eletroquímica (Patel, 1999).

Energia FV associada ao uso de baterias e volantes de inércia podem ser utilizados para atender a demanda elétrica de uma residência unifamiliar durante o período noturno, o que garante que um sistema otimizado, armazena energia durante o dia e utiliza durante a noite, minimizando ou até mesmo evitando, o uso de energia do grid.

## 6. ANÁLISE DE VIABILIDADE AMBIENTAL DA ENERGIA FV

Desde o início da industrialização e a invenção dos motores a combustão no Séc. XVII, os combustíveis fósseis (derivados do petróleo, xisto, gases fósseis) são a principal fonte de energia do planeta. O uso contínuo de combustíveis fósseis é associado ao aumento do aquecimento global e a causa das mudanças climáticas. Esses combustíveis, também são conhecidos como energias não renováveis ou aquelas em que os recursos não são naturalmente repostos. (NRC, 2010)

Os combustíveis fósseis em seu processo de combustão emitem alguns gases que de acordo com diversos estudos científicos existe uma relação entre esses gases e um aumento da temperatura atmosférica devido ao bloqueio à radiação térmica refletida naturalmente pela Terra, aumentando-se assim o calor e a energia absorvida na atmosfera, assim como ocorre em uma estufa. Por esse motivo, esses gases receberam a alcunha de gases do efeito estufa ou gases estufa. Os principais são: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O) e Clorofluorcarbonos (CFCs) (IPCC, 2014).

A emissão de carbono é um bom termômetro da geração de energia, uma vez a maior parte das matrizes energéticas mundiais são baseadas na queima de combustíveis fósseis (IPCC 2014). Essa emissão em nível global foi estimada para o período de 1900 a 2011 por cientistas do *Oak Ridge National Laboratory*, nos Estados Unidos. A curva de emissão anual é apresentada na figura abaixo, onde se percebe facilmente a aceleração no aumento da quantidade de carbono despejado na atmosfera nas últimas décadas.

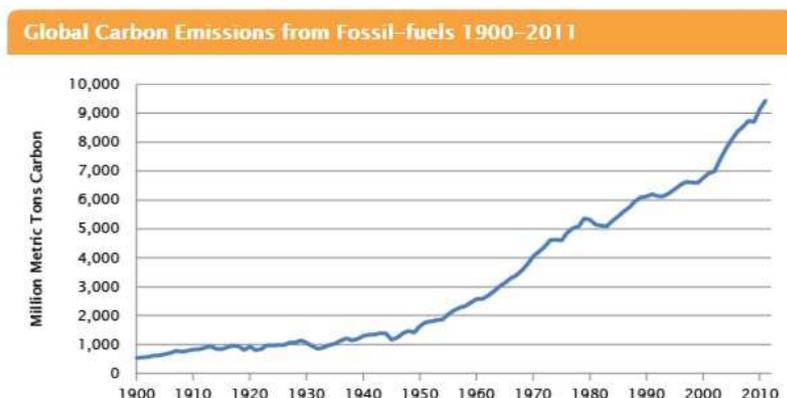


Figura 14 - Emissão global de carbono por combustíveis fósseis de 1900 a 2011

Fonte: BODEN *et al*, 2015

O mesmo estudo também mapeou a origem global da emissão de carbono para o ano de 2011, apresentado na figura abaixo:

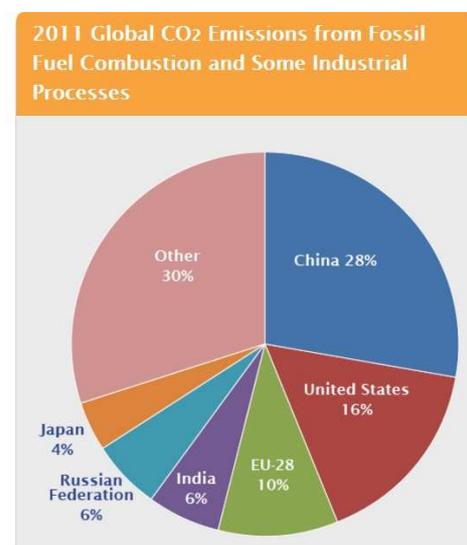


Figura 15 - Emissão global de CO<sub>2</sub> em 2011 por país emissor

Fonte: BODEN *et al*, 2015

Os principais emissores de CO<sub>2</sub> no planeta são China e Estados Unidos, as duas maiores economias, seguidos do bloco de 28 países da Comunidade Europeia. Esses *players* em conjuntos são responsáveis por 54% de toda emissão de carbono na Terra, ao mesmo tempo que, ironicamente são as principais economias e possuem recursos para investir em novas tecnologias.

A energia FV é classificada em um grupo de energia denominado de energias renováveis, junto com as energias eólicas, hídricas, das ondas do mar, e geotérmicas, por coletarem recursos que são naturalmente repostos na escala de tempo da humanidade (Ellabban *et al*, 2014).

Energias renováveis possuem um grande apelo ecológico, pois além de não contribuírem na emissão dos gases do efeito estufa, não interferem de maneira severa na composição da atmosfera e em pouco perturbam o ambiente onde estão inseridos.

A geração FV possui como impacto socioambiental apenas a sua inserção física, pois, caso seja instalada como uma usina solar, demandará de uma área muito grande e com isso concorre com a agricultura e ocupação humana. Uma maneira de se mitigar esse problema é com a instalação em telhados e fachadas de construções existentes, não necessitando destinar uma área específica e sendo possível mesclar com a arquitetura das cidades. Além disso, a

instalação da energia FV localmente reduz também na necessidade de construção de linhas de transmissão (EUREC, 2002), evitando-se as perdas de energia durante a transmissão.

Outra vantagem das energias renováveis, em especial a energia solar, é a disponibilidade em todas as regiões geográficas do planeta, em maior ou menor escala, mas de uma forma que é possível a sua utilização para o uso residencial, comercial, industrial e rural. (IEA, 2012)

Do ponto de vista ambiental, fica muito nítido que a utilização de energia FV é uma excelente alternativa, já que praticamente não possui impactos socioambientais e em nada prejudica a já afetada atmosfera.

## 7. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA ENERGIA FV

### 7.1 PARÂMETROS DE CÁLCULO

Visto a complexidade do tema, com variáveis diversas (horas de sol diárias, incidência variável de sol ao longo do ano, taxas de inflação futura, reajustes tarifários, oscilação do dólar, etc.) Para esta análise de viabilidade será estudado um cenário simplificado, com os seguintes parâmetros:

- Família de baixa renda, residente em uma habitação do PMCMV
- Residência situada na Região Metropolitana de Curitiba/PR
- Consumo mensal médio de 120kWh/mês (CIDADES, 2009)
- Horas diárias de sol (média anual) 10h/dia
- $F_p$  = Fator de Potência = 70% (sistema chinês)

Os parâmetros da geração fotovoltaica são:

- Vida útil da bateria = 10 anos = 120 meses (TESLA, 2015)
- Placas fotovoltaicas = 4 placas de 250W (PORTAL SOLAR, 2015)
- Inversor de energia 1kW = 1 unidade (PORTAL SOLAR, 2015)

Custos aproximados de um Kit de geração de energia para uma demanda de 100kWh/mês (PORTAL SOLAR, 2015):

- A) 1 Pannel 250W – R\$1.000
- B) 1 Inversor 1kW – R\$1.000
- C) 1 Tesla Powerwall – US\$3.500 ou R\$14.000 – Valor de dólar = R\$4,00 em 20/10/2015 (TESLA, 2015)
- D) Mão de obra de instalação – R\$4.000
- E) Custo total de sistema grid-tie + bateria = R\$23.000 ( $E = 4xA + B + C + D$ )**
- F) Custo total do sistema grid-tie (sem bateria) = R\$9.000 ( $F = 4xA + B + D$ )**

O custo de fornecimento de energia do Grid, para Fevereiro de 2016, segundo a Resolução homologatória nº 1.897, de 16 de junho de 2015 da Aneel, a tarifa, com impostos, do kWh para uma família Paranaense Categoria B1 atendida pela COPEL, que consome 120kW no mês é de R\$ 0,78020/kWh.

A premissa do estudo é que a família exemplificada acima decida por migrar de um sistema convencional de energia para a produção própria de energia FV. Será comparado o valor de aquisição (compra e instalação) de um sistema de geração de energia FV de onde será calculado um valor de custo de kWh levando-se em consideração a vida útil da placa e para o cenário de aquisição da bateria ou no caso sem bateria.

Para tal serão utilizadas as técnicas do Payback Simples e Valor Presente Líquido (VPL)

## **7.2 CÁLCULO DE VIABILIDADE**

A técnica do Payback simples ou prazo de recuperação do investimento se baseia na divisão do custo de implantação de um projeto dividido pelo prazo em que o investidor quer recuperar o capital investido, comparando-o com a tarifa vigente. Dessa ótica, o projeto é dito como viável quando a tarifa calculada é menor que a tarifa vigente.

Para esse trabalho é inferido que o que o prazo de retorno do investimento seja o tempo de vida útil da bateria, momento em que um sistema demandaria um novo investimento após o investimento inicial. De acordo com a pesquisa de preços realizada pelo autor, os custos de implantação são de R\$9.000 para um sistema sem baterias e R\$23.000 para um sistema com baterias.

### **A) CENÁRIO I – GRID-TIE (SEM BATERIAS)**

#### **a. Payback Simples**

Para se avaliar a viabilidade utilizando o mesmo modelo matemático, é necessário que os parâmetros sejam iguais. No cenário para a implantação do sistema sem as baterias, precisamos avaliar no mesmo período de vida útil com as baterias, que é definido pelo fabricante como sendo de 10 anos ou 120 meses. Tendo o consumo médio de 120kWh, o consumo total esperado para esse período será de  $= 120 \text{ meses} \times 120\text{kWh} = 14.400\text{kwh}$ .

O custo de implantação é R\$9.000, assim o custo do kWh é  $= 9.000/14.400 = \text{R}\$0,625/\text{kWh}$ , inferior a tarifa da rede da COPEL, demonstrando uma viabilidade.

Nessa conta simplificada, se percebe que existe uma viabilidade econômica, comparando-se a geração simples de eletricidade entre as fontes de geração, porém esse cálculo não reflete toda a veracidade de informações, pois assume que toda energia gerada

será vendida a concessionária, o que não é verdadeiro. Deve-se encontrar um percentual de utilização diária.

Renny Nakabayashi, (2015) em sua tese de mestrado estimou a curva de consumo elétrico de uma residência familiar e comparou com a curva de geração de eletricidade, chegando ao percentual de 54,8% de autoconsumo da energia gerada pelo sistema.

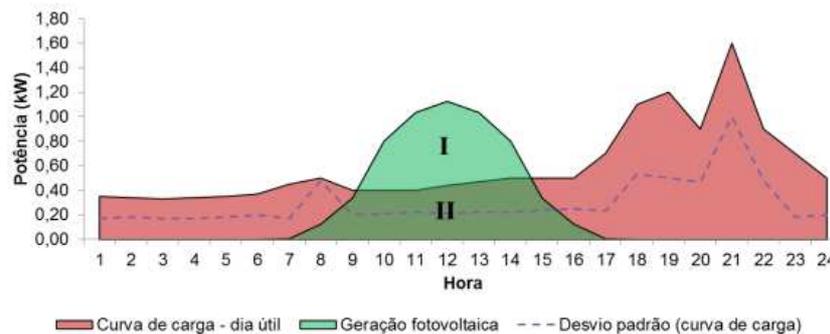


Figura 16 - Curva de carga vs. curva geração FV

Fonte: NAKABAYASHI *et al*, 2015

Na dissertação também é avaliado um percentual de desempenho do sistema. Assim como todo sistema elétrico e/ou eletrônico, a transmissão de eletricidade não é perfeita e perdas ocorrem no sistema (seja por fuga de carga ou calor). Como no estudo de Nakabayashi é avaliado um sistema alemão, considerado superior em desempenho frente ao chinês pelo autor, para este trabalho será considerado um Fator de Potência de 70%, visto que os componentes pesquisados e adotados neste trabalho são de origem chinesas por serem mais baratos.

Cada placa possuem a potência de 250W, o que significa que produzem 250Wh ou 0,25kWh. Como são 4 placas, a produção total de 1h é  $Wp = 1kWh$ . Durante as 10h de sol diárias médias e o percentual de autoconsumo de 54,8%, temos que o percentual fornecido de eletricidade pode ser calculado como:

$$fo = Hs \times Wp \times Fp \times (1 - 54,8\%) \quad (7.1)$$

Onde:

$fo$  = Energia fornecida

$Hs$  = Horas de Sol

$Wp$  = Potência do sistema

$Fp$  = Fator de potência

Logo, a energia fornecida é:

$$f_o = 10 \times 1 \times 0,7 \times (1 - 0,548)$$

$$f_o = 7 \times 0,452 = 3.164kWh$$

De acordo com a ANEEL em sua resolução 482 (ANEEL, 2012):

*Art. 7º, II - o consumo de energia elétrica ativa a ser faturado é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto tarifário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.*

Uma família que possui um consumo de 120kWh mensal equivale a uma aproximação de um consumo diário de 4kWh, de forma que subtraindo-se a energia vendida, ainda existe um consumo de eletricidade da concessionária de 0,866kWh.

Refazendo-se a conta de viabilidade para o sistema sem bateria, temos que:

Custo de implantação = R\$9.000

Consumo durante vida útil = 14.400kWh

Venda de energia = 120 x 30 x 3.164 = 11.390,4kWh

Consumo do Grid = 120 x 30 x 0.866 = 3.117,6kWh

A nova fórmula de payback simples é:

$$Pbs = \left( \frac{9.000}{14.400} \right) + \left[ \frac{\{(3.117,60 - 11.390,40) \times 0,78020\}}{14400} \right] \quad (7.2)$$

$$Pbs = 0,625 - 0.4466$$

$$Pbs = R\$0,1784/kWh$$

É válido ressaltar que a venda de energia elétrica entrou na conta do preço do kWh estimado pois o modelo matemático é simplificado e enquanto nos meses de verão o excesso será superior, nos meses de chuvosos e do inverno com dias menores, a geração também diminui. Como o crédito poderá ser utilizado em 36 meses, os meses de maior geração pagam o valor devido nos meses de menor geração.

#### **b. Valor Presente Líquido**

Como a viabilidade foi provada pelo payback Simples, não será realizado o VPL.

## B) CENÁRIO II – GRID-TIE + BATERIAS

### a. Payback Simples

O sistema com baterias não utiliza energia do Grid, uma vez que o fornecimento de eletricidade noturno é direto da bateria, que fornece 7kWh (TESLA, 2015), superior a demanda média de 4kWh, logo para o mesmo período de vida útil (10 anos), com o custo de implantação do sistema à R\$23.000, o custo do kWh =  $23.000/14.400 = R\$1,597/\text{kWh}$ , superior a tarifa cobrada pela COPEL, mostrando inviabilidade do sistema. O motivo pela elevada tarifa de geração é o custo da bateria, importada e comprada em dólares, representando 60% do preço.

### b. Valor Presente Líquido

Para o VPL, é necessária uma análise econômica para se tentar determinar uma taxa de inflação, que faz com o que o dinheiro perca valor ao longo do tempo.

O Banco Central Brasileiro (BC) periodicamente publica revisões da previsão de variação dos principais índices econômicos, como por exemplo o Índice de Preços ao Consumidor – Amplo (IPCA), que é o indicador de inflação utilizado pelo governo federal. Outros exemplos indicadores de inflação existentes são o IGP-M e o INPC.

*Tabela 5 - Previsão de Inflação período 2015 a 2020*

PREVISÃO DE INFLAÇÃO BANCO CENTRAL	
Ano	IPCA (%)
2015	10,71
2016	7,56
2017	5,95
2018	5,49
2019	5,23
2020	5,15

Fonte: BC, 2016

Previsões econômicas são complexas e dificilmente certas para períodos de tempo muito longos, de modo que tentar adivinhar a taxa de inflação para mais de 5 anos possui um grau de incerteza extremamente alto. Este trabalho se propõe a analisar a viabilidade econômica de um sistema de geração fotovoltaico e não a buscar uma taxa próxima de um cenário econômico longínquo. Além disso, o índice IPCA sendo um dos critérios para reajuste de preços ao consumidor, também influencia na tarifa de energia, ou seja, a variação

do dinheiro sofrida pelo sistema fotovoltaico, também será sofrido pela tarifa de energia, permitindo a simplificação.

Os valores para os anos de 2021 a 2015 serão considerados como a média ponderada dos valores de 2015 a 2020, onde o ano de 2020 o peso maior e 2015 o peso menor. Com isso o  $IPCA_{2021-2025} = 5,842\%a.a.$

$$VPL = FC_1 + \frac{FC_2}{(1+i)^{j+1}} + \frac{FC_3}{(1+i)^{j+2}} + \dots + \frac{FC_6}{(1+i)^{j+5}} \quad (7.3)$$

Fc1 = Capital inicial = valor do investimento

Fc2, Fc3...= Valor economizado de energia (receita)

I = Taxa de juros anual

J = 0

O Valor da receita é obtido a partir do valor economizado da geração de energia elétrico. Para cada ano, a tarifa será multiplicada inflacionada pelo valor do IPCA sequencialmente (2015 = Tarifa x IPCA2015 ; 2016 = Tarifa2015 x IPCA2016 ; etc.)

Com isso temos que para o período de 10 anos, os valores economizados estão na tabela abaixo.

*Tabela 6 - Tarifa elétrica 2016 a 2025 (previsão)*

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65	103.65
2017	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48	111.48
2018	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12	118.12
2019	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60	124.60
2020	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12	131.12
2021	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87	137.87
2022	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93	145.93
2023	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45	154.45
2024	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48	163.48
2025	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03	173.03

Fonte: O Autor, 2016

Com isso as tarifas estão acumuladas com a inflação prevista pelo Banco Central até 2020 e estimadas pelo autor de 2021 até 2025. Cada tarifa dessas é a receita 'FC' da fórmula 7.3.

O sistema não possui uma manutenção obrigatória definida, uma vez que não possui partes móveis e com isso não há o que quebrar, porém afirmar que não há manutenção nessa equação é o mesmo que dizer que não há risco de queimar uma célula por sombreamento, por exemplo. Um valor de contingencia de risco de manutenção será inserido como um valor

negativo na receita (desconto no lucro obtido). Esse valor é determinado em R\$10/mês para 2016, reajustados pelo IPCA.

A nova tabela de receitas reajustadas é apresentado abaixo:

*Tabela 7 - Tarifa elétrica 2016 a 2025 (reajustada com manutenção)*

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58	92.58
2017	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58	99.58
2018	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50	105.50
2019	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30	111.30
2020	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12	117.12
2021	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15	123.15
2022	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20	131.20
2023	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73	139.73
2024	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75	148.75
2025	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30	158.30

Fonte: O Autor, 2016

Com o auxílio do software Excel, o valor do VPL para cada mês em referência à Janeiro de cada ano entre 2016 e 2025 é apresentado abaixo, adotando-se como  $i$  da fórmula 7.3 a taxa de inflação IPCA.

*Tabela 8 – VPL mensal anualizado - 2016 a 2025*

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	86.07	80.02	74.40	69.17	64.31	59.79	55.59	51.68	48.05	44.67	41.53	38.61
2017	93.99	88.71	83.73	79.03	74.59	70.40	66.44	62.71	59.19	55.87	52.73	49.77
2018	100.01	94.81	89.87	85.20	80.76	76.56	72.58	68.80	65.22	61.82	58.61	55.56
2019	105.76	100.51	95.51	90.77	86.25	81.97	77.89	74.02	70.34	66.85	63.53	60.37
2020	110.65	104.54	98.77	93.32	88.17	83.30	78.71	74.36	70.26	66.38	62.71	59.25
2021	116.35	109.93	103.86	98.13	92.71	87.59	82.76	78.19	73.87	69.80	65.94	62.30
2022	123.96	117.12	110.65	104.55	98.78	93.32	88.17	83.30	78.71	74.36	70.26	66.38
2023	132.02	124.73	117.84	111.34	105.19	99.39	93.90	88.72	83.82	79.19	74.82	70.69
2024	140.54	132.78	125.46	118.53	111.99	105.81	99.97	94.45	89.23	84.31	79.65	75.26
2025	149.57	141.31	133.51	126.14	119.18	112.60	106.38	100.51	94.96	89.72	84.77	80.09

Fonte: O Autor, 2016

A partir desses VPL mensais anualizados, temos o VPL de cada ano, que é o valor de cada mês trazido para Jan do ano corrente com a taxa de IPCA. Os valores são apresentados na tabela abaixo:

Tabela 9 - VPL para cada ano (2016 a 2025)

Ano	VPL	Ano	VPL
2016	713.88	2021	1041.44
2017	837.15	2022	1109.56
2018	909.80	2023	1181.66
2019	973.78	2024	1257.97
2020	990.43	2025	1338.75

Fonte: O Autor, 2016

Assim, o cálculo do VPL do projeto se resume a equação:

$$\begin{aligned}
 VPL = & -23.000 + \frac{713.88}{(1 + 0,756)^1} + \frac{837.15}{(1 + 0,595)^2} + \frac{909.8}{(1 + 0,549)^3} + \frac{973.78}{(1 + 0,523)^4} \\
 & + \frac{990.43}{(1 + 0,515)^5} + \frac{1041.44}{(1 + 0,584)^6} + \frac{1109.56}{(1 + 0,584)^7} + \frac{1181.66}{(1 + 0,584)^8} \\
 & + \frac{1257.97}{(1 + 0,584)^9} + \frac{1338.75}{(1 + 0,584)^{10}}
 \end{aligned}$$

$$VPL = -23.000 + 406,53 + 329,06 + 244,79 + 180,99 + 124,09 + 65,93 + 44,34 + 29,81 + 20,03 + 13,46$$

$$VPL = -21.540,97$$

O VPL negativo significa que o investimento não é viável, ou que as receitas ao longo do tempo não pagam o investimento inicial. Os fatores que influenciam esse VPL negativo são:

- 1) O custo de implantação elevado;

Um investimento de R\$23.000 reais para uma família cuja renda é de até 5mil reais representa o salário de quase 5 meses, um valor inviável. Para ser viável, o custo de instalação necessita ser bem inferior.

- 2) Taxa de cambio muito elevada;

Como os insumos de geração fotovoltaica são em sua maioria produzidos no exterior, com destaque para a China e Alemanha, o preço não é atrativo e muito menos competitivo, já que pagamos mais caro pelo mesmo produto. Com um câmbio mais forte ou uma fábrica nacional, o custo de implantação despencaria.

3) Consumo relativamente baixo;

O consumo médio de 120kWh é um consumo relativamente baixo. Como o sistema é dimensionado para atender essa demanda, a produção de eletricidade também é baixa, de forma que a venda de créditos é pequena não auxilia muito a fazer receita neste projeto.

4) Tarifa de energia brasileira ainda é mais barata que me outros países.

O preço da tarifa nacional é uma combinação dos custos de produção de energia em diversas regiões, modais e geradores, de forma que nos locais onde o custo de geração é maior, a população não pague exageradamente mais, já que toda eletricidade está dentro do Sistema Integrado Nacional. Como mais de 60% da nossa geração ainda é de usinas hidrelétricas antigas, cujo custo de produção é baixo e o projeto já foi depreciado em sua maioria, a nossa tarifa ainda é baixa. Caso a matriz aumente o percentual de produção em termoelétricas, a tarifa encarecerá a tal ponto que a viabilidade possa ser possível.

A viabilidade de se utilização é considerada então parcial, sendo que, a geração residencial é viável no caso que ocorre a venda direta da energia produzida durante o dia para a concessionária e a noite se utiliza a energia diretamente do Grid. A utilização de baterias para o armazenamento de eletricidade não se mostrou viável neste momento para uma família de baixa renda com as características propostas.

## 8. CONCLUSÃO

O programa Minha Casa, Minha Vida é uma grande iniciativa do governo federal na busca por sanar o déficit habitacional, um dilema antigo em todas as regiões do país. O grande mérito do programa é conciliar vias de crédito barato para pessoas de baixa renda, não sendo uma simples transferência de recursos como ocorre em outros programas sociais do poder público, além de incentivar a indústria da construção civil, grande *player* do PIB nacional.

A Região Metropolitana de Curitiba é uma das principais regiões econômicas do país, sendo um polo de investimentos, educação e longevidade de seus habitantes. Possui uma característica única de estar rodeada por 4 serras, criando um clima específico para si. Tal relevo também dificulta o assentamento urbano, uma vez que o núcleo central urbano, onde se concentram os serviços é altamente adensado, não permitindo a sua expansão e forçando as novas construções para regiões limítrofes.

A localização e geografia da RMC também influenciam na quantidade de irradiação solar, uma vez que é uma cidade com um elevado acúmulo de umidade e se localiza na região de menor insolação no Brasil, mas mesmo assim com mais horas de sol anualmente que a melhor cidade alemã, nação com maior percentual de produção de energia fotovoltaica no planeta e referência no assunto.

A geração de energia elétrica no Brasil é um tópico complexo, que necessita uma revisão conceitual para não ficar defasado e perder a grande competitividade que as hidroelétricas propuseram nas últimas décadas. Sem grandes possibilidades de investimentos e com o elevado passivo ambiental que novas estruturas precisam arcar, em especial na região amazônica onde ainda há grande potencial hídrico de instalação, o custo de geração de energia tende a subir consideravelmente, seja pelo maior custo de construção, seja pelo caminho trilhado pelo governo até o momento de aumentar a produção de energia através das termoelétricas, poluidoras e com custo alto de produção. Enquanto a visão do governo for agir paliativamente, buscando atender demandas emergenciais e não planejando o crescimento do parque elétrico em função do crescimento esperado do país, a geração será sempre ruim, cada vez mais cara e se tornando uma amarra para o desenvolvimento.

O Brasil é um país ideal para o desenvolvimento de tecnologias em energias renováveis. Mesmo em uma região com menor potencial de geração, como a do leste do Paraná e Santa Catarina, a geração fotovoltaica é viável do ponto de vista econômico e

extremamente viável do ponto de vista ambiental, já que entraria para atender uma demanda que possui grandes chances de ser coberta por uma energia suja, como a produzida pelas termelétricas.

As energias renováveis cada vez se mais se mostram como a fonte de energia do futuro, simplesmente por aproveitarem os recursos existentes sem exauri-los e por não contribuírem para uma degradação ambiental que está em níveis alarmantes, já alterando o clima global e causando danos as sociedades humanas e de outros animais.

## 9. REFERÊNCIAS

AGEB. Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. **Energy Balance 2013**. Berlin, 2015

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas da Energia elétrica no Brasil**. Brasília, 2002

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Nº 482 de 17 de Abril de 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **BIG – Banco de Informações de Geração**. Disponível em <<http://goo.gl/wEgSXI>> Acesso em 20/10/2015

BC. Banco Central do Brasil. **Sistema de Expectativas de Mercado**. Disponível em <<https://goo.gl/qnUkoJ>> Acesso em 07/01/2016

BANCO MUNDIAL. **World Bank Global Development Index through Google**. Disponível em <<https://goo.gl/J6X778>> Acesso em 07/01/2016

BRASIL. Presidência da República. **Lei federal nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, 1996

BRASIL. Presidência da República. **Lei Federal Nº 11.977, de 07 de julho de 2009**. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, 2009

BRASIL-SOLAIR. **Projeto Juazeiro**. Disponível em <<http://goo.gl/L1HmVv>> Acesso em 12/01/2016

BODEN, T.A.; Marland, G.; Andres, R.J. **Global, Regional, and National Fossil-Fuel CO<sub>2</sub> Emissions**. Oak Ridge National Laboratory, U.S.A, 2015

CEF. Caixa Econômica Federal - **Guia de Orientações**. Fundo Socioambiental da Caixa Econômica Federal. Brasília, 2015

CEF. Caixa Econômica Federal – **Números do Programa Minha Casa, Minha Vida**. Disponível em <<http://goo.gl/IQ2CEi>> Acesso em 13/02/2016

CIDADES. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Déficit habitacional no Brasil 2007**. Fundação João Pinheiro, Brasília, 2009

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba – Comece. **Página de histórico Institucional**. Disponível em <<http://goo.gl/LD5eKl>> Acesso em 13/01/2016

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Lei nº 2.545, de 29 de Abril de 1965**. Autoriza a Prefeitura Municipal de Curitiba e a Companhia de Urbanização e Saneamento de Curitiba (URBS), a participarem da Companhia de Habitação de Curitiba (COHAB-CT), subscrevendo sua cota no capital da companhia e dá outras providências. Curitiba, 1965

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Lei nº 2.660 de 01 de Dezembro de 1965**. Criando o Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba, com a sigla IPPUC. E alterando a constituição de órgãos internos da prefeitura municipal. Curitiba, 1965

CURITIBA. Prefeitura Municipal de Curitiba. **Lei nº 2.828 de 31 de Julho de 1966**. Institui o plano Diretor de Curitiba e aprova as suas diretrizes básicas, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do município. Curitiba, 1966

CURITIBA. Conselho da Cidade de Curitiba – Concitiba. **Resolução nº 019, de 13 de Setembro de 2012**. Curitiba, 2012

EBC. Agência Brasil – Empresa Brasileira de Construção. **Construção de usinas térmicas é estratégia energética a longo prazo, diz ministério.** Disponível em <<http://goo.gl/OYkHo3>> Acesso em 05/02/2016

ECONOMIST. The Economist Magazine. Sunny Uplands – **Alternative Energy will no longer be alternative.** Disponível em <<http://goo.gl/k9rqPo>> Acesso em 20/10/2015

EIA. U.S. Department of Energy Information Administration. **Net Generation by Energy Source: Total (All Sectors).** Disponível em: <<https://goo.gl/nqvo41>> Acesso em 20/10/2015

ELETROBRAS. Centrais Elétricas Brasileiras – Eletrobrás. **EIA-RIMA da Usina de Belo Monte.** Brasília, 2009

Ellabban, Omar; Abu-Rub, Haitham; Blaabjerg, Frede. **Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology,** Elsevier, 2014

EUREC. **The future for renewable energy 2: Prospects and directions.** EUREC Agency, Ixelles, 2002

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Produto Interno Bruto 2004-2008.** Disponível em <<http://goo.gl/zVO1aI>> Acesso em 13/01/2016

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo demográfico, 2010 – Atlas,** Rio de Janeiro, 2013

IEA. International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives 2012: Path to a clean Energy System.** Paris, 2012

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. **Atlas brasileiro de energia solar,** São José dos Campos, 2006

IPCC. **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, 2014

IPEA. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas – IPEA e Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras 2014**. – Brasília, 2014

MME. Ministério de Minas e Energia - MME. **Matriz Energética Nacional 2030**. Brasília, 2007

NAKABAYASHI, R. **MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO BRASIL: VIABILIDADE ECONÔMICA**. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO. USP, 2015

NRC. National Research Council. **America's climate choices: Panel on Advancing the Science of Climate Change**. Washington D.C. The National academies Press, 2010

ONS. Operador Nacional do Sistema –ONS. **O que é o Sistema Integrado Nacional?** Disponível em <<http://goo.gl/8Je6od>> Acesso em 05/02/2016

ONU. United Nations Environment Programme – UNEP. **Terminal Evaluation of UNEP GEF Project Solar and Wind Energy Resource Assessment - SWERA**. Kenya, 2011

PARANÁ. Gabinete do Governador. **Decreto nº 14.947 de 26 de outubro de 1954**. Criação da COPEL – Companhia Paranaense de Energia Elétrica. Curitiba, 1954

PARANÁ. Secretaria de Educação. Galeria de Imagens – **Mapa de Relevos do Estado do Paraná**. Disponível em <<http://goo.gl/ui81kF>> Acesso em 14/02/2016

PATEL, Mukund R. **Wind and Solar Power Systems**, CRC Press, 1999

PORTAL SOLAR. **Energia solar fotovoltaica para residências**. Disponível em <<http://goo.gl/guo4n0>> Acesso em 20/10/2015.

POWER-THRU. **Power-thru clean flywheel Energy Storage**. Disponível em <<http://goo.gl/rAk7Tw>> Acesso em 20/10/2015

PRIBERAM. Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. “**Sustentabilidade**”, Disponível em <<https://goo.gl/K98J1w>> Acesso em 09/02/2016.

RICHTER, Karoline. **Iniciativas para melhoria do fluxo de informações do processo licitatório de obras públicas que visam a obtenção da certificação LEED**. Dissertação, UFPR, Curitiba, 2014

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. Secretaria Municipal de Habitação. **Plano local de Habitação de Interesse Social – PLHIS – Diagnóstico do setor habitacional**. São José dos Pinhais, 2010.

SOLARGIS. **Solar Radiation Map: Global Horizontal Irradiation Map of Germany**, 2011

TESLA. **Tesla Powerwall**. Disponível em <<http://goo.gl/xwrKv5>> Acesso em 20/10/2015

UFRJ. **Vulnerabilidade Socioespacial das Regiões Metropolitanas Brasileiras** - Marley Vanice Deschamps – Observatório das Metrôpoles, UFRJ, 2009

TERRA. **Problemas em Itaipu causa apagão em 18 Estados do País**. Disponível em <<http://goo.gl/w4oZNP>> Acesso em 05/02/2016