

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

GUTEMBERG TRINDADE DE ARAÚJO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

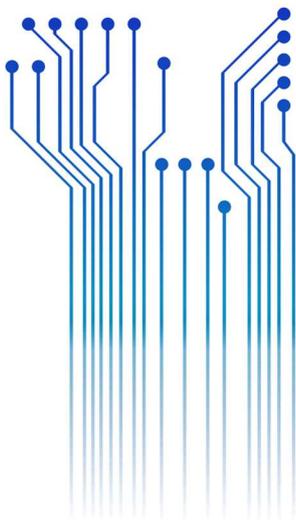


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: SISTEMA
FOTOVOLTÁICO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO *HOMER*®



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2018

GUTEMBERG TRINDADE DE ARAÚJO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: SISTEMA
FOTOVOLTÁICO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO *HOMER*®

*Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte
dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia Elétrica

Orientador: Professor Leimar Oliveira, D. Sc.

Campina Grande
2018

GUTEMBERG TRINDADE DE ARAÚJO

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA: SISTEMA
FOTOVOLTÁICO NO AMBIENTE DE SIMULAÇÃO HOMER®

*Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte
dos requisitos necessários para a obtenção
do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Geração de Energia Elétrica

Aprovado em / /

Professor Leimar Oliveita, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Geroge R. S. Lira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

AGRADECIMENTOS

À **Deus** pela oportunidade de conceber esta pesquisa e cumprir todos os afazeres nela requisitados.

A minha família, **meus pais, irmã, Romerio, Maria Rita, vovô Tobias, vovó Lenira, e in memoriam vovó Maria**, o alicerce da minha vida e a eles devo todo meu amor e compaixão. Agradeço por acreditar em minha pessoa todos os dias e conceder auxílio nos momentos mais difíceis.

A meu amor, **Anny Mayara**, pela confiança e paciência nessa caminhada ao meu lado. Obrigado por me fazer crescer como homem fiel a seus princípios e a ouvir cada vez mais a vida.

A meus amigos de Caicó e Campina Grande, **João Elias, Higo, Ramon, João Vitor, Filipe Leal, Flávio Lucena, e Luiz Eduardo**, amigos que levarei para toda vida, obrigado pelo acolhimento e confiança nesses três últimos anos de universidade.

A todos os **professores e servidores do departamento do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal de Campina Grande**, pelos esforços em melhorar a cada dia as atividades desenvolvidas pelos alunos.

*“Success is not final, failure is not fatal:
It is the courage to continue that counts.”*

Winston Churchill.

RESUMO

Esta pesquisa tem por objetivo analisar um modelo de geração distribuída, aplicado a energia fotovoltaica, no ambiente de simulação Homer, dessa forma identificar a viabilidade econômica para tal arquitetura. Consta de um estudo de caso, com uma carga de perfil residencial ligada a um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição (SFvCR), sendo observado no período de 25 anos e localizado na cidade de Campina Grande – PB. Sendo os componentes do sistema, dimensionados segundo Pinho e Galdinho (2014), onde os requisitos propostos respeitam as condições de operação. Os resultados foram organizados e analisados, em primeiro, o estudo elétrico do SFvCR como o consumo e a produção de energia em valores médios mensais, e por fim uma análise econômica com construção do fluxo de caixa anual com valores descontados para uma taxa real, onde se inclui a taxa de inflação no custo de capital. Além disso, foi estimado o retorno financeiro do SFvCR a partir da comparação da carga apenas conectado à rede de distribuição. Dessa forma, espera-se que esta pesquisa contribua para incrementar no estudo de geração fotovoltaica e as demais oportunidades oferecidas pelo software Homer.

Palavras Chaves: Sistema Fotovoltaico, Homer.

ABSTRACT

This research aims to analyse a distributed generation model, applied to photovoltaic (PV) energy, with Homer simulation environment, and thus identified the economic viability for such architecture. It consists of a case study, from a residential profile load connected to a PV system and electrical grid (SFvCR), over the period of 25 years and located in the city of Campina Grande – PB. In addition, the components were dimensioned by Pinho and Galdinho (2014), where the proposed requirements respect as operating conditions. The results were organized and analysed, firstly, the electric study of the SFvCR such as the consumption and production of energy in monthly average values, and finally an economic analysis with formulation of annual cash flow with discounted values for a real rate, where includes inflation rate without cost of capital. Futher, the financial return of the SFvCR was estimated from accounting only the load connected to the electrical grid. In this way, it hopes this research contributes to increase the study of photovoltaic generation and as opportunities offered by the software Homer.

Keywords: Homer, Photovoltaic System

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Consumo global de energia primária foi no total de 143.851 TWh, em 2013.....	15
Figura 2: Total da quantidade diária de irradiação no plano horizontal para diferente latitudes.	19
Figura 3: Linha de produção da célula fotovoltaica por etapas.....	20
Figura 4: Escala de preço (dólares (USD) por watt), para os componentes do módulos fotovoltaicos de silício, entre os anos de 2010 a 2020, no mercado europeu.	24
Figura 5: Representação de uma célula solar, onde se apresenta a formação de corrente contínua pelo efeito fotoelétrico no material semiconductor.....	25
Figura 6: Células fotovoltaicas conectadas em paralelo.	28
Figura 7: Células fotovoltaicas conectadas em série.....	29
Figura 10: Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.	31
Figura 11: Diagrama de sistema fotovoltaico conectado à rede.	32
Figura 12: Configuração padrão para um SFvCRs.	37
Figura 13: Janela inicial do software Homer.	40
Figura 14: Perfil diário (lado esquerdo) e perfil mensal (lado direito) do consumo da carga para os valores em Anexo I.	42
Figura 15: Design do sistema desenvolvido pelo Homer de acordo com os componentes inseridos.....	47
Figura 16: Média mensal da produção de energia.	48
Figura 17: Fluxo de caixa* descontado com os valores anuais e acumulado para: (A) SFvCR , (B) Carga - Rede de Distribuição, (C) A diferença entre (a) e (b).....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros elétrico, em condições de STC*, para um módulo fotovoltaico de silício cristalino modelo SM110.	30
Tabela 2: Tipologia definida pela ANEEL para mini e microgeração	35
Tabela 3: Valores de entrada para avaliação econômica do sistema.....	41
Tabela 4: Valores do consumo médio da carga.....	42
Tabela 5: Valores de referência para o modulo fotovoltaico <i>MaxPower CS6U-330p</i> , da <i>Canadian Solar</i> de composição policristalino.	43
Tabela 6: Indicação dos parâmetros para o <i>MaxPower CS6U-330p</i>	44
Tabela 7: Valores de referência para o conversor <i>Fronius Galvo 2.5-1</i>	45
Tabela 8: Indicação dos parâmetros para o <i>Fronius Galvo 2.5-1</i>	46
Tabela 9: Produção de energia pelo sistema.	48
Tabela 10: Consumo de energia pelo sistema.	49
Tabela 11: Formulas empregadas pelo Homer para simulação dos resultados econômicos. ..	50
Tabela 12: Resultado econômico para configuração Carga - Rede de Distribuição no período de 25 anos, localizado na cidade de Campina Grande - PB.	51
Tabela 13: Resultado econômico para configuração SFvCR, no período de 25 anos, localizado na cidade de Campina Grande - PB.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanco Energético Nacional
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
NEM	Sistema de Compensação de Energia
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
CNP	Conselho Nacional de Petróleo
SEB	Setor Elétrico Brasileiro
EC	Comissão Europeia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPIA	Associação Industrial Fotovoltaica Europeia
IEA	Agência Internacional de Energia
REN	Resolução Normativa
CdS	Sulfureto de Cádmium
AC	Corrente Alternada
DC	Corrente Contínua
FC	Fator de Capacidade
GHI	Irradiação Global na Horizontal
DNI	Irradiação Normal Direta
DIF	Irradiação Difusa Horizontal
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversores
O&P	Operação e Manutenção
PV	Painéis Fotovoltaico
CdTe	Telurieto de Cádmio
CIS	Disseleneto de Cobre e Índio
a - Si	Silício amorfo hidrogenado
m - Si	Monocristalino
p - Si	Policristalino
CTS	Condições de teste padrão
NOCT	Temperatura nominal de funcionamento

On - Grid

Conectado à rede

Off - Grid

Desconectado da rede

LISTA DE SÍMBOLOS

R\$	Moeda Real
USD	Dolar Americano
€	Moeda Euro
TWh	Terawatt-hora
α	Declinação Solar
W_p	Watt - Pico
GW_p	GigaWatt - Pico
KW	KiloWatt
KWh	KiloWatt - Hora
KW_p	KiloWatt - Pico
V	Volt
A	Ampere
°C	Celsius
m^2	Metro Quadrado
m	Metro
a.a.	Ao ano
m / seg	Metros por segundo
W / m^2	Watt por metro quadrado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivos.....	16
1.2	Estrutura do Trabalho.....	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO	17
2.1	Energia Solar.....	17
2.1.1	Recurso Solar.....	18
2.1.2	Indicadores de Irradiação Solar	19
2.2	Energia Fotovoltaica.....	20
2.2.1	História e Estado da Arte.....	22
2.2.2	Panorama da Geração Fotovoltaica no Mundo	23
2.3	Célula Fotovoltaica.....	25
2.3.1	Efeito Fotovoltaico	25
2.3.2	Tipos de Células Fotovoltaico	26
2.3.3	Modulo Fotovoltaico	28
2.3.4	Aplicações de um Sistema Fotovoltaico.....	30
2.4	Geração Distribuída.....	33
2.4.1	Geração distribuída no Brasil	34
2.4.2	Incentivos a geração distribuída.....	35
2.4.3	Configuração dos SFvCRs no Brasil.....	37
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	38
3.1	Tipo da Pesquisa.....	38
3.2	Software HOMER.....	38
3.3	Simulação.....	40
3.3.1	Parâmetros de Entrada	40
3.3.2	Seleção da Carga.....	41
3.3.3	Painel Fotovoltaico	43
3.3.4	Conversor	45
3.3.5	Rede de Distribuição	46
4	ANÁLISE E DISCURSÃO	47
4.1	Resultado do SFvCR.....	48
4.2	Avaliação Econômica	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
	ANEXO I – MÉDIA DA CARGA MENSAL (KW)	58
	ANEXO II – FLUXO DE CAIXA DESCONTADO (R\$),	59

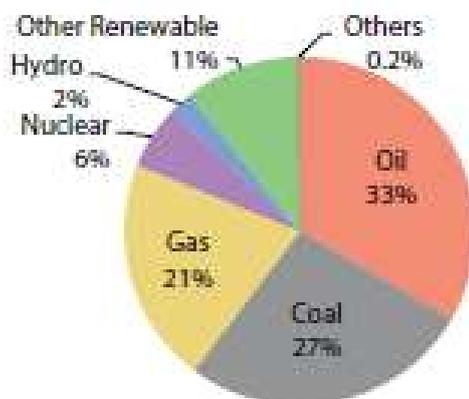
1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é um dos bens essenciais da atualidade e um insumo indispensável para o desenvolvimento da humanidade devido sua capacidade de conversão simplificada em força, luz e calor. Logo o conhecimento em tecnologias para obtenção desta energia é de valor inestimável para as nações, visto que, o potencial energético define o progresso da mesma. O primeiro desafio está no suprimento da demanda de energia futura, visto que com o crescimento populacional requer o aumento da demanda global de energia (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

Logo é preciso buscar novas fontes para a geração de energia que supram o aumento da demanda e causem o mínimo de impacto ambiental, a prova dessa necessidade se confirma com os dados do IEA (2013), onde a demanda global de energia cresceu em um terço entre o período 2008 para 2013.

Vale salienta que, uma relação onde boa parte da infraestrutura de geração de energia depende dos derivados dos combustíveis fósseis como petróleo, carvão e gás (Figura 1). Sendo esse recurso não renovável, limita sua disponibilidade para uso no futuro, restringindo a geração de energia pelo esgotamento do bem. Igualmente, a combustão para geração de energia produzida pela queima dos combustíveis fósseis resulta em uma problemática ambiental, o efeito estufa que é gerado a partir da emissão de gases poluentes como o dióxido de carbono (CO₂) (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

Figura 1: Consumo global de energia primária foi no total de 143.851 TWh, em 2013.



Fonte: (IEA, 2013)

Diante dos dados apresentados, fica claro a necessidade de expandir a oferta do oferecimento de energia elétrica por meio de fontes renováveis, como alternativas de preencher o avanço do consumo e proporcionar redução considerável nos impactos ambientais.

Uma das alternativas viáveis, é as fontes tidas como “limpa” e com grande potencial de suprir a demanda crescente, sendo o sol, a fonte de energia renovável e sustentável, e ainda fonte para quase todos os processos de geração de energia como: eólica, hidro e solar. Sendo esta última de modo direto, permite concluir como uma fonte primária de energia e renovável neste processo, onde a humanidade provém eletricidade desta fonte inesgotável, para fins de satisfazer as demandas que por ventura irá surgir. Portanto, destina-se a tratar ao longo deste trabalho da energia solar fotovoltaica, mostrando o potencial da energia solar e sua capacidade, bem como os tipos por ela gerados (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

Ademais, o sistema fotovoltaico é o campo de tecnologia e pesquisa relacionado com o dispositivo capaz de converter energia solar em eletricidade sem a capacidade de atribuir demais etapas de conversão que diminuam de maneira considerável os impactos ambientais (EC, 2009). Justificando ainda a necessidade de estudo direcionado que agregue neste ponto o avanço e a regulamentação do mercado de geração distribuída promove as fontes renováveis de energia em principal a solar dado os recursos de produção do sistema fotovoltaico ter ótima viabilidade econômica (EPE, 2012).

1.1 OBJETIVOS

Apresentar os aspectos e modelos de geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos incorporado na geração distribuída, além da sua viabilidade econômica em sistema conectados à rede (*on grid*). Por fim, um estudo de caso no ambiente de simulação *Homer* desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Energia Renováveis (NREL).

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Estruturado em 5 capítulos, o presente trabalho desenvolverá desde a abordagem histórica até a experiência com a realização da simulação, sendo abordado os seguintes pontos para cada capítulo.

No capítulo 2 é abordado uma breve introdução histórica e evolutiva do potencial solar e os modelos convencionais de sistema fotovoltaico para conversão desta energia em eletricidade, ou seja, um estudo sobre as diferentes composições dos painéis solares e a forma de geração de energia. Além disso, é apresentado um conteúdo breve acerca da geração distribuída e a descrição do modelo fotovoltaico aplicado no sistema conectado à rede.

No capítulo 3 é exposto um estudo de caso no ambiente de simulação *Homer* com o propósito de obter dados referente a viabilidade econômica de um projeto de sistema fotovoltaico inserido no contexto de geração distribuída.

No capítulo 4 é expresso os resultados e discussões encontrados no estudo de caso.

Finalizando o assunto com as considerações finais e conclusões sobre o potencial energético solar para os sistemas de geração distribuída, levando-se em consideração tudo que foi apresentado nos capítulos anteriores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar é uma das mais promissoras fontes complementares de energia no mundo, a energia solar provém da luz e do calor do Sol, que é uma fonte renovável, permanente e abundante. Desse modo, esta fonte pode ser aproveitada para geração de energia elétrica. A designação técnica para energia solar é a captação de energia luminosa seguida de conversão, seja térmica ou direta pelo efeito fotovoltaico e posterior utilização pelo homem (IEA, 2011).

A disponibilidade da energia solar sobre a Terra é em média elevado, segundo o IEA (2011) uma medição feita numa superfície normal (ângulo reto) com o sol, a taxa é de aproximadamente 1368 W/m^2 . Em outras palavras, a cada uma hora e 25 minutos o sol irradia o equivalente a energia consumida pela população mundial para o período de um ano. Enquanto as reservas comprovadas de combustíveis fósseis representa 46 anos (petróleo), 58 anos (gás natural) e quase 150 anos (carvão) de consumo para as taxas atuais.

Assim sendo, a energia solar tem enorme potencial e nos últimos anos vem demonstrando elevado crescimento, mas este recurso apresenta limitações de custos e eficiência. É esperado que nos próximos dez anos alcance adequado competitividade no mercado com uma produção em larga escala, porém, hoje são necessário incentivos para seu desenvolvimento, em razão do alto custo da tecnologia fotovoltaica. Em consonância com as vantagens disposta para o uso desta energia, existe a contribuição para o aspecto ambiental visto a capacidade de redução dos gases do efeito estufa (IEA, 2011).

2.1.1 RECURSO SOLAR

A irradiação solar atinge a superfície da terra em dois meios: direto ou difuso. A direta ocorre conforme a direção do Sol o que produz sombras bem marcada em qualquer objeto, enquanto a radiação difusa é causada pelo sombreamento parcial sobre a superfície terrestre, ou seja, não há conformidade da direção dos raios solares. O termo radiação solar global é a soma das componentes direta e difusa (EC, 2004).

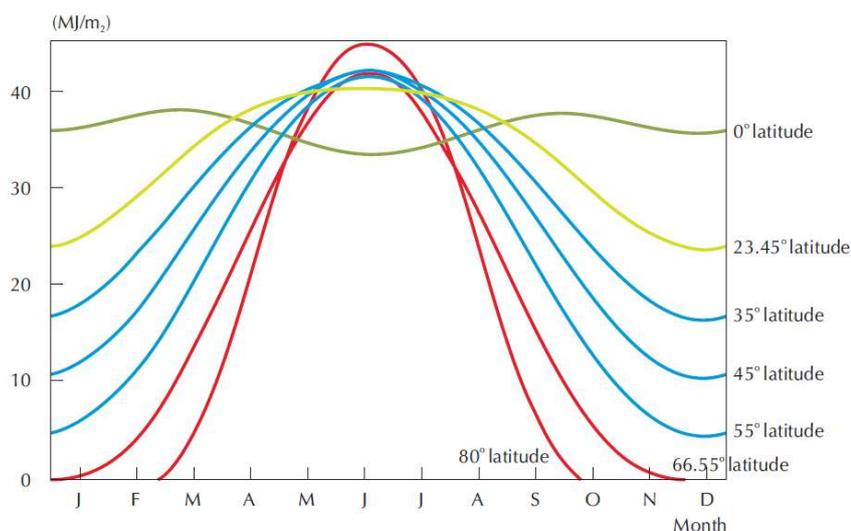
A energia solar não é constante, varia de acordo com o dia, ano e localização. Essas variações são resultados diretamente da geografia terrestre e movimento astronômico, acentuado com alterações menos previsíveis formado entre a inter-relação geográfica, oceânica e massas de ar, como por exemplo: as nuvens.

Na terra tem a quantidade média de luz do dia por ano é de aproximadamente 4380 horas. Entretanto, difere da quantidade de energia recebida pelo sol. O principal fator é a trajetória elíptica que a terra descreve em torno do sol, em um plano de inclinação de $23,5^\circ$ com relação ao plano equatorial. Esta modificação faz o sol se elevar no horizonte, na mesma hora do dia no decorrer do ano dando origem as estações, logo a dificuldade de prever a posição do sol para uma determinado período (CRESESB, 2012).

Desse modo, zonas tropicais recebem mais radiação por área de superfície do que ao norte do Trópico de Câncer e ao sul do Trópico de Capricórnio (Figura 2). A incidência de irradiação diminui devido a absorção atmosférica de fatores como:

- Reflexão Atmosférica
- Absorção pela moléculas Atmosférica
- Dispersão de Rayleigh
- Dispersão de Mie (Dispersão por partícula de pó e poluição do ar)

Figura 2: Total da quantidade diária de irradiação no plano horizontal para diferente latitudes.



Fonte: (ITACA, 2011)

Independente da absorção atmosférica, a irradiação varia no ano para diferente latitudes (Figura 2). Portanto, há dias, nos períodos de Maio a Julho, em que a região polar recebe taxas de irradiação, com cerca de 45 kWh/m²/dia, maiores que qualquer local no planeta (IEA, 2011).

2.1.2 INDICADORES DE IRRADIAÇÃO SOLAR

A Irradiação Global na Horizontal (GHI) é a medida da densidade de recurso solar disponível por área da superfície. Também pode ser definida como o ângulo ótimo para coletores solares, ou seja, o ângulo de inclinação otimizado da incidência de radiação. O GHI é formado pelos índices de Irradiação Difusa Horizontal (DIF) e Irradiação Normal Direta (DNI), assim a DIF é o principal indicador em dias nebulosos enquanto a DNI prepondera em dias claros (EPE, 2012).

A DNI oscila durante o dia, principalmente em locais nebulosos. De acordo com os dados coletados, a DNI apresenta um grau estocástico maior que o GHI, se por um período 2 a 3 anos de medição local prever a média de longo termo para GHI, com margem de erro de 5%, para a DNI é preciso 10 anos de medição para se obter a mesma margem de erro. (LOHMANN, SCHILLINGS, *et al.*, 2006).

2.2 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar é a captação de energia luminosa e térmica proveniente da radiação solar podendo ser transformada em calor ou eletricidade, sendo esta última intitulada energia fotovoltaica devido a conversão por meio de células fotovoltaicas. Estas células são dispositivos formados por semicondutores, como o silício. E uma das propriedades relevantes dos semicondutores que o fazem ser útil é a capacidade de modificar sua condutividade pela introdução de impurezas dentro da sua estrutura cristalina (EC, 2009).

Ademais, um fator preponderante para expansão dos materiais semicondutores é a disponibilidade de matéria-prima e a manufatura das células fotovoltaicas. Por exemplo o silício, onde a linha de produção se inicia pela extração do quartzo para a formação de lingotes de silício, seguindo para a laminação em “*wafers*” e construção dos módulos e células (Figura 3). Atualmente cerca de 90% dos painéis fotovoltaicos fabricados no mundo são constituído por células monocristalinos ou policristalinos, devido ao custo reduzido de produção e excelente eficiência de conversão da energia primária. Além do mais, o silício apresenta um escalada crescente de pureza, atingindo o nível de 99,9999% nos graus de purezas diferentes (metalúrgico, solar e eletrônico), chamado de “seis nozes de pureza” (MEDEIROS, SHAYANI e ASSUNÇÃO, 2009).

Figura 3: Linha de produção da célula fotovoltaica por etapas.



Fonte: (MEDEIROS, SHAYANI e ASSUNÇÃO, 2009)

Um dos fatores relevante para o uso da energia fotovoltaica é o grau de disponibilidade energética da fonte, uma vez que é necessário adequadas condições para o retorno econômico do investimento. Seja os níveis de GHI, com variações anuais consideráveis, e dado a componente difusa aproveitada pela geração

fotovoltaica pouco variável, desconsiderando as tendências e ciclos de longo prazo, então pode supor que a geração fotovoltaica tem comportamento temporal não correlacionado com outras fontes variáveis o que assume alto caráter de estabilidade diferente das hidrelétricas e eólicas (EPE, 2012).

Onde, em condições perfeitas e com auxílio de cálculos para estimar a posição do sol, a geração fotovoltaica aponta excelentes resultados. No entanto, em escala menores de tempo, o comportamento aleatório do clima resulta em variações abruptas da irradiação solar e, portanto a modificação extrema da geração fotovoltaica dá uma medida da dificuldade técnica da integração em larga escala da microgeração solar em circuitos de distribuição de baixa tensão. Vale destacar que, em razão característica de seu ciclo diário, limitado ao período diurno, a geração fotovoltaica não substitui os investimentos na expansão da capacidade instalada do sistema elétrico, porém pode ser como uma fonte “economizadora” de combustíveis de maior valor econômico. Além disto, o fator capacidade (FC) é baixo, ou seja, em regiões mais favoráveis, o nível de irradiação solar equivale a geração de plena potência instalada o que equivale a 1500 horas ou 15% ao ano (EPE, 2012).

As células fotovoltaicas são interconectadas para formar módulos fotovoltaicos e a combinação destes módulos são denominados sistemas fotovoltaicos. Em geral, os componentes integrados são denominado de *balance of system* (equilíbrio do sistema), ou seja, a associação dos dispositivos de conversão, proteção, transformação, monitoramento, e montagem. Além disso, inclui a engenharia essencial para a integração dos componentes do sistema (IEA, 2011).

E a aplicação dos sistemas fotovoltaicos se designa em duas formas: o conectado à rede (*on grid*) ou sistemas autônomos (*off grid*). Os sistemas conectado à rede de distribuição, é a operação de fornecer a demanda em excesso da geração fotovoltaica, a depender do país, a concessionária do sistema elétrico concede créditos em valor monetário ou compensatório pelo fornecimento. Os sistemas autônomos, constituem o primeiro campo de atuação da tecnologia fotovoltaica. Aplicação deste tipo se destaca em casos de pequeno uso de consumo energético por exemplos: carros, bombas hidráulicas e etc (EC, 2004).

2.2.1 HISTÓRIA E ESTADO DA ARTE

Tendo sido a descoberta do efeito fotoelétrico em 1887, pelo físico germânico Heinrich Hertz, que traz o efeito como sendo a emissão de elétrons se dá a partir de um material que absorve luz com baixo comprimento de onda. Apenas no ano de 1905, o físico Albert Einstein publicou o artigo que define esse efeito sendo a luz pacotes de energia, denominado fótons. Em seguida, no ano de 1918 o polonês Jan Czochralski idealizou um método para o refino de alta qualidade em materiais cristalinos, em que atualmente, consiste como técnica fundamental para o processo de silício mono cristalino usado em células solares. Já na década de 50, se desenvolveu as primeiras células solares, pelos Laboratórios Bell nos Estados Unidos, com auxílio dos cientista Darly M. Chapin, Calvin S. Fuller e Gerald L. Pearson, feito a base de silício com eficiência de 6 %. No mesmo período, D.C. Reynolds, G. Leies, L. L. Antes e R.E. Marburger relatou o efeito fotovoltaico no material sulfureto de cádmium (CdS) (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

A expansão das células solares se deu em meados da década de 60 com aplicação em satélites para geração de energia elétrica. Um dos marcos importantes foi o satélite americano Vanguard 1, que foi lançado pela marinha americana em 1958, com um sistema de geração por meio de células solares. A partir de 1980 foi inventada a primeira célula solar de filme fino composto de óxido de sulfeto de zinco esulfeto de cadmio, com uma eficiência de conversão acima de 10% na Universidade de Delaware (Estado Unidos). Enquanto, no mesmo ano a célula solar de silício já indicava uma taxa acima de 20%, na Universidade de Nova Gales (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

As aplicações terrestres começaram em 1970, com o desenvolvimento em aplicações em rede autônomas (*off grid*) em comunidades rurais e telecomunicações. A primeira planta geradora comercial solar foi construída no deserto de Califórnia Mohave com capacidade de 354 MW em 1980, e atualmente ainda encontra se em operação. Apenas na década de 90, os incentivos em sistemas fotovoltaicos começaram a surgir em diversos países, como o Japão, que iniciou um programa de sistema fotovoltaico conectado à rede, onde um total de 70000 painéis foram instalados com um subsidio de 50% nos custos pelo governo, se comparado com a Alemanha, que apresentou um total de 100000 painéis instalados em todo país. Vale salientar, a aprovação da Lei de Energia Renovável no ano 2000, que ofereceu uma

tarifa de 0,5 € / kWh para compra de energia elétrica produzido pelo sistemas fotovoltaico nos próximos 20 anos. Portanto a partir de 1998, o Japão superou os Estados Unidos como líder no mercado, e após o ano de 2001, a Alemanha se firmou em segundo lugar (IEA, 2011).

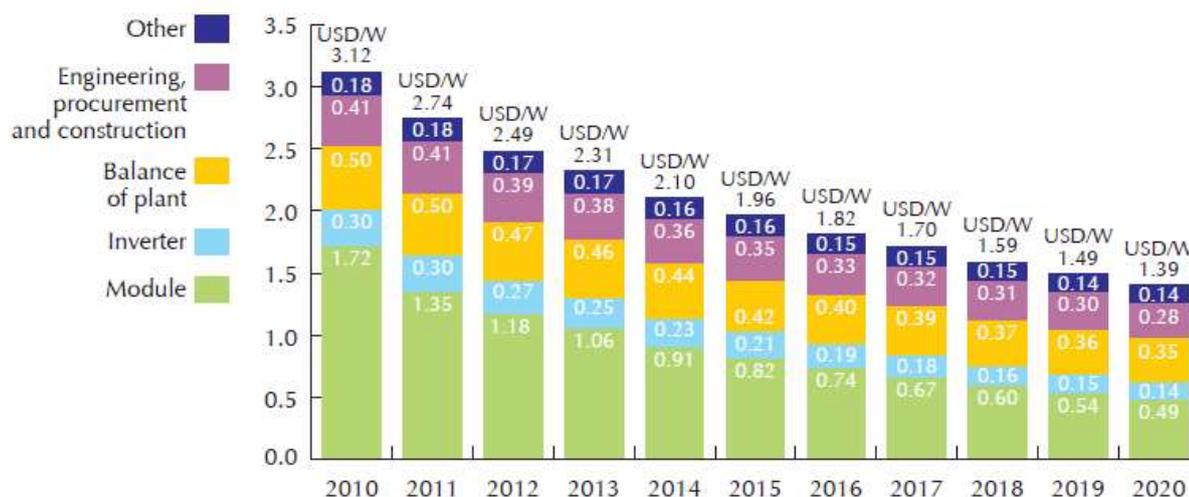
Apesar disso, em 2008 a China tem investido maciçamente na indústria fotovoltaica. Como resultado, a China domina a construção de painéis fotovoltaicos (PV) atualmente. Destaca-se ainda, que a capacidade solar gerada superou a barreira de 100 GWp em 2012. Portanto, entre o período de 1999 e 2012, a média de crescimento anual de PV instalado cresceu cerca de 40% (JÄGER, ISABELLA, *et al.*, 2014).

2.2.2 PANORAMA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO MUNDO

A potência instalada de PV aumentou de forma considerável entre os anos de 2000 a 2012, sendo na União Europeia o setor de maior capacidade instalada, onde parte deste sistema se concentra nos países da Alemanha e Itália. No final de 2012, a potência instalada superou a marca de 100 GWp. E na última década, a potência instalada nos países europeus somente foi menor que nas centrais eólicas e de gás natural. Na China, notabiliza-se a política de incentivos para o uso da tecnologia e não só de programas governamentais como a expansão da produção e exportação de células e módulos fotovoltaico (EPIA, 2017).

A expansão do mercado de energia fotovoltaica se deu pela diminuição do custo de capital investido. Formado por dois itens relevantes: painéis fotovoltaicos e o *Balance of Systems* (BoS). Enquanto o preço do BoS permaneceu estável, os painéis solares exibem um comportamento de queda dos preços (Figura 4). Uma das causas é a sobreoferta de módulos fotovoltaicos aliado a diminuição dos preços nos módulos de silício cristalino no mercado “spot” (vendas no atacado), com redução de 42% na China e 31% na Alemanha entre janeiro e novembro de 2011. Então com a redução dos preços dos painéis, na qual corresponde cerca de 60% do custo total do sistema, o valor do sistema obteve razoável declínio (EPE, 2012).

Figura 4: Escala de preço (dólares (USD) por watt), para os componentes do módulos fotovoltaicos de silício, entre os anos de 2010 a 2020, no mercado europeu.



Fonte: (IEA, 2011)

Os dados entre 2010 a 2020 descreve uma avaliação detalhada dos vários fatores de custo dos sistemas fotovoltaico, portanto o preço dos módulos fotovoltaicos de silício deverá atingir até um terço do seu preço em 10 anos e caso mantenha os indicadores de mercado, é esperado em 2030 um custo de 1 USD/W para um PV completo (IEA, 2011).

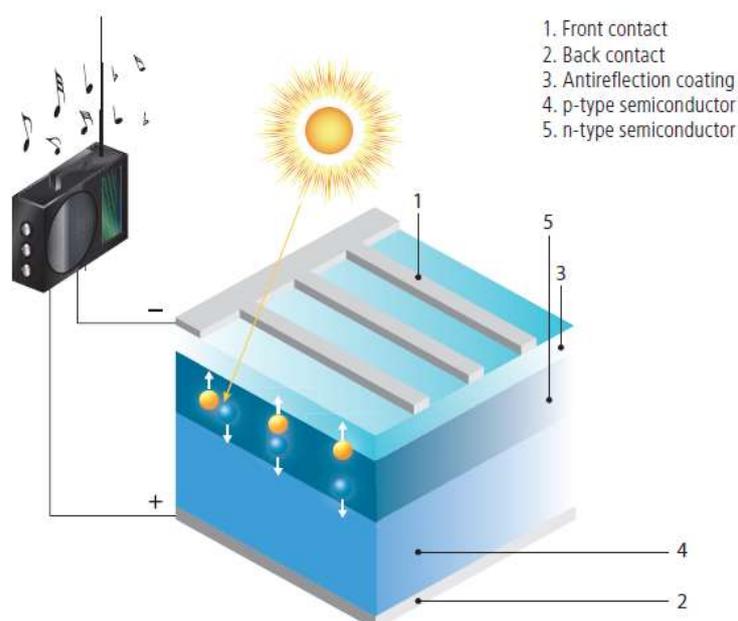
Vale ressaltar, que o tempo de compensação (*payback*) associado a energia gerada pelas células fotovoltaicas de silício é em média de 1 a 1,5 anos no sudoeste europeu, apesar do alto custo do silício semiconductor. Como alternativa a reciclagem do silício é uma viabilidade para a indústria, atualmente cerca de 72% do silício pode ser reciclado, logo tende o índice de *payback* diminuir. Ainda, existe painéis solares de filme fino do tipo CdTe e CIS, que apresenta matérias de alto valor no mercado devido a sua disponibilidade isso impede uma diminuição no preço de mercado diferente do silício (IEA, 2011).

2.3 CÉLULA FOTOVOLTAICA

2.3.1 EFEITO FOTOVOLTAICO

Fotovoltaico é nome dado a conversão direta da luz em energia elétrica. O processo se baseia na utilização de materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gélío, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio. O material para o uso nas células solares deve ser de maior grau de pureza possível, disposto a preservar as propriedades químicas do material. O processo de geração de energia elétrico pelo efeito fotovoltaico é descrito a seguir como exemplo de uma célula cristal de silício (Figura 5).

Figura 5: Representação de uma célula solar, onde se apresenta a formação de corrente contínua pelo efeito fotoelétrico no material semicondutor.



Fonte: (EC, 2009)

Primeiramente, em um lado da célula, o cristal tem quatro elétrons de valência, ou seja, o aumento de sua condutividade se dará pela dopagem com o elemento fósforo que possui cinco elétrons de valência. Por conseguinte, os elétrons de valência do fosfora compartilha elétrons com os de silício, criando excesso de carga negativa no material chamado de silício tipo n. Numa dopagem distinta no lado oposto do cristal,

é adicionado boro com três elétrons de valência, impondo um caráter positivo a este lado do cristal, denominado silício tipo p. O contato entre as duas partes do cristal cria uma junção de tipo p-n, mas a difusão dos elétrons quando o cristal é formado não ocorre indefinidamente, porque o desequilíbrio de carga origina a criação de um campo elétrico e uma área entre a junção é criada chamada de barreira de potencial. Este campo elétrico configura como um diodo que possibilita a passagem de corrente em apenas uma direção, deste modo, quando os fótons de luz atingem a célula, eles transferem sua energia para os elétrons que com a energia acrescida quebra a barreira de potencial para a região do tipo n, mas com liberação do elétron origina lacunas que segue na direção da região do tipo p. Desta forma, origina um potencial na fronteiras da célula solar (EC, 2009).

2.3.2 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICO

Silício Cristalino

A pioneira para fabricação de placas fotovoltaicas e com maior escala de produção mundial devido sua extrema robustez e confiabilidade. Atualmente, as células de silício cristalina domina um mercado com cerca de 85% e seus módulos demonstram uma vida útil entre 25 e 30 anos (IEA, 2011).

Porém, o elevado custo de produção e as alternativas de aumento de eficiência versus a possibilidade de redução já foram esgotados, isto posto, esta tecnologia é desconsiderada pelos cientista como a competidora para a geração de potência em larga escala. Dentro de sua composição estão subdividas em monocristalino (m –Si) e policristalino (p –Si) (RUTHER, 2004).

O m-Si, é a inclusão do núcleo de cristal “banhado” em silício fundido com elevado teor de pureza (Si = 99,99%), nos reatores com temperatura, pressão e velocidade de rotação controlada. Desta forma, podem ser produzidos cristais circulares e com diferentes largura para um mesmo diâmetro. A eficiência média desta célula é entre 15% e 18%. O *energy payback* (tempo para que o módulo produza energia equivalente a empregada no processo de fabricação) é avaliado em torno de um a dois anos a depender dos níveis de irradiação do local de instalação (RUTHER, 2004).

O p-Si mostra um processo mais comum, devido ser apenas a fundição de lingotes. Este processo diminui a eficiência de conversão em torno de 13% e 15%. Entretanto, a vantagem no baixo custo de produção facilita seu grau de uso no mercado, ou seja, nos últimos anos o p – Si elevou sua participação no mercado fotovoltaico (RUTHER, 2004).

Silício Hidrogenado Amorfo

Com o surgimento das células de filmes finos, as do tipos de silício amorfo hidrogenado (a – Si) foram considerados nos anos 80, como a única tecnologia viável comercialmente. Empregado, inicialmente, em dispositivos com baixo consumo elétrico, devido a sua capacidade de resposta espectral para as regiões azul da onda eletromagnética, ou seja, há elevada eficiência em dias de predominância de radiação difusa (RUTHER, 2004).

O material amorfo surgiu devido ao desaparecimento da estrutura cristalina, mas preserva suas características como semicondutor. Além do processo de fabricação ocorrer em temperaturas baixas (<300 °C), o que proporciona a moldagem sobre substratos de baixo custo como: vidro, aço e plástico. Dessa maneira, garantindo painéis com atributos flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes ou com superfícies curvas. A sua aparência mais atrativa, resulta em uma ampla aplicação em construções arquitetônicas, tendo como, a substituição de telhados e fachadas pelo painéis integrado ao ambiente umas das principais aplicações. Outro atrativo é como material de revestimento o a-Si detém metade do custo de instalação em metrô quadrado sobre o c- Si, e o *energy payback* em torno de um ano (RUTHER, 2004).

Contudo, a eficiência em torno da ordem de 10% para módulos comerciais necessita de um aumento em área ocupada, logo, eleva o custo de mão de obra e material para instalação. Ademais, a instabilidade devido ao efeito Staebler – Wronski¹ afeta sua expansão no mercado de painéis fotovoltaico (PINHO e GALDINO, 2014).

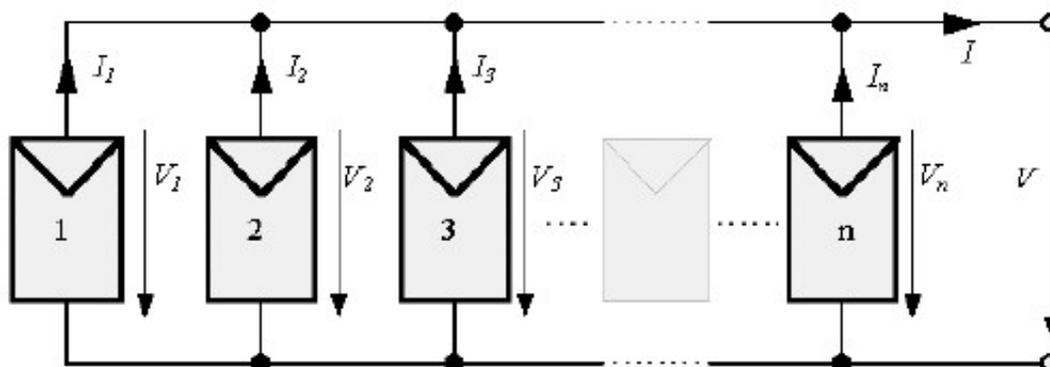
¹ Efeito Staebler – Wronski: Resultado da degradação do rendimento (6 a 12 meses) de placas fotovoltaica de a -Si, quando exposta à radiação solar é aplicação de múltiplas camadas similar a fabricação dos módulos de silício cristalino (PINHO e GALDINO, 2014).

2.3.3 MÓDULO FOTOVOLTAICO

O módulo fotovoltaico é constituído pela junção de células fotovoltaicas agrupadas para produzir tensão e corrente suficientes para utilização prática da energia e auxiliar na segurança e proteção dos painéis (PINHO e GALDINO, 2014).

A baixa tensão e corrente de saída de uma célula fotovoltaica (tensão na ordem de 0,5V a 0,8V para células de silício), se faz necessário um arranjo com múltiplas células disposto em série ou paralelo com a intenção de elevar a tensão de saída. Ao conectar em paralelo as correntes se somam e a tensão é a mesma da célula (Figura 6). Como a corrente é elevada (corrente máxima de 3 ampères), esta arquitetura é utilizada apenas em casos especiais (CRESESB, 2012).

Figura 6: Células fotovoltaicas conectadas em paralelo.



Fonte: (CRESESB, 2012)

V_n : Tensão de Saída do PV (n)

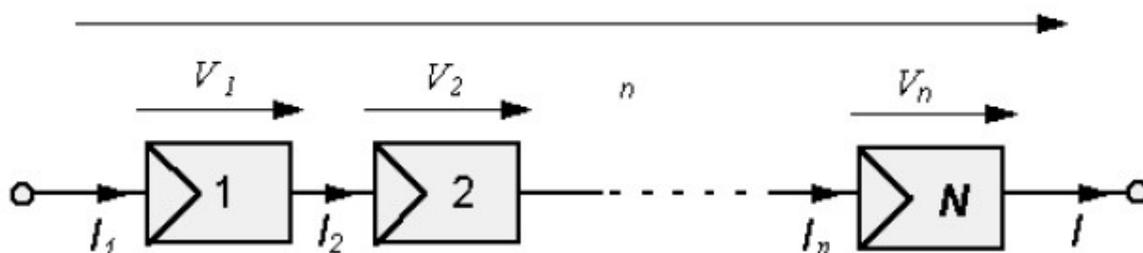
I_n : Corrente de Saída do PV (n)

I : Corrente Total do Módulo Fotovoltaico

V : Tensão Total do Módulo Fotovoltaico

O arranjo mais usual para os módulos são em série (Figura 7). Consiste na associação das células, onde as tensões de cada uma se somam chegando ao valor padrão de 12 V (valor referência para aplicação com baterias) (CRESESB, 2012).

Figura 7: Células fotovoltaicas conectadas em série.



Fonte: (CRESESB, 2012)

V_n : Tensão de Saída do PV (n)

I_n : Corrente de Saída do PV (n)

I : Corrente Total do Módulo Fotovoltaico

V : Tensão Total do Módulo Fotovoltaico

De modo a criar uma segurança a mais no sistema, é aplicado um diodo “bypass” ou de passo na célula. Este diodo garanti um caminho de corrente e limita a dissipação de calor quando a célula apresenta alguma alteração externa (encoberta) ou interna (defeito eletrônico). Além disso, um diodo de bloqueio é empregado na entrada do módulo fotovoltaico capaz de evitar o efeito de corrente negativa entre as células, ou seja, ao invés das células gerar corrente, passa a receber um valor maior do que produz (CRESESB, 2012).

Característica Elétrica do Módulo Fotovoltaico

Os parâmetros para o modulo fotovoltaico são designados pelos fabricantes nas condições de teste padrão (CTS), com irradiação a $1000\text{W}/\text{m}^2$ e temperatura ambiente a 25°C . Como estas condições raramente acontecem e a temperatura da célula é superior à ambiente, então o fabricante disponibiliza a temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT), a nível de irradiação de $800\text{W}/\text{m}^2$, a temperatura ambiente de 20°C e velocidade do vento a $1\text{ m}/\text{seg}$. Logo, pode ser determinados os coeficientes térmicos da corrente e tensão. Na Tabela 1 os dados de uma ficha técnica com os parâmetros elétricos típica para os módulos fotovoltaicos, como exemplo uma descrição do módulo solar cristalino modelo SM110.

Tabela 1: Parâmetros elétrico, em condições de STC*, para um módulo fotovoltaico de silício cristalino modelo SM110.

Parâmetros Elétricos	Simbolos	Unidades	SM110
Potência Nominal	P_n	W_p	110
Tolerância de Potência	ΔP	%	+5
Potência Mínima	P_{min}	W_p	110
Corrente nominal	I_{mpp}	A	6,3 / 3,15
Tensão Nominal	V_{mpp}	V	17,3 / 35,0
Corrente de Curto-circuito	I_{cc}	A	6,9 / 3,45
Tensão de Circuito Aberto	V_{co}	V	21,7 / 43,5
Tensão máxima admissível	M_{max}	V	1000
Eficiência	η	%	12,7

Fonte: Adaptado (EC, 2004)

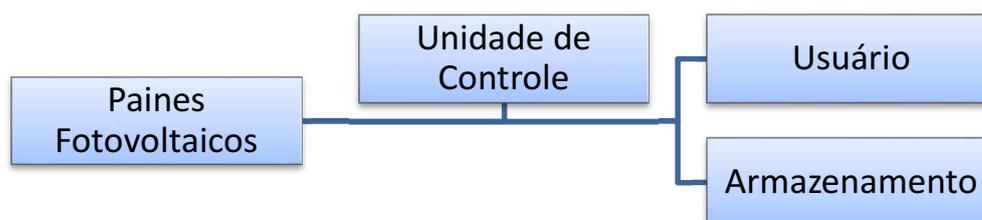
*STC: Condições de Teste Padrão (irradiação a $1000W/m^2$ e temperatura ambiente a $25^\circ C$).

Os principais motivos que contribuem para as alteração das características elétricas de um painel fotovoltaico são a intensidade luminosa e a temperatura das células.

2.3.4 APLICAÇÕES DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico pode ser categorizado em três modos de operação distintas: sistemas isolados ou autônomos, híbridos e conectados a rede. A aplicação de qual modelo será empregado dependerá principalmente do estudo de aproveitamento da energia solar e a procura energética (CRESESB, 2012). A configuração básica de geração é respeitado conforme o diagrama abaixo:

Figura 14: Configuração básica de um sistema fotovoltaico.



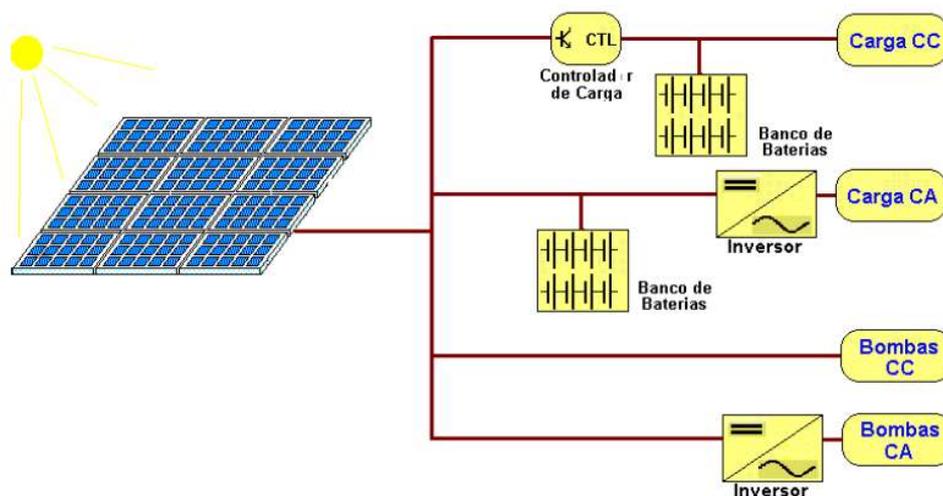
Fonte: Adaptado (CRESESB, 2012).

Sistemas Autônomos

Formaram o primeiro campo de aplicação da tecnologia fotovoltaica, visto o fornecimento de energia elétrica pela rede pública não apresenta razões econômicas ou técnicas viáveis, por exemplo: antenas de telecomunicação instalada em regiões de difícil acesso. Assim a viabilidade econômica do sistema autônomo constituem uma porta de aplicação da energia fotovoltaica (EC, 2004).

Devido a geração de energia estar limitada apenas pelos painéis, é preciso o uso de um sistema de backup (baterias). Com esta configuração emprega se um dispositivo chamado “controlador de carga” com o intuito de garantir uma maior segurança na bateria contra efeitos de sobrecarga ou descarga profunda. Este controlador é aplicado em sistemas em que os aparelhos utilizado são de baixa potência e com uso de tensão e corrente contínua (CC). Para cargas que operam em corrente alternada (CA) é interligado um inversor. Este dispositivo vem acrescentado com um seguidor de ponto de máxima potência essencial para otimização da potência final gerada. Assim garante um maior confiabilidade na utilização de cargas convencionais.

Figura 8: Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada.



Fonte: (CRESESB, 2012)

Carga e Bombas CC: Alimentada por corrente contínua.

Carga e Bombas CA: Alimentada por corrente alternada.

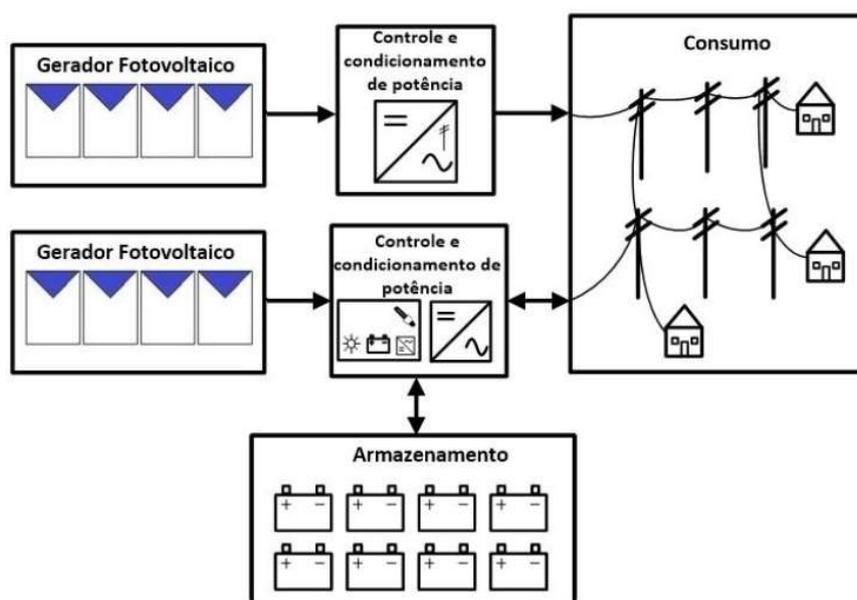
Sistemas Híbridos

O sistema híbrido apresenta o mesmo comportamento da geração autônoma no que se refere a desconexão da rede pública de energia (*off grid*), mas diferencia pelo fato de ter outras fontes auxiliar de geração, por exemplo: pequenas centrais hidrelétricas (PCH), eólicas, termelétricas a Diesel ou gás natural. A dificuldade do uso de sistemas híbridos está no emprego de uma complexa unidade de controle e condicionamento de potência para otimização do uso das energias. Em geral, os sistemas híbridos se torna viável para o atendimento de um elevado número de consumidores (PINHO e GALDINO, 2014).

Sistemas Conectado à Rede

O sistema conectado à rede (*on - Grid*) dispensam ou não o uso de baterias, devido a energia gerada ser consumida pela carga, ou injetada a rede de distribuição de energia elétrica, com a finalidade de atender demais consumidores conectado à rede (Figura 15). A estrutura fotovoltaica funciona como uma fonte complementar do sistema elétrico, possui modelos definidos a partir da potência gerada e regulamentado para o emprego das mesmas, tais como: microgeração, minigeração e usinas fotovoltaicas (UFVs) (PINHO e GALDINO, 2014).

Figura 9: Diagrama de sistema fotovoltaico conectado à rede.



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

2.4 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Geração distribuída (GD) é definido como uma geração descentralizada de energia elétrica em menor escala e próximo a unidade consumidora, sendo um novo conceito para o mercado energético. Nos primeiros anos da geração de energia, a GD foi uma regra e não uma exceção. As primeiras usinas geradoras, nas quais eram de corrente contínua (DC), só podiam atender consumidores em pequena distancias. Com a evolução tecnológica, surgiu a corrente alternada (AC) que possibilitou o transporte de energia a longa distâncias. Como resultado, a construção de estruturas de transmissão interconectado com os grandes centros de geração, o que garantiu um aumento na confiabilidade da rede e uma redução do custo por unidade de energia (COE). Logo, a interconexão do sistema de transmissão tornou possível a economia de escala na geração de energia (PEPERMANS, DRIESEN e HAESLONCKX, 2005).

Diversas fontes de geração podem ser consideradas na área da GD, no âmbito das renováveis, se têm como as principais: eólicas, fotovoltaicas, biomassa e PCHs, na de não renováveis, apenas as termelétrica a gás ou diesel. Outra alternativa de GD pelo setor industrial é o aproveitamento dos resíduos dos processos, por exemplo: gases de alto forno nas siderúrgicas e a lixívia da celulose em indústria de papel (EPE, 2014).

O incentivo a geração distribuída começou nos EUA em 1992, com as desregulamentação do setor de geração de energia por meio da *Energy Policy Act*. Logo, diversos países, principalmente europeus, também realizaram reformas no setor energético com o propósito de incentivar a GD. Outro ponto que contribuiu para a expansão do setor, foi o avanço tecnológico nas áreas de computação, devido ao controle de processamento e telecomunicação garantir maior rapidez no volume de transmissão de dados (INEE, 2001).

Segundo o INEE (2001), a GD oferece inúmeras vantagens para o sistema elétrico, boa parte decorrente da proximidade ao local de consumo, dentre os quais se destacam:

- Demanda reprimida (entrega da demanda em curto prazo) por ter um tempo de instalação inferior à geração centralizada.
- Redução das perdas na transmissão, e adiamento no investimento para expansão do sistema elétrico.
- Redução dos riscos de planejamento.

No entanto, existem algumas desvantagens, como:

- Maior complexidade no planejamento e na operação do sistema elétrico (*garantida de “back-up”*).
- Dificuldade nos procedimentos e na realização de manutenção.

2.4.1 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

No Brasil, a GD iniciou as suas competências legais em 2012, a partir da regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) pela Resolução Normativa – REN nº 482, de 17/04/2012, que instruiu e formalizou o acesso de micro e minigeração distribuída de energia elétrica, e a elaboração do sistema de compensação de energia elétrica com a intenção de permitir ao consumidor prover energia de pequenos geradores em sua residência e comprar com distribuidora local. Além disso, o PRODIST² define os meios para o acesso de micro e minigeração a distribuidora local, onde nas unidades geradoras são impostas etapas de solicitação e de parecer técnico (ANEEL, 2016). Para critério de distinção a ANEEL, definiu os seguintes padrões:

² PRODIST: Procedimento de Distribuição de Energia Elétrica da ANEEL, Resolução Normativa – REN nº 687/2015

Tabela 2: Tipologia definida pela ANEEL para mini e microgeração

Potência instalada (P_i):	Classificação:
$P_i \geq 75 \text{ KW}$	Microgeração
$75 \text{ KW} \leq P_i \leq 3 \text{ MW}$	Minigeração (Fonte Hídrica)
$75 \text{ KW} \leq P_i \leq 5 \text{ MW}$	Minigeração (Demais Fontes)

Fonte: Adaptado (ANEEL, 2016)

Segundo a EPE (2014), no período decenal (2014-2023), se destacou a relevância da GD no fornecimento de energia para o setor elétrico brasileiro, onde se estima o abatimento na demanda em torno de 91 TWh. Sendo cerca de 99% deste valor, é devido a co-geração³ nas industriais de grande porte, especificamente nas siderúrgicas, química, papel, açúcar e produção de petróleo e gás natural. O crescimento anual previsto para esta categoria de geração é 6% a.a. para o mesmo período. Bem como, a GD em pequeno porte, em especial a fotovoltaica, se espera um aumento de capacidade instalada, de 644 MWp em 2023, ou seja, um avanço de 38% ao ano (EPE, 2014).

2.4.2 INCENTIVOS A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Segundo o IEA (2014), há duas políticas de incentivo à geração distribuída relevantes no mundo. A primeira é a política tarifa prêmio denominada de *Feed-in-Tariff* (FiT), que prevalece na maior parte da Europa, Austrália, Canadá e Japão, e o sistema de compensação chamado de *Net Energy Metering* (NEM), frequentemente combinado com incentivos fiscais, comum nos EUA e Brasil. Existe uma terceira política não usual, denominada como Certificado de Energias Renováveis (IEA, 2014).

As FiT são tarifas contratuais de longo prazo, acima de 15 anos, para um sistema de geração por fontes renováveis em uma propriedade. O custo de geração determina o valor da tarifa (unidades monetária por kWh), desse modo o valor pago pela energia injetada para rede é maior que o da energia comprada. Ao longo do contrato, o valor da tarifa é reduzido com o objetivo de incentivar uma diminuição do custo de geração, conseqüentemente uma boa administração promove uma compensação satisfatória aos investidores (FREITAS e HOLLANDA, 2015).

³ Co-geração ou Combinação de Calor e Energia (CHP): é a sequência de geração de duas formas diferentes de energia a partir de uma fonte primária. (MERŠE, VISOČNIK, *et al.*, 2011)

O sistema de compensação ou NEM é a modalidade de conceder créditos (em kWh) pela energia injetada na rede, sendo estes créditos descontados na fatura da energia comprada. Como não há comercialização de energia, existindo apenas um saldo de créditos, é necessário um balanço adequado de geração e consumo, com a finalidade de se obter uma sobreprodução de energia, e assim se chegar a um retorno satisfatório do investimento (FREITAS e HOLLANDA, 2015).

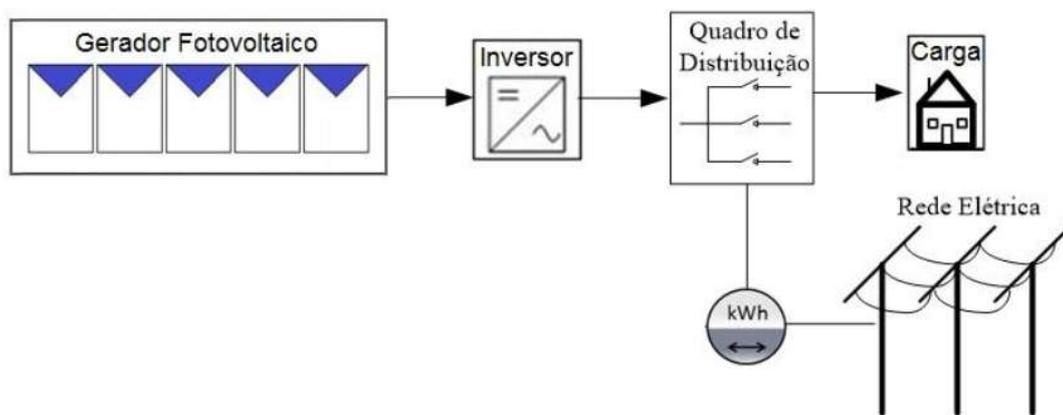
No Brasil, a ANEEL impõem por meio da Resolução Normativa (REN) 482 de 2012, o sistema de compensação de energia elétrica e detalha os métodos de pagamento para o período mensal de faturamento do proprietário. Quando a energia em excesso é injetado a rede de distribuição, é verificado um saldo positivo onde o proprietário terá até 36 meses para aplica-lo, caso não seja utilizado no determinado prazo, será zerado. Antes da resolução REN 482, uma propriedade podia instalar um sistema de geração somente para autoconsumo sem a conexão com a rede de distribuição, desta forma era necessário um sistema de *backup* (baterias) a fim de viabilizar o projeto. Após a resolução, este *backup* passou a ser a rede local de distribuição, visto que, quando não houvesse uma oferta de energia suficiente para propriedade, a rede local compensa a energia demandada (FREITAS e HOLLANDA, 2015).

Por fim a ANEEL concedeu a adequação das normas técnicas e definições dos padrões físico da mini e micro geração, as concessionárias de distribuição de energia elétrica, além de poder estabelecer os limites máximo de potência que a propriedade pode instalar. Desta forma, garante que não se passe a gerar energia a mais que ela própria possa consumir (FREITAS e HOLLANDA, 2015).

2.4.3 CONFIGURAÇÃO DOS SFVCRs NO BRASIL

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFVCRs) empregados para GD no mercado brasileiro, apresentam uma configuração padrão (Figura 12): gerador fotovoltaico, inversor, quadro de distribuição e medido bidirecional. Esta arquitetura é descrita pela ANEEL, que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2016).

Figura 10: Configuração padrão para um SFVCRs.



Fonte: (EC, 2004)

Vale ressaltar, para uma instalação solar, é necessária a troca do medidor para um modelo com leitura bidirecional, pois quando o sistema de energia solar produz mais energia do que você precisa, o ponteiro literalmente gira para trás. Só assim é possível garantir a compensação dos créditos na conta de energia. Contudo, consumidores conectados em baixa tensão também têm a possibilidade de usar dois medidores unidirecionais: um para aferir a energia consumida e outro, a gerada. E é a concessionária de energia local que orienta a melhor opção (ANEEL, 2016).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 TIPO DA PESQUISA

A natureza da pesquisa foi aplicada, com o propósito de gerar conhecimento de efeito prático, orientada para aplicações em problemas específicas. Quanto a forma de abordagem foi sobre um estudo de caso. Fonseca (2002) afirma que, um estudo de caso é a interpretação pragmática ou interpretativa, onde apresenta uma perspectiva global de forma mais completa e coerente possível, e assim averiguar o porquê de uma situação específica para diversos aspectos correlacionados (FONSECA, 2002).

O estudo de caso descrito no trabalho é um modelo de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição local (SFvCR) implementado no software Homer. Inicialmente é estipulado a previsão de carga demandada pelo sistema e o local da instalação prevista do modelo, após é feito o levantamento dos componentes a serem empregados e por fim, o estudo econômico e elétrico do sistema.

3.2 SOFTWARE HOMER

Modelo otimizado de microgeração desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) como forma de auxílio no design de sistemas de microgeração e facilitação na comparação das tecnologias de geração de energia para diversas aplicações. O HOMER modela o comportamento físico de um sistema de geração e o seu custo de vida útil, que nada mais é, do que total advindo do custo de instalação e o de operação do sistema. Compara ainda diferentes opções de design baseados nos seus méritos técnicos e econômicos, de maneira a entender e quantificar os efeitos das incertezas ou mudanças de entradas (LAMBERT, GILMAN e LILIENTHAL, 2006).

O software pode realizar modelos de microgeração conectado à rede (*grid-connected*) ou autônomos (*off-grid*), comparando com qualquer combinação de módulos fotovoltaicos, aerogeradores, PCH, biomassa e geradores termoelétricos. A

análise e estudo do sistema de microgeração pode ser um desafio, em virtude do grande número de parâmetros e de incertezas, como por exemplo: previsão da carga e o preço futuro do petróleo. Bem como, as energia renováveis que aumentam ainda mais a complexidade desta análise por serem intermitentes, sazonais e não dispersável. Contudo, o software foi desenvolvido para sobressair destes desafios (LAMBERT, GILMAN e LILIENTHAL, 2006).

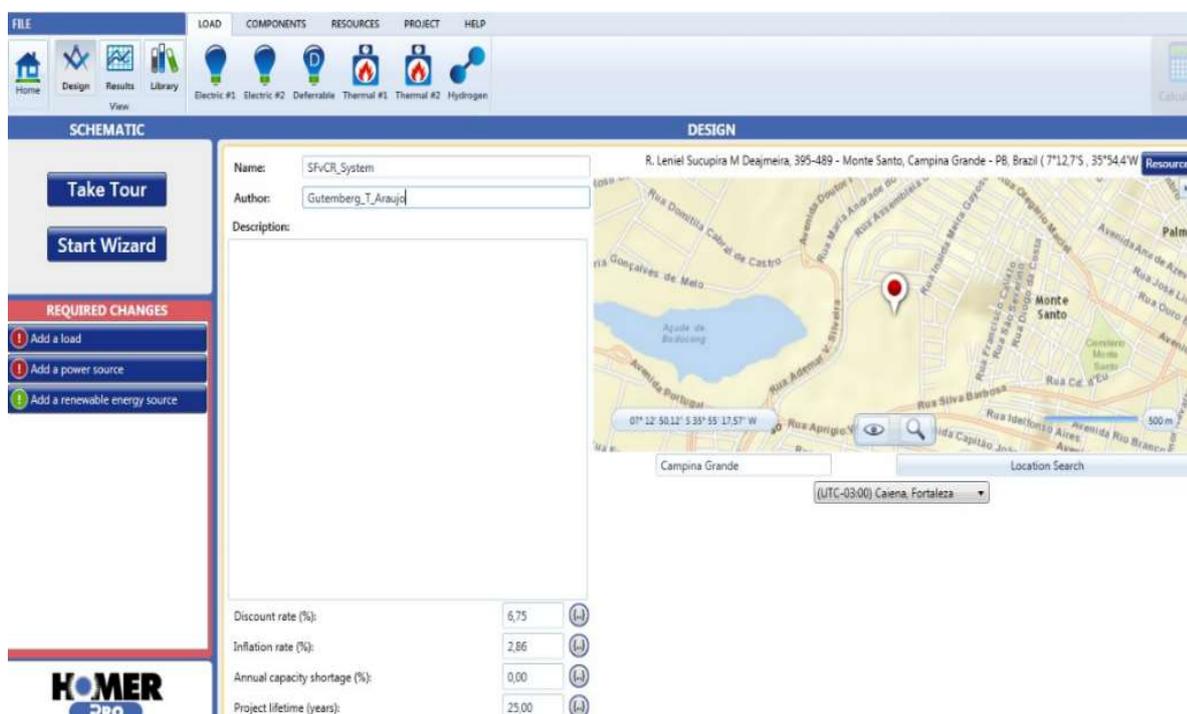
A três principais tarefas de modelagem, no software, para um sistema de microgeração são: simulação, otimização e análise sensitiva. No processo de simulação, é aferido os dados de cada configuração particular do sistema no período de análise, logo, se determina a viabilidade técnica e o custo de vida útil de cada configuração. No processo de otimização, para os diferente formatos de microgeração do sistema em estudo, são feitos uma pesquisa para quais configurações há o menor custo de vida útil. Na última tarefa a análise sensitiva, são realizadas múltiplas otimizações sob uma gama de pressupostos de entrada, com o propósito de avaliar as variáveis estocásticas ou mudança de entrada no modelo (LAMBERT, GILMAN e LILIENTHAL, 2006).

3.3 SIMULAÇÃO

3.3.1 PARÂMETROS DE ENTRADA

Inicialmente é definido os parâmetro de entrada conforme a localização do estudo (Figura 13), neste trabalho, foi realizado na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil, por sua infraestrutura local suportar conexão com a rede de distribuição local e a possibilidade de aplicação futura.

Figura 11: Janela inicial do software Homer.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Além disso, a inclusão dos recursos meteorológicos de Radiação solar, Temperatura e Vento, oriunda da Agência Espacial Americana (NASA) entre o período de 1983 e 2005. Outros dados são requisitados para avaliação econômica do projeto, conforme na Tabela 3.

Tabela 3: Valores de entrada para avaliação econômica do sistema.

Parâmetros	Valores
Taxa de Desconto (%)	6,75
Taxa de Inflação (%)	2,86*
Capacidade Anual de Falta (%)	-
Vida útil do Projeto (Anos)	25

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

*Taxa de Inflação dado IBGE (2018)

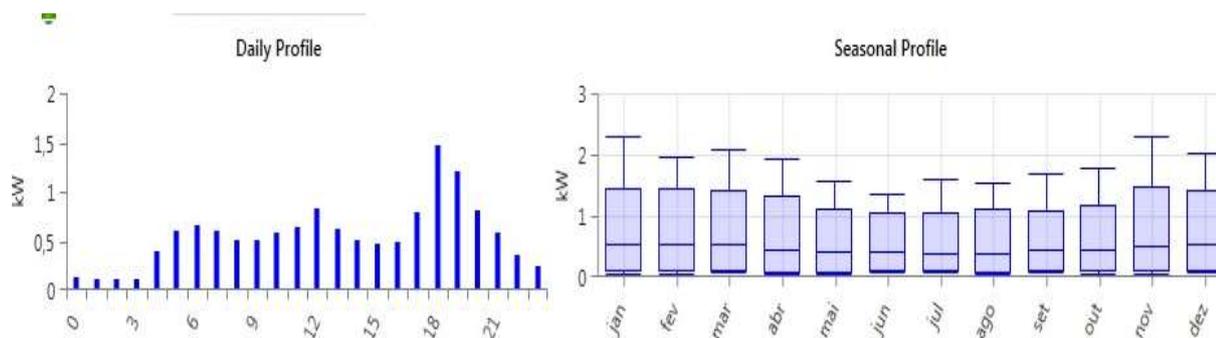
Para taxa de desconto, Lapponi (2005) descreve, como taxa livre de risco, em virtude o estudo caso encontra-se situado no Brasil, a taxa que o define é a SELIC, que alcançou o valor 6,75% no acumulado dos 12 últimos meses. A taxa de inflação empregada para o estudo de caso, fora obtida do IBGE (2018) e encontra-se em 2,86% no acumulado dos 12 últimos meses. A vida útil, refere-se à análise temporal do sistema em simulação, foi estabelecido um valor arbitrário de 25 anos.

3.3.2 SELEÇÃO DA CARGA

Após a seleção dos dados iniciais, podemos com a entrada da carga que o sistema suprirá, a partir da opção *Electric #1* (Figura 13), que permite idealizar o tipo de carga (Comercial, Industrial ou Residencial) e os valores assumidos no consumo médio diário em kW, para cada intervalo de hora. O Homer apresenta valores padrão pré definidos para cada tipo de carga, e em qual período ocorre pico de consumo energético podendo ser escolhido entre dois meses, janeiro ou julho. A referência mensal indica o período da estação em que a temperatura influencia o padrão de consumo, por exemplo: no hemisfério norte, o período de janeiro é o mais adequado para a situação devido as baixas temperaturas impor a utilização de dispositivos para aquecimento.

Para o desenvolvimento deste trabalho o perfil de carga selecionado, foi do tipo residencial, com o pico em janeiro (Anexo I), com os valores já pré definidos pelo software Homer.

Figura 12: Perfil diário (lado esquerdo) e perfil mensal (lado direito) do consumo da carga para os valores em Anexo I.



Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

Observa-se um pico da demanda nos horários entre 17 e 19 horas o que comprova uma característica fiel ao perfil residencial, somando-se ao aumento de consumo entre os meses de novembro e março o que denota o pico indicado para a carga do mês de janeiro (Figura 14).

Para uma análise no que se refere ao dimensionamento dos componentes do sistema, é necessário os valores médio de consumo.

Tabela 4: Valores do consumo médio da carga.

Métrica	Valores
Média diária (kWh/d)	11,25
Média (kW)	0,47
Pico (kW)	2,32
Fator de Carga ¹	0,2

Fonte: Elaborado pelo Autor,2018

¹Fator de Carga: segunda Aneel (2010), é a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado.

3.3.3 PAINEL FOTOVOLTAICO

Na análise deste painel, observando – se a opção *Components*, podemos visualizar na barra superior diversos segmentos para serem inseridos na arquitetura desejada, nos quais, apenas três serão empregados sendo eles: *PV*, *Converter* e *Grid*. Na seção *PV*, é designado a seleção do tipo de painel fotovoltaico e suas características, a Tabela 5 descreve o resumo dos dados requisitados pelo programa. Sendo necessário selecionar dados de painéis para este trabalho que estejam inseridos no mercado brasileiro. O painel *MaxPower CS6U-330p* da fabricante *Canadian Solar* feito à base de policristalino atende as especificações adequadas para o uso neste trabalho. No entanto, para quantificar o número ótimo de painéis para o sistema é necessário calcular a potência total de pico que atende à demanda da carga.

Tabela 5: Valores de referência para o modulo fotovoltaico *MaxPower CS6U-330p*, da *Canadian Solar* de composição policristalino.

Descrição	Valores
Vida Útil (Anos)	25
Fator de Redução ou Fator de Desempenho (%)	88
Potência Máxima de Pico (W_p)	330
Efeito da temperatura na potência ($\%/^{\circ}C$)	-0,41
Temperatura nominal de operação ($^{\circ}C$)	45
Eficiência em condições padrão de teste (%)	16,97

Fonte: (MINHA CASA SOLAR, 2018).

Para realização do cálculo do número de painéis, Pinho e Galdino (2014) descreve da seguinte forma, o dimensionamento do gerador fotovoltaico para SFCR é obtido a partir do valor total da potência de pico, dado a fórmula 2,

$$P_{fv}(Wp) = \frac{(E/TD)}{HSP_{MA}} \quad (2)$$

Onde, P_{fv} é a potência total de pico; E é consumo diário médio da carga; TD é a fator de desempenho do painel fotovoltaico; HSP_{MA} é a média diária anual da irradiação solar horizontal (GHI), onde o valor de GHI é gerado pelo próprio software a partir da opção *Resources* e sub função *Solar GHI*, trata da média diária anual para

a referida localidade como sendo $5,34 \text{ kWh/m}^2/\text{d}$. Realizando a equação 2, encontra-se o calculado abaixo:

$$P_{fv} = \frac{(11250/0,88)}{5,34} = 2394,02 \text{ W}_p$$

O valor da potência de pico é superior a instalação de uma unidade do MaxPower CS6U-330p, assim o software por meio da opção *Search Space*, condiciona a potência total que se deseja obter conforme o painel fotovoltaico escolhido. Assim, o HOMER requer variáveis financeiras e de posicionamento dos painéis fotovoltaicos, expostos na Tabela 6.

Tabela 6: Indicação dos parâmetros para o MaxPower CS6U-330P.

Descrição	Valores
<i>Search Space</i> (kW)	2,39
Valor Unitário ⁴ (R\$)	759,00
Capacidade (kW)	0,330
Capital (R\$)	759,00
Realocação (R\$)	759,00
Operação & Manutenção (R\$)	-
Rastreador Solar	Não
Inclinação do Painel (graus)	7,21
Azimute do Painel (graus)	180

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Dentro da indicação dos parâmetros e analisando as descrições nela apresentados observa-se que o capital investido e a realocação foram estimado apenas como sendo o valor unitário do painel MaxPower CS6U-330p sem acréscimo dos equipamentos secundários, sendo necessário ressaltar que o item operação e manutenção (O&P) não podem ser definidos já que necessitam de uma análise mais detalhada do mercado da região, dado para este fator, não foram apresentados valores para este referencial.

⁴ Valor Unitário do MAXPOWER CS6U-330p, segundo Minha Casa Solar (2018).

3.3.4 CONVERSOR

Com a produção de energia elétrica nos painéis fotovoltaicos são entregues em corrente contínua (CC), se faz indispensável o uso do conversor para alimentar a carga em corrente alternada (AC). Pinho e Galdino (2014) descrevem o dimensionamento do conversor segundo o Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI), e a partir deste parâmetro estabelece valores de referência recomendado pelos fabricantes na faixa de 0,75 a 0,85 com limite superior de 1,05, o FDI é determinado da seguinte equação 3:

$$FDI = \frac{P_{Nca}}{P_{fv}} \quad (3)$$

Atribuindo as seguintes explicações: P_{Nca} é a potência nominal em corrente alternada do inversor e P_{fv} é a potência total de pico do gerador fotovoltaico. Seja o valor do gerador fotovoltaico de 2394,02 W_p, com uso de um conversor do tipo *Galvo 2.5-1*, conforme descrito na Tabela 7, cuja potência nominal é 3100 W, logo o FDI é de aproximadamente 0,83 (valor adimensional). O que garante assim uma aplicação classificada como ótima.

Tabela 7: Valores de referência para o conversor *Fronius Galvo 2.5-1*.

Descrição	Valores
Potência de Saída (kW)	2,5
Eficiência (%)	96
Temperatura de Operação (°C)	-25 a +50

Fonte: (NEOSOLAR, 2018)

Por meio da opção *Search Space*, condiciona-se a potência total que se deseja, de acordo com o tipo do conversor designado. Além disso, o HOMER requer variáveis financeiras (Tabela 8) com a intenção de auferir resultados da viabilidade econômica do sistema. O que comprova sua eficiência no uso e na aplicação dos dados determinados.

Tabela 8: Indicação dos parâmetros para o *Fronius Galvo 2.5-1*.

Search Space (kW)	2,5
Valor Unitário (R\$)	8190,00
Capital (R\$)	8190,00
Realocação (R\$)	8190,00
Operação & Manutenção (R\$)	-

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018

Vale ressaltar que para o seguinte caso, o capital investido e a realocação foram estimados apenas como sendo o valor unitário do *Fronius Galvo* sem acréscimo dos equipamentos secundários. Não podendo neste caso também, ser estabelecido valores para o quesito O&M.

3.3.5 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

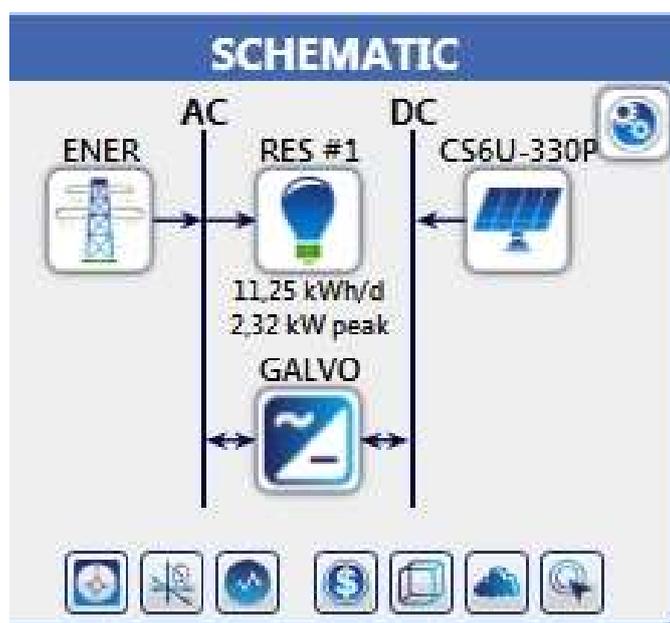
A especificação da rede de distribuição variam de acordo com a localidade onde o estudo de caso fora realizado, no estado da Paraíba, onde detém os direitos para a distribuição local, a empresa Energisa Borborema. No software, ocorreu uma parametrização quanto ao sistema de tarifação simples, aplicado neste caso o *Net Metering* com modificações, onde os valores de energia injetado na rede de distribuição será calculado como tarifa de compra, com o propósito de creditar no sistema a energia gerada em excesso.

De acordo com a Energisa (2018), a tarifa para compra de energia elétrica é definido pela modalidade que se deseja participar o consumidor e a sua classe. Sendo, para este estudo de caso escolhido a modalidade tarifária convencional com a classe residencial sem benefício. Chegando ao preço de 0,4988 R\$/kWh, que será referência para nossa análise.

4 ANÁLISE E DISCURSÃO

Com o estudo realizado e os parâmetros inseridos devidamente. Percebe se, o seguinte design construído pelo software (Figura 15). Onde, a geração de energia para a carga pode ser alimentada pela concessionaria responsável pela distribuição ou pelos painéis fotovoltaicos, a depender da demanda.

Figura 13: Design do sistema desenvolvido pelo Homer de acordo com os componentes inseridos.



Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

O estudo de caso é realizado apenas na condição do SFvCR, no entanto, para critério de avaliação da viabilidade econômica, o Homer apresenta duas condições possíveis do tipo de arquitetura para o fornecimento de energia a carga, a primeira é a conectada apenas com a rede de distribuição (Carga – Rede de Distribuição) e a segunda é o próprio SFvCR.

4.1 RESULTADO DO SFVCR

A produção de energia para a carga, são encontrados os levantamentos anuais do resultado quantitativo de energia do fora gerado pelo sistema (Tabela 9). Destaca-se que os valores de energia gerado, contabiliza além da geração fotovoltaica o consumo de energia pela rede de distribuição.

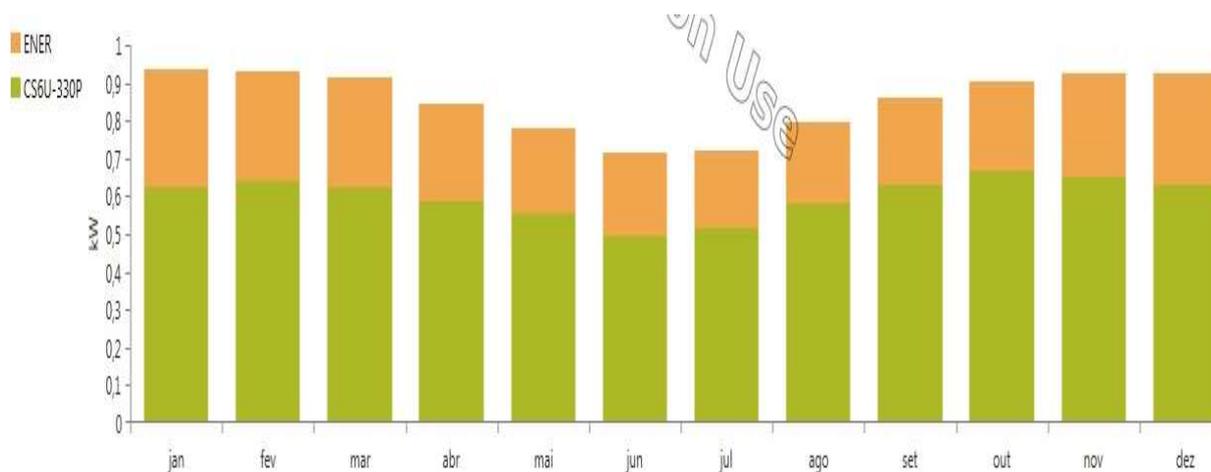
Tabela 9: Produção de energia pelo sistema.

Produção	kWh/ano	%
Canadian Solar Max Power CS6U-330P	5250,0	70,2
Energisa	2228,0	29,8
Total:	7478,0	100

Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

Na análise do sistema elétrico o simulador considerou que o sistema de geração fotovoltaico abastece 70,2% da energia gerada para a carga, e que os outros 29,8% sejam da demanda comprados da concessionaria. Mais ainda, a média mensal de produção de energia, comprova o efeito da sazonalidade dos painéis fotovoltaicos, ou seja, entre os meses de outubro a março, há um aumento na incidência da irradiação solar e assim uma maior geração de energia fotovoltaica (Figura 16).

Figura 14: Média mensal da produção de energia.



Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

É possível perceber que abastece produção de energia em boa parte foi concebida pela fonte fotovoltaica, o que demonstra uma excelente eficiência para o emprego deste tipo de geração por meio da arquitetura implementada.

Um ponto relevante no estudo elétrico do sistema, é o consumo energético. No Homer, a representação deste dado inclui além da quantidade da energia demandada pela carga, o valor da energia fornecida para a rede de distribuição.

Tabela 10: Consumo de energia pelo sistema.

Consumo	KWh/ano	%
Carga Primária AC	4105,0	57,0
Carga Primária DC	0	0
Energia Fornecida (Energisa)	3092,0	43,0
Total	7197,0	100

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

Analisando os dados apresentados na tabela anterior (Tabela 10), nota-se que o valor total de consumo não se equipara ao de produção porque o sistema apresenta grau de eficiência limitada nos conversores, em virtude da energia excedida ser oriunda apenas dos painéis solares, sobressair que esta energia é contabilizado como credito e descontado no próprio sistema em valores monetários (R\$/kWh).

4.2 AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Segundo Lambert, Gilman e Lilenthal (2006), a avaliação econômica do sistema é baseado em quatro formulas econômicas, que integram a composição para o fluxo de caixa, sendo elas descrita na Tabela 11. Ademais, a taxa real para o cálculo do fluxo de caixa descontado, é a taxa nominal menos a taxa de inflação, ou seja, todos os custos em valores reais.

Tabela 11: Formulas empregadas pelo Homer para simulação dos resultados econômicos.

Descrição	Formula	Variáveis
Valor Residual do Componente	$S = C_{rep} \frac{R_{rem}}{R_{com}}$	C_{rep} representa o custo de realocação, R_{rem} a vida útil restante e R_{com} a vida útil total.
Custo Presente Líquido (NPC)	$C_{NPC} = \frac{C_{ann,tot}}{CRF(i, R_{proj})}$	$C_{ann,tot}$ indica o custo total anual, i a taxa de desconto e R_{proj} a vida útil do projeto
Fator de Recuperação de Capital	$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$	N o número de anos, i a taxa real anual
Custo monetário por unidade de energia (COE)	$COE = \frac{C_{ann,tot}}{E_{prim} + E_{def} + E_{grid,sales}}$	E_{prim} é o valor de consumo de energia da carga primária que o sistema, E_{def} é o valor de consumo usual de energia em baterias e $E_{grid,sales}$ é a energia injetada na rede de distribuição.

Fonte: Adaptado (LAMBERT, GILMAN e LILIENTHAL, 2006)

A viabilidade econômica do SFvCR depende de uma comparação com um estudo individualizado, onde a carga apenas conectada ao sistema de distribuição de energia é o caso comparativo a ser analisado. Então, apresentados os dados econômicos para os dois casos são descrito nas Tabelas 12 e 13 respectivamente.

Tabela 12: Resultado econômico para configuração Carga - Rede de Distribuição no período de 25 anos, localizado na cidade de Campina Grande - PB.

Arquitetura	Carga – Rede de Distribuição	
Energisa	Energia Consumida(kWh)	4105,00
	Energia Excedida (kWh)	0,00
	O&M ¹ (R\$)	32743,41
	COE ² (R\$)	0,499
Custo	NPC ³ (R\$)	32743,00
	Custo de Operação (R\$/ano)	2048,00
	Capital Inicial (R\$)	0,00
Sistema	Energia Renovável (%)	0,0

Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

¹O&M: Operação e Manutenção

²COE: Custo monetário por unidade de energia

³NPC: Custo Presente Líquido

Vale ressaltar que, para arquitetura descrita na Tabela 12, o fornecimento de energia pela rede de distribuição (Energisa) apresenta apenas os valores de O&M, devido a toda estrutura de provimento de energia já está construído.

Na Tabela 13, encontra-se além dos valores de O&M para a rede de distribuição, os custos iniciais para a geração fotovoltaica e as respectivas realocações possíveis no decorrer da vida útil do projeto (25 anos), sendo tais componentes: os painéis fotovoltaicos (CS6U – 330P) e o conversor (Fronius Galvo 2.5-1). Ademais, o resultado negativo da O&M, é devido uma maior quantidade de energia injetada na rede, em comparação, com a demandada pela carga.

Tabela 13: Resultado econômico para configuração SFvCR, no período de 25 anos, localizado na cidade de Campina Grande - PB.

Arquitetura	SFvCR	
CS6U – 330P (Painel fotovoltaico)	Produção de Energia (kWh/ano)	5250,00
	Capital Inicial (R\$)	7522,00
Fronius Galvo 2.5-1 (Conversor)	Capital Inicial (R\$)	5154,00
	Realocação (R\$)	2953,41
	Valor Residual (R\$)	-679,19
Energisa	Energia Consumida(kWh)	2228,00
	Energia Injetado (kWh)	3092,00
	O&M (R\$)	-6888,98
	COE (R\$)	0,0701
Custo	NPC (R\$)	8061,00
	Custo de Operação (R\$/ano)	-288,63
	Capital Inicial (R\$)	12676,00
	Sistema	Energia Renovável (%)

Fonte: Elaborado pelo Autor,2018.

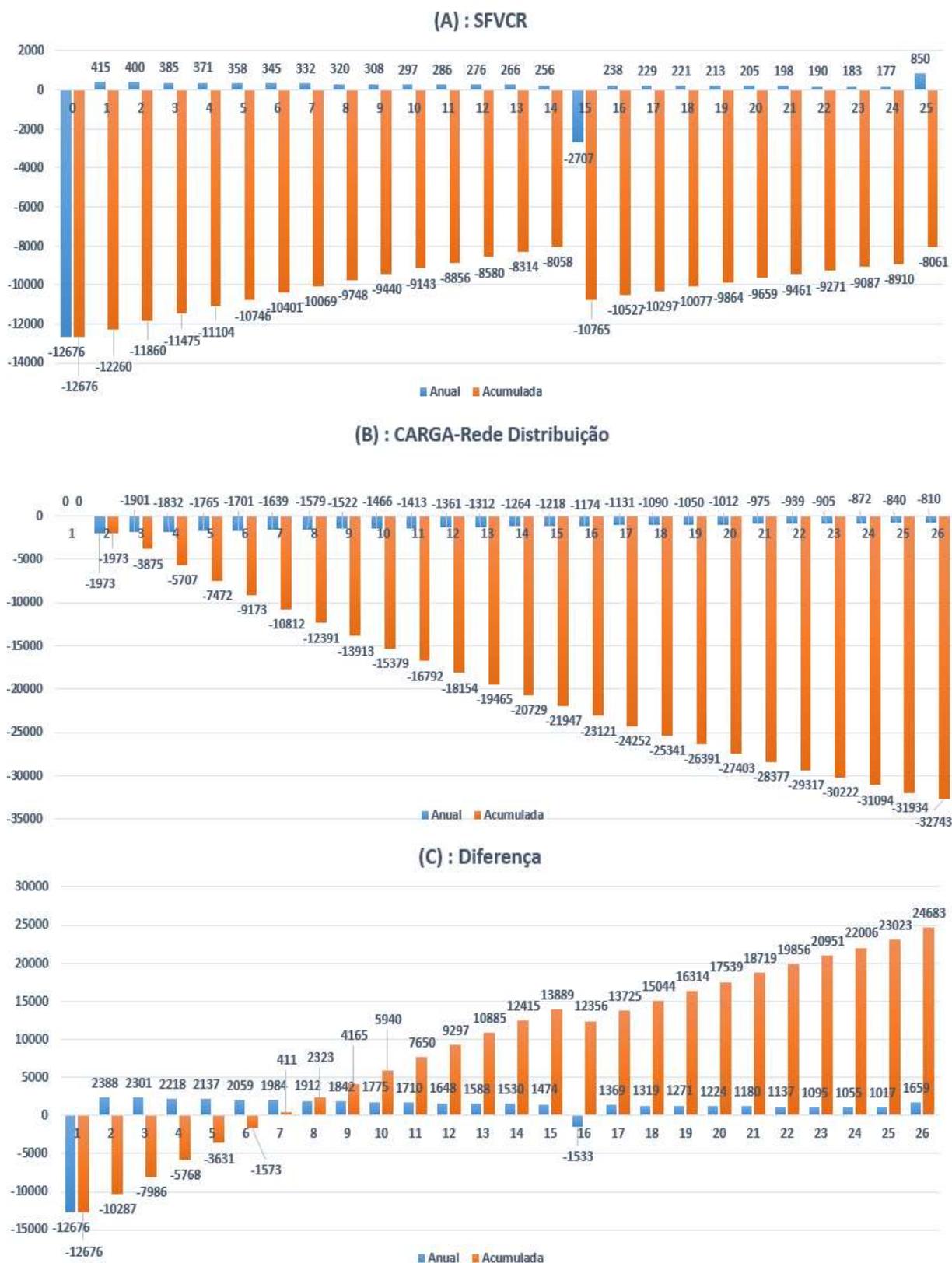
¹O&M: Operação e Manutenção

²COE: Custo monetário por unidade de energia

³NPC: Custo Presente Líquido

A demonstração dos resultados revelam que a arquitetura SFvCR exibe um COE menor, ou seja, com base no sistema apresentado e as possíveis formas como podem ser fornecida energia a carga o SFvCR entrega o melhor custo e benefício se comparado ao design Carga – Rede de Distribuição (Figura 17). Entretanto, o retorno financeiro é avaliado pelo fluxo de caixa descontado (inclusão da inflação), resultando assim num valor acumulativo para cada arquitetura e sua respectiva diferença.

Figura 15: Fluxo de caixa* descontado com os valores anuais e acumulado para: (A) SFvCR , (B) Carga - Rede de Distribuição, (C) A diferença entre (a) e (b)



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

*Todos os valores se encontram em Reais (R\$)

Finaliza-se esta análise de dados com o resultado do fluxo de caixa descontado, para as seguintes taxas com valores anuais constantes: inflação de 2,86%, desconto de 6,75%, real de 3,89%. Onde, o retorno financeiro estimado para o custo inicial do SFvCR é de 5,79 anos, ou seja, a partir deste período o sistema começa acumular ganho capital. Ao termino dos 25 anos estimados pelo projeto, são esperado um retorno do investimento de 14,7 % com capital acumulado de R\$ 24683,00.

Com a avaliação econômica apresentado, o software, atende os requisitos iniciais necessários para um projeto acerca da aplicação de geração distribuição e fontes renováveis. No entanto, a incerteza do mercado como a variação da taxa de inflação e os preços das tarifas de energia afeta as conclusões da análise econômica. Logo, é preciso constante revisão da simulação a fim de evitar discrepância com os resultados reais, esta questão se repete nos dados meteorológicos.

Portanto, avaliação elétrica e econômica não resulta num alto grau de confiabilidade, logo, exige a aplicação de técnicas mais elaboradas, por exemplo a análise de cenários, o que permite um menor grau de incerteza nos resultados esperados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo abordar as noções básicas de funcionamento de um gerador solar e de todo um SFvCR levando em conta a sua conversão em energia elétrica, as tecnologias empregadas nos modelos dos painéis fotovoltaicos e interligação a rede elétrica. Além de discorrer um estudo de caso no software Homer, de um sistema fotovoltaico conectado a uma carga com um perfil residencial situado na cidade de Campina Grande, no estado da Paraíba.

Percebe-se que a crescente demanda da tecnologia fotovoltaica no mundo, contribui ainda mais para o desenvolvimento de pesquisa na área de geração distribuída, em virtude da redução dos custos de investimentos e a indicação das perspectivas de manutenção deste cenário nos próximos anos. No Brasil, o governo tem dado ênfase na questão das energias fotovoltaicas regularizando todo setor de geração distribuída e promovendo incentivos financeiros por meio de programas de financiamento, principalmente com os SFvCRs.

Fica evidente que o uso de softwares com foco em geração distribuída e co - geração, visa auxiliar no desenvolvimento de projetos, com a finalidade de garantir maior eficiência energética e retorno financeiro, de forma a diminuir o tempo de estudo nestes pontos.

Durante a elaboração desse trabalho, foram encontradas dificuldades em obter informações consistentes sobre a localização do SFvCR, devido a indisponibilidade de dados meteorológicos, o que impossibilita a realização de um estudo mais refinado sobre a obtenção dos parâmetros de irradiação solar.

Conclui-se a partir da análise do potencial solar brasileiro que, existe um bom potencial para geração de energia elétrica que não é aproveitado, mas que os investimentos estão aumentando e o Brasil é hoje um dos países que mais investem nessa forma de geração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, p. 31, Maio 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: 20 Novembro 2017.

CRESESB. **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica - Princípios e Aplicações**. Centro Pesquisa de Energia Elétrica. Brasília, p. 28. 2012.

EC. **Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação**. Voltimun, 31 ago. 2004. Disponível em: <<https://www.voltimum.pt/artigos/manual-sobre-tecnologias-projecto-e>>. Acesso em: 10 Janeiro 2018.

EC. **Photovoltaic solar energy: Development and current research**. Ministry for EU Affairs, Luxembourg, p. 76, 2009. ISSN 978-92-79-10644-6. Disponível em: <https://www.ab.gov.tr/files/ardb/evt/1_avrupa_birligi/1_9_politikalar/1_9_6_enerji_politikasi/2009_report-solar-energy.pdf>. Acesso em: 16 Janeiro 2018.

ENERGISA. **Tipos de Tarifa**. ENERGISA, 2018. Disponível em: <<https://www.energisa.com.br/Paginas/informacoes/taxas-prazos-e-normas/tipos-tarifas.aspx>>. Acesso em: 24 Fevereiro 2018.

EPE. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Brasil. Rio de Janeiro, p. 22-50. 2012.

EPE. **Eficiência Energética e Geração Distribuída**. Brasil. Rio de Janeiro, p. 62. 2014.

EPIA. **Global Market outlook for photovoltaics 2017 - 2021**, 2017. Disponível em: <<http://www.epia.org>>. Acesso em: 5 Dezembro 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Universidade Estadual do Ceara. Fortaleza, p. 33. 2002.

FREITAS, B. M. R.; HOLLANDA, L. **Micro e Minigeração no Brasil: Viabilidade Econômica e Entraves do Setor**. Fundação Getúlio Vargas, 2015. Disponível em: <<http://fgvenergia.fgv.br/artigos/micro-e-minigeracao-no-brasil-viabilidade-economica-e-entraves-do-setor>>. Acesso em: 20 Janeiro 2018.

IEA. **Renewable Energy: Solar Energy Perspectives**. International Energy Agency, 2011. ISSN 978-92-6412-457-8. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Solar_Energy_Perspectives2011.pdf>. Acesso em: 22 Dezembro 2017.

IEA. **World Energy Outlook**. International Energy Agency, Paris, 2013. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2013.pdf>>. Acesso em: 16 Dezembro 2017.

IEA. **Technology Roadmap Solar Photovoltaic Energy**. International Energy Agency, 2014. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapSolarPhotovoltaicEnergy_2014edition.pdf>. Acesso em: 31 Janeiro 2018.

INEE. **Instituto Nacional de Eficiência Energética**, 29 jan. 2001. Disponível em: <<http://www.inee.org.br/download/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf>>. Acesso em: 20 Janeiro 2018.

ITACA. **Part 2: Solar Energy Reaching The Earth's Surface**. Itacanet, 2011. Disponível em: <<http://www.itacanet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-2-solar-energy-reaching-the-earths-surface/>>. Acesso em: 10 Janeiro 2018.

JÄGER, K. et al. In: JÄGER, K., et al. **Solar Energy: Fundamentals, Technology, and Systems**. 1. ed. Delft: Delft University of Technology, 2014. Cap. 1, p. 5-11.

LAMBERT, T.; GILMAN, P.; LILIENTHAL, P. **Micro Power System Modeling with Homer**. National Renewable Energy Laboratory. [S.l.], p. 379-381. 2006.

LAPPONI, J. C. **Matemática financeira: redesenho organizacional para o crescimento**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, v. I, 2005. p. 27.

LOHMANN, S. et al. **Long-term variability of solar direct and global radiation derived from ISCCP data and comparison with reanalysis data**. Solar Energy, 20 March 2006. 1390-1401.

MEDEIROS, E. F. D.; SHAYANI, R. A.; ASSUNÇÃO, F. C. R. **Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica**. Congresso Brasileiro de Energia Solar, Brasília, p. 4-5, 2009. Disponível em: <https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/CGEE+-+Artigo+III+CBENS+-+Rev+1_7565.pdf/0ee04ba2-9005-46c2-aa77-bb302be68da0?version=1.0>. Acesso em: 20 Novembro 2017.

MERŠE, S. et al. **Cogeneration case studies handbonk: code project**. Energy Efficiency Centre. Ljubljana, p. 5-6. 2011. (978-961-264-031-6).

MINHA CASA SOLAR. **Minha Casa Solar**, 2018. Disponível em: <<https://www.minhacasasolar.com.br/produto/painel-solar-330w-canadian-solar-cs6u-330p-79230?atributo=178:UNICA&atributo=25:U&atributo=26:UNICA>>. Acesso em: 21 fevereiro 2018.

NEOSOLAR. **Neosolar**, 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/inversor-fronius-galvo-2-5-1-2-500w.html>>. Acesso em: 22 Fevereiro 2018.

PEPERMANS, G.; DRIESEN, J.; HAESELDONCKX, D. **Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues**. Energy Policy, Leuven, v. XXXIII, p. 787-798, 20 April 2005. ISSN 0301-4215.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL. Rio de Janeiro, p. 497. 2014.

RUTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos : o potencial da geração solar fotovoltaico integrada a edificações urbanas e interligada á rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: UFSC / LABSOLAR, v. I, 2004. Cap. 5, p. 20-27.

ANEXO II – FLUXO DE CAIXA DESCONTADO (R\$),

Ano	Fluxo de Caixa Descontado*					
	SFvCR		Carga – Rede Distribuição		Diferença	
	Anual	Acum.	Anual	Acum.	Anual	Acum.
0	-12676	-12676	0	0	-12676	-12676
1	415	-12260	-1973	-1973	2388	-10287
2	400	-11860	-1901	-3875	2301	-7986
3	385	-11475	-1832	-5707	2218	-5768
4	371	-11104	-1765	-7472	2137	-3631
5	358	-10746	-1701	-9173	2059	-1573
6	345	-10401	-1639	-10812	1984	411
7	332	-10069	-1579	-12391	1912	2323
8	320	-9748	-1522	-13913	1842	4165
9	308	-9440	-1466	-15379	1775	5940
10	297	-9143	-1413	-16792	1710	7650
11	286	-8856	-1361	-18154	1648	9297
12	276	-8580	-1312	-19465	1588	10885
13	266	-8314	-1264	-20729	1530	12415
14	256	-8058	-1218	-21947	1474	13889
15	-2707	-10765	-1174	-23121	-1533	12356
16	238	-10527	-1131	-24252	1369	13725
17	229	-10297	-1090	-25341	1319	15044
18	221	-10077	-1050	-26391	1271	16314
19	213	-9864	-1012	-27403	1224	17539
20	205	-9659	-975	-28377	1180	18719
21	198	-9461	-939	-29317	1137	19856
22	190	-9271	-905	-30222	1095	20951
23	183	-9087	-872	-31094	1055	22006
22	177	-8910	-840	-31934	1017	23023
23	850	-8061	-810	-32743	1659	24683

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2018.

*Todos os valores se encontram em Reais (R\$)