



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EIDER CÁSSIO ALVES FERREIRA

**MICRO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO CEARÁ: ANÁLISE DE VIABILIDADE
TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA COELCE.**

FORTALEZA

2016

EIDER CÁSSI ALVES FERREIRA

**MICRO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO CEARÁ: ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO-
ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DA COELCE.**

Trabalho de Conclusão de Curso submetida à
Universidade Federal do Ceará, como requisito para
obtenção do grau de graduado em Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Daher

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

E34m Eider Cássio Alves, Ferreira.

Micro geração fotovoltaica no ceará : análise de viabilidade técnico-econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede de distribuição da Coelce / Ferreira Eider Cássio Alves. – 2017.
68 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Sérgio Daher.

1. Fotovoltaico. 2. Regulação. 3. Viabilidade econômica. I. Título.

CDD 621.3

EIDER CÁSSIO ALVES FERREIRA

**MICRO GERAÇÃO FOTOVOLTAICA NO CEARÁ: ANÁLISE DE
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO
CONECTADO À REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA COELCE.**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetida à Universidade Federal do
Ceará, como requisito para obtenção do
grau de graduado em Engenharia Elétrica

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. –Ing. Sérgio Daher (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco José Firmino Canafístula
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. –Ing. Prof. Tobias Rafael Fernandes Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais.

AGRADECIMENTO

A Deus, pelo dom da vida e por todas as graças dadas a mim.

Aos meus pais, Socorro e Rocha, que me deram todas as condições para traçar minha jornada e sempre me incentivaram a continuar buscando realizar meus sonhos.

A minha irmã Kelvia e aos amigos e colegas, pela ajuda e incentivo.

Aos participantes da banca examinadora pelo tempo e atenção, em especial ao professor Sergio Daher pelas valiosas colaborações e sugestões.

A todas as pessoas que por motivo de esquecimento não foram citadas anteriormente, vou deixar neste espaço minhas sinceras desculpas.

“Muitos homens devem a grandeza da sua vida aos obstáculos que tiveram que vencer.”

C. H. Spurgeon

RESUMO

Devido às suas características climáticas e sua localização distante de grandes usinas hidrelétricas, o Ceará apresenta uma conjuntura bastante propícia para o desenvolvimento da energia fotovoltaica, ainda mais com a criação da Resolução Normativa N°482, de 17 de abril de 2012 que estabeleceu um novo modelo de operação.

Este trabalho tem como finalidade apresentar uma análise de viabilidade técnico-econômica de um sistema de microgeração fotovoltaica conectado à rede de distribuição da COELCE. Para isso são utilizados os indicadores econômicos *payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), tomando como base os custos estimados na elaboração, no dimensionamento e na instalação de um projeto apresentado.

No caso onde a taxa de desconto foi de 10%, pode-se observar, na análise, um VPL positivo de 9.080 reais e um *payback* igual a 15 anos. Assim, apesar do elevado custo de implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede, é possível obter lucro, dependendo da taxa de juros usada.

Palavras-chave: Minigeração. Fotovoltaico. Regulação. Viabilidade econômica.

ABSTRACT

Because of its weather and its far location from large hydroelectric plants, the Ceará presents a very favorable situation for the development of photovoltaics energy, especially with the new Resolution 482 of 17 April 2012 establishing a novel operating model.

This work aims to present an analysis of technical and economic feasibility of a photovoltaic microgeneration system connected to the distribution network COELCE. Thereunto, it were used the payback economic indicators, NPV (Net Present Value) and IRR (Internal Rate of Return), based on the estimated costs of energy generation, design and installation of a project.

In the case where the discount rate of is applied 10%, it can be observed in the analysis, a positive NPV actual payback R\$ 9.080 and this means 15 years. Thus, despite the high cost of deploying a photovoltaic system connected to the network, it is possible to profit, depending on the interest rate used.

Keywords: Minigeneration. Photovoltaic. Regulation. Economic viability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da Capacidade Instalada de Energia Fotovoltaica Acumulada de 2000 à 2014 (MW).....	16
Figura 2 – Mapa do mundo de irradiação global horizontal.....	21
Figura 3 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica.....	23
Figura 4 – Painéis fotovoltaicos com células do tipo: (a)monocristalino; (b)policristalino; (c)filme fino a-Si; (d) CdTe; (e) CIS/CIGS; (f) OPV.....	25
Figura 5 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo com diodo)	27
Figura 6 – Curva I-V de um módulo fotovoltaico.....	27
Figura 7 – Influência da radiação solar sobre a curva I-V.....	29
Figura 8 – Influência da temperatura sobre a curva I-V.....	30
Figura 9 – Símbolo elétrico do inversor	30
Figura 10 – Ilustração de uma planta de geração distribuída.....	33
Figura 11 – Quadro dos módulos que compõe o PRODIST.....	35
Figura 12 – Planta de situação da residência.....	42
Figura 13 – Esquema básico de ligação para o sistema solar	48
Figura 14 – Diagrama de blocos da conexão SFV - carga.....	48
Figura 15 – Diagrama unifilar da geração com as funções de proteção.....	50
Figura 16 – Diagrama de blocos da conexão SFV – proteção e seletividade.....	53
Figura 17 – Quadro de proteção e controle do SFV e medidor Coelce.....	54
Figura 18 – Esquema fixação SFV.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Maiores potências instaladas em células fotovoltaicas por país.....	17
Tabela 2 –	Características gerais do sistema elétrico coelce.....	37
Tabela 3 –	Forma de conexão.....	37
Tabela 4 –	Ajustes de sobretensão e subtensão – BT.....	39
Tabela 5 –	Ajustes de sobrefrequência e subfrequência.....	40
Tabela 6 –	Limite de distorção harmônica de corrente.....	40
Tabela 7 –	Faixa de fator de potência.....	41
Tabela 8 –	Localização do microgerador.....	43
Tabela 9 –	Carga e consumo presumível médio de cada equipamento.....	44
Tabela 10 –	Histórico de consumo.....	45
Tabela 11 –	Energia gerada por mês.....	47
Tabela 12 –	Queda de tensão na saída AC dos inversores.....	51
Tabela 13 –	Investimentos totais.....	57
Tabela 14 –	Estimativa do <i>payback</i> simples do investimento.....	58
Tabela 15 –	Estimativa do <i>payback</i> descontado do investimento.....	60
Tabela 16 –	Calculo do VPL e da e TIR.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agricultura
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.
EPIA	<i>European Photovoltaic Industry Associatio</i>
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor Amplo
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SIN	Sistema Integrado Nacional
TIR	Taxa Interna de Retorno
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	CÁPITULO 1 - INTRODUÇÃO	15
1.1	Evolução da geração fotovoltaica.....	15
1.2	O porquê de se utilizar micro geração fotovoltaica.....	18
1.3	Principais dificuldades encontradas pela micro e mineração.....	19
1.4	Estrutura do trabalho.....	20
2	CAPÍTULO 2 - CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	21
2.1	Energia Solar	21
2.2	Efeito fotoelétrico	22
2.3	Célula fotovoltaica	23
2.3.1	<i>Parâmetros elétricos das células fotovoltaicas</i>	<i>26</i>
2.3.2	<i>Efeito de fatores ambientais que influenciam os parâmetros elétricos</i>	<i>29</i>
2.4	Inversor	30
2.5	Geração Distribuída	32
2.6	Microrgeração Fotovoltaica	33
2.6.1	<i>Definição</i>	<i>33</i>
2.6.2	<i>Resolução Normativa 482 ANEEL</i>	<i>34</i>
2.6.3	<i>Procedimentos de Distribuição (PRODIST)</i>	<i>35</i>
2.6.4	<i>Norma Técnica NT-10/2015 Coelce</i>	<i>36</i>
3	CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM BAIXA TENSÃO	42
3.1	Caso Exemplo	42
3.1.1	<i>Localização da residência.....</i>	<i>42</i>
3.1.1	<i>Posicionamento do sistema solar.....</i>	<i>43</i>
3.2	Carga Instalada	43
3.2.1	<i>Cálculo da Demanda Média</i>	<i>44</i>
3.2.2	<i>Cálculo do Fator de Carga Médio</i>	<i>45</i>
3.3	Dados de Consumo Medido	45

3.4	Painéis Fotovoltaicos	45
3.4.1	<i>Energia Média Gerada</i>	46
3.5	Diagramas	48
3.5.1	<i>Diagrama de Blocos</i>	48
3.5.1.1	<i>Parametrização do Inversor</i>	49
3.6	Instalação Elétrica Atual	51
3.6.1	<i>Dimensionamentos da Proteção e Alimentação do SFV</i>	51
3.6.2	<i>Coordenação entre o Disjuntor do SFV e da Proteção Geral Residencial</i>	53
3.6.3	<i>Quadros de Comando e Medição.....</i>	54
3.6.4	<i>Instalação dos módulos fotovoltaicos.....</i>	54
4	CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO	57
4.1	<i>Payback</i>	57
4.1.1	<i>Payback descontado</i>	59
4.2	<i>VPL e TIR</i>	61
5	CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO	64
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
	-	
7	ANEXOS.....	68
	Anexo A - Irradiação Solar Próxima À Residência.....	68
	Anexo B - Ficha Técnica Do Pannel YL250P-29Bb.....	69

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1 Evolução da geração fotovoltaica.

O estado atual de desenvolvimento da sociedade deve-se a capacidade humana de manusear os diversos recursos energéticos, que conseguem suprir as necessidades e garantir a sobrevivência. Como exemplo, pode-se mencionar a habilidade do homem de controlar o fogo, que o beneficiou com a energia térmica para o aquecimento, o preparo de alimentos e a proteção, mesmo antes da formação das civilizações.

No período da revolução industrial, ocorreu um grande crescimento populacional que elevou consideravelmente o consumo energético, gerando preocupação quanto ao abastecimento, devido à expressiva utilização do carvão e do petróleo. No século XX, o uso intensivo de recursos energéticos continuou sendo um dos grandes desafios da humanidade. Desde a crise primeira mundial do petróleo, deu-se um grande impulso na busca de fontes renováveis de energia e de uma menor dependência de recursos limitados.

Visto que o sol é a mais importante fonte de energia do planeta, fornecendo luz e calor, a energia fotovoltaica, que é a conversão direta da luz em energia elétrica, mostra-se uma escolha favorável para o fornecimento energético com baixo impacto ao meio ambiente, algo requerido pelo processo de evolução da sociedade moderna, indicando uma importância substancial nesse movimento.

O início da utilização da energia fotovoltaica aconteceu devido à necessidade das empresas do setor de telecomunicação utilizar sistemas que tivessem autonomia em regiões distantes. Outro fato capaz de provocar avanço foi a disputa ocorrida entre Estados Unidos da América (EUA) e a União Soviética (URSS) pela supremacia na exploração da tecnologia espacial, pois a célula fotovoltaica (elemento básico na conversão de luz em eletricidade) é a opção mais leve, barata e segura, para alimentar os equipamentos espaciais que necessitam energia por um longo período (MOEHLECKE et. al., 2014).

Com a primeira crise do petróleo, as empresas petrolíferas dos EUA resolveram empregar recursos também no setor de energias renováveis. Na mesma época, ocorreram desenvolvimentos importantes nas células fotovoltaicas, como a criação da célula Poli-Si, fazendo com que, em 1978, as aplicações terrestre superem as aplicações espaciais, alcançando

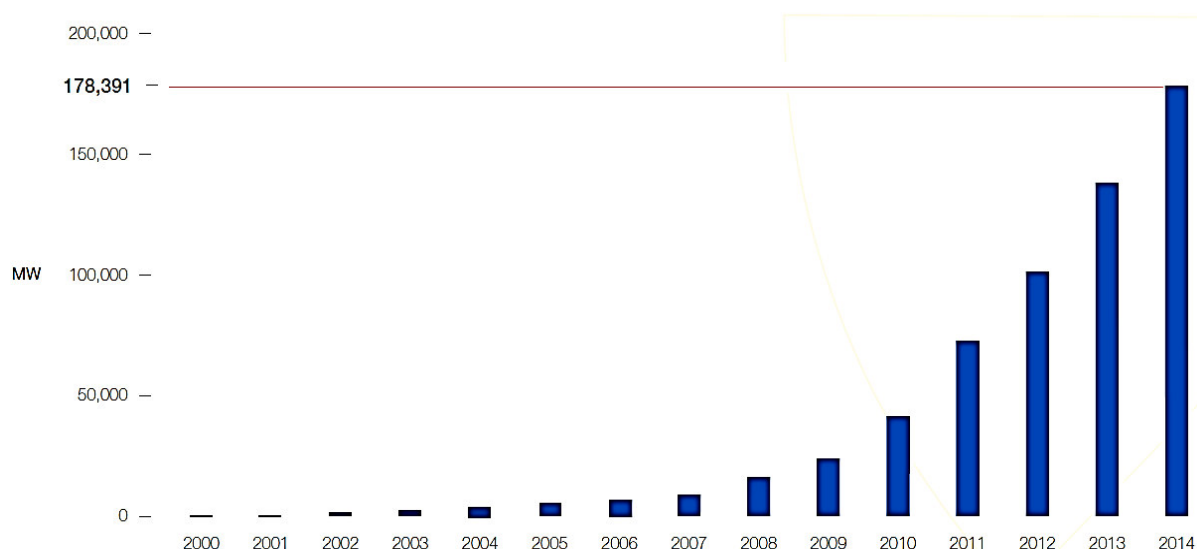
a produção de 1 MWp. O watt-pico (Wp) é unidade de potência associada a uma célula, módulo ou gerador fotovoltaico (MOEHLECKE et. al., 2014).

Na década de 80, centrais fotovoltaicas de médio porte, de dezenas e centenas de kWp, foram instaladas pela Europa e EUA, país que foi líder mundial na produção de energia até boa parte da década de 90, onde esta tecnologia era empregada em eletrificações de zonas rurais. Em 1996 a produção mundial de células fotovoltaicas atingiu a marca de 80 MWp (CIER, 2003).

Buscando um aumento significativo nesse setor, Alemanha e Japão, a partir de compromissos com a redução de CO₂ mencionados no protocolo de Kyoto, determinam políticas governamentais para incentivar um aumento na produção para abastecer tanto o mercado interno como o externo. Mas o grande aumento da produção fotovoltaica aconteceu em 2006, com o salto econômico da China, que detém a liderança na fabricação de módulos fotovoltaicos.

É bem verdade que a participação da energia fotovoltaica, na matriz energética mundial, não é tão alta, contudo, ela teve um aumento de 4.500% entre os anos de 2004 e 2014, e nesse último ano a potência total instalada atingiu 178 GW que equivale aproximadamente treze vezes a capacidade instalada da usina hidrelétrica de Itaipu, que possui 14 GW. A Figura 1 apresenta a elevação da potência instalada no mundo de células fotovoltaica do ano 2000 ao ano de 2014 (EPIA, 2015).











Figura 1 – Evolução da Capacidade Instalada de Energia Fotovoltaica Acumulada de 2000 à 2014 (MW).



Fonte: Adaptado da (EPIA, 2015).

A Tabela 01 mostra os principais países produtores de energia fotovoltaica. Verifica-se que a Alemanha é a maior produtora, com 18% da potência total instalada e que juntos, Alemanha, China, Japão, Itália, Estados Unidos e França - todos países com políticas fortes de diversificação energética, em 2014, possuíam 70% da capacidade mundial.

Tabela 1 – Maiores Potências Instaladas em Células Fotovoltaicas por País.

	País	Potência (GW)	Percentual em relação ao total
1°	Alemanha 	31,29	18%
2°	China 	28,1	16%
3°	Japão 	23,3	13%
4°	Itália 	18,5	10%
5°	EUA 	18,3	10%
6°	França 	5,7	3%
7°	Espanha 	5,4	3%
8°	Reino Unido 	5,1	3%
9°	Australia 	4,1	2%
10°	Bélgica 	3,1	2%

Fonte: Adaptado da (IEA,2014)

O Brasil é um país privilegiado em relação à radiação solar, registrando uma variação de 8 a 22 Megajoule por metro quadrado, tendo a região nordeste apresentado as melhores condições nessa variável. Na comparação, nenhum dos três países que mais investem nessa fonte de energia possui melhores condições. Apesar das oportunidades, existem diversos obstáculos institucionais e tributários para o desenvolvimento desse recurso. Assim sendo, algumas medidas de incentivo são indispensáveis (SONDA, 2016).

Existem previsões que o consumo de energia elétrica triplique no Brasil até o ano de 2050. Para garantir uma maior segurança e sustentabilidade, uma maior participação das fontes de energia renováveis na matriz energética é fundamental. Buscando isto, o país vem desenvolvendo em conjunto com o setor privado políticas públicas que auxiliem esse processo, usando energia fotovoltaica (EPE, 2014).

1.2 O porquê de se utilizar microgeração fotovoltaica.

Baseadas em fontes renováveis, a criação de unidades geradoras de pequeno ou médio porte, localizadas em residências, condomínios, edifícios residenciais, comerciais ou pequenas indústrias, tem crescido em diversos países, principalmente nos mais desenvolvidos. Este aumento acontece devido a implantação de políticas de incentivo, com a remuneração dos excedentes de energia injetada na rede elétrica, ou por melhores formas de financiamento do sistema de geração. Procura-se, assim, a redução da emissão de poluentes pelas fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis, responsáveis diretos pelas mudanças climáticas e o aquecimento global.

O setor elétrico brasileiro tem como característica uma grande participação de fontes renováveis, com uma larga porcentagem de geração hidrelétrica, algo que torna a pressão pela diminuição da geração com fontes não renováveis menor. Contudo, a localização distante dos sistemas hidrelétricos, as diversas restrições ambientais, os impactos sociais e as dificuldades econômicas ligadas à construção de grandes empreendimentos de geração indicam a necessidade da diversificação da matriz energética nacional, algo vital para sua expansão.

Segundo estimativas da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, a quantidade de perdas, na transmissão e na distribuição, corresponde a 19% da eletricidade produzida no país. Com isso, a Geração Distribuída pode ser utilizada para a diminuição desse prejuízo devido sua proximidade com o local de consumo e, também, por oferecer uma opção às regiões não conectadas ao SIN.

Nos anos de 2014 e 2015, graças ao baixo nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas brasileiras, ocasionado pelas secas no período, as usinas térmicas foram acionadas plenamente, fazendo com que o preço da produção de energia elétrica crescesse. Tais custos foram repassados aos consumidores.

De acordo com a ANEEL, em 2015, o reajuste na conta de energia elétrica teve uma alta acumulada de 49,9%, valor muito acima da inflação esperada. Apesar do crescimento desse período, o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo) acumulado nesse ano foi de 10,67%. Atualmente, o custo para produção da energia solar fotovoltaica mostra uma tendência inversa à disposição apresentada pela tarifa de energia elétrica. Como já demonstrado, o alto crescimento indicado dessa fonte é algo realmente expressivo, que vem diminuindo despesas e tendo um papel cada vez mais importante, ao contribuir para se conseguir uma maior representatividade da geração distribuída, algo que deve cooperar para o avanço do Brasil.

Até pouco tempo, o acesso à rede elétrica da distribuidora de energia não era possível para pequenos sistemas de geração no Brasil, os chamados microgeradores e minigeradores. Esforçando-se para responder a esta conjuntura, a ANEEL vem produzindo resoluções que favorecem diretamente essa modalidade de abastecimento.

A Resolução Normativa nº 482, criada em abril de 2012, estabeleceu, de acordo com seu artigo 1º, “as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuídas ao sistema de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica”, baseando-se em créditos de energia. Se o resultado da diferença entre a energia gerada e a energia consumida for positivo, o proprietário do sistema ganha créditos de energia, que podem ser utilizados para abater o valor cobrado pelo consumo nos próximos 5 anos.

Os projetos de minigeração e microgeração são baseados em fontes intermitentes de energia em sua maioria, em particular eólica e solar fotovoltaica. Devido à geração eólica apresentar uma variação elevada em curto prazo causada pela inconstância na velocidade dos ventos, a energia solar fotovoltaica é a tecnologia predominante.

A Empresa de Pesquisa Energética publicou, em dezembro de 2014, na Nota Técnica DEA 26/14^a, a partir um estudo de previsão, que, em 2023, a geração distribuída fotovoltaica de pequeno porte atingirá 664 MWp, elevando em 166 vezes a capacidade instalada até então. Tal estudo é considerado conservador, pois foi feito assumindo que as tarifas evoluíssem em linha com a inflação, algo que não vem acontecendo no Brasil nos últimos anos (KUNIZO, 2014).

1.3 Dificuldades encontradas pela micro e minigeração.

Apesar da minigeração e microgeração estarem ganhando espaço no Brasil e trazendo vantagens, como a menor necessidade de megaempreendimentos de geração, a redução de perdas e uma maior autonomia para o consumidor no atendimento à sua demanda, existem diversos pontos a serem bem equacionados para uma consolidação da geração distribuída na matriz energética nacional.

Problemas técnicos e econômicos são introduzidos ao sistema, devido à localização, intermitência e o ciclo de produção dessas fontes, em particular a eólica e a solar fotovoltaica. A geração eólica mostra uma variação mais alta em curto prazo causada pela incerteza na velocidade dos ventos. Apesar de mais previsível, a geração fotovoltaica pode apresentar grandes oscilações devido à presença de nuvens na região. Esta ainda apresenta um ciclo diário

que se acaba no começo da noite e só volta no amanhecer, atingindo um valor máximo por volta do meio dia.

As dificuldades associadas a microgeração no Brasil estão ligadas a outras complicações como: a burocracia, o custo implantação, a falta de informação, a carência de mão de obra especializada, a insuficiência de fabricantes de equipamentos nacionais e a uma certa inércia do poder público. Superar tais obstáculos é algo indispensável para o desenvolvimento pleno dessa tecnologia.

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentado uma introdução, com um histórico sobre a evolução dessa tecnologia, um panorama acerca do atual cenário brasileiro e a estrutura do trabalho.

Por sua vez, o segundo capítulo formula uma compreensão básica sobre o tema. São expostos os conceitos de energia solar e de efeito fotoelétrico, além de uma abordagem sobre os equipamentos utilizados. Em especial, discorre-se acerca das células fotovoltaicas e seus parâmetros elétricos. Também nessa parte do trabalho, busca-se mostrar quais são as legislações e as normas que regulam os projetos de microgeração, com foco na Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL e na Norma Técnica 010/2015 da Coelce.

No terceiro capítulo, é apresentado um estudo de caso, sintetizando as etapas de projeto, de dimensionamento e de instalação de um sistema de microgeração no Ceará, com o memorial de cálculo e o dimensionamento de condutores e equipamentos de proteção.

O quarto capítulo exibe uma avaliação da viabilidade econômica, a partir dos indicadores econômicos *payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), em função dos critérios técnicos e econômicos estabelecidos. Finalmente, no quinto capítulo são expostas as conclusões.

CAPÍTULO 2 – CONCEITOS FUNDAMENTAIS

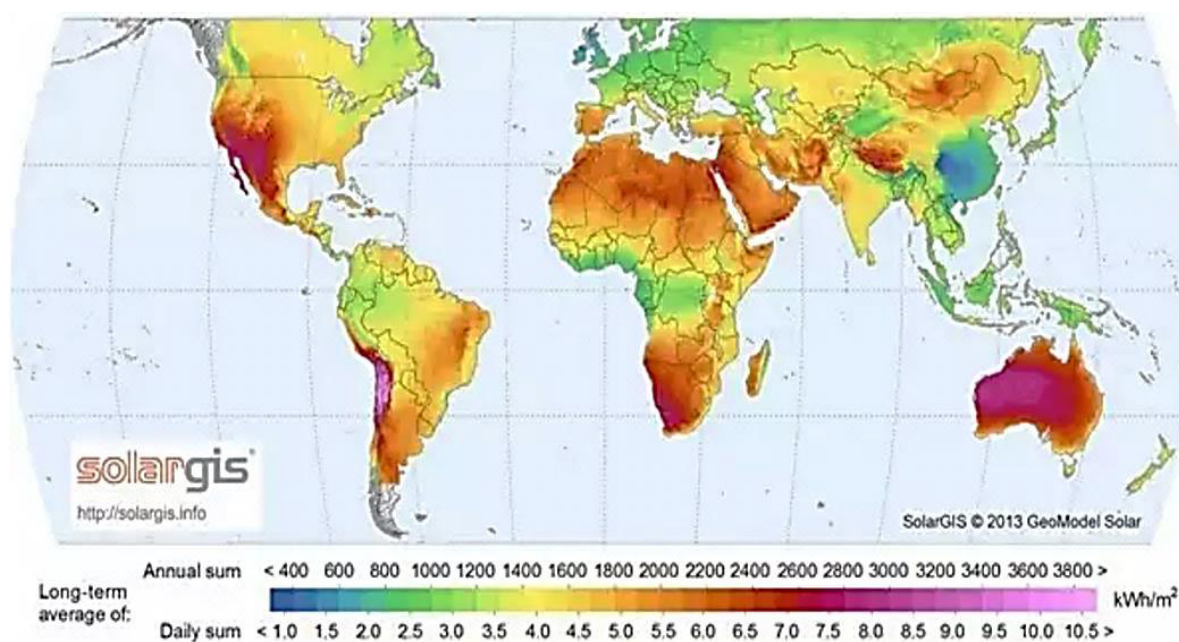
2.1 Energia solar

O Sol é o maior objeto do sistema solar e a sua principal fonte de energia, a qual é gerada por fusão nuclear de átomos de hidrogênio, a mesma reação que ocorre nas bombas termonucleares. Nesse processo, o hidrogênio é convertido em hélio, onde dois átomos se fundem em uma partícula alfa, um núcleo de hélio, liberando dois pósitrons, dois neutrinos mais energia radiante. Quando chega à Terra, essa energia é aproveitada nas formas de luz e calor. Como no processo fotossíntese feito pelas plantas, algo vital para vida no planeta, já que inicia a maior parte das cadeias alimentares.

A energia solar que incide sobre a superfície do nosso planeta chega a $1,5 \times 10^{18}$ kWh por ano (SOLARGIS, 2013).

Segundo o estudo sobre “Outras Fontes” constante no Plano Nacional de Energia 2030, desenvolvido pela EPE, a irradiação na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Com uma variação anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m².ano. Este fato ilustra a dimensão do sol como fonte energética, indicando a importância dessa fonte na geração de energia. A Figura 2 mostra como a irradiação solar se divide sobre Terra.

Figura 2 – Mapa do Mundo de Irradiação Global Horizontal



A conversão de energia solar em energia elétrica pode ser feita por um sistema termo solar ou por células fotovoltaicas. No primeiro caso, a radiação solar é captada para gerar vapor capaz de acionar uma turbina elétrica. No segundo, a eletricidade é gerada quando a célula é exposta a luz solar e absorve a energia radiante, que libera os elétrons da camada da valência do material, produzindo corrente elétrica.

2.2 Efeito fotoelétrico

Denomina-se energia fotovoltaica a conversão direta da luz em eletricidade, num nível atômico. Diversos materiais apresentam a propriedade chamada de efeito fotoelétrico, que é a facilidade em absorver fótons de luz e liberar elétrons. Com a captura destes elétrons livres, gera-se uma corrente elétrica, usada em diversas aplicações (GREENPRO, 2004).

O físico francês, em 1839, Edmund Becquerel, foi quem observou pela primeira vez o efeito fotoelétrico, verificando que certos materiais geravam pequenas correntes elétricas quando expostos a luz. Em 1905 Einstein explicou devidamente este efeito, e também a natureza da luz, com isso ganhou o Prêmio Nobel (MOEHLECKE et. al., 2014).

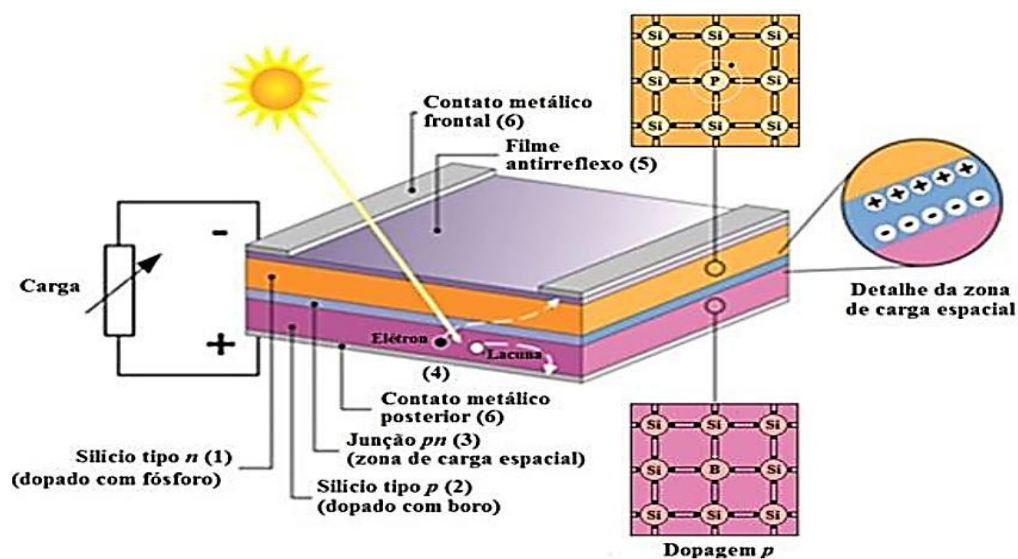
O material utilizado nas células solares é composto por semicondutores dopados que devem apresentar um estado extremamente elevado de pureza, obtido através de sucessivas etapas químicas. Ainda hoje, os fabricantes de células solares obtêm o material purificado através de restos da indústria eletrônica de semicondutores. O semicondutor mais empregado na fabricação de células fotovoltaicas é o silício, caracterizado por possuir quatro elétrons de ligação, ou seja, é tetravalente, o que permite a formação de redes cristalinas.

Ao adicionar um átomo pentavalente, como o do fósforo, em uma lâmina de silício cristalino, haverá um elétron excedente ligado fracamente, que é liberado, saltando para a banda de condução com apenas a energia térmica na temperatura ambiente. Isso ocorre por causa da baixa energia de ligação. Além do fósforo, o arsênio e o antimônio, também, são usados como dopantes tipo n, ou impurezas tipo n, que doam elétrons (MOEHLECKE et. al., 2014).

Já, se for introduzido um átomo com três elétrons na camada de valência, como o boro, na rede cristalina, tem-se uma lacuna ou um buraco devido à falta de elétrons, suficiente para atrair um elétron de uma ligação vizinha. Além do boro, o alumínio, o índio e o gálio, também, são usados como dopantes tipo p, ou impurezas tipo p, que atraem elétrons. Se em um lado da lâmina de silício puro forem introduzidos átomos de boro e no outro lado átomos de

fósforo, formar-se-á uma estrutura típica de um diodo retificador semiconductor, chamada junção pn, que dá origem a uma diferença de potencial entre as regiões p e n resultado das diferenças no Nível de Fermi (Efe) nos dois materiais. Se um material semiconductor dotado de uma junção pn for exposto a fótons com energia, então ocorrerá a fotogeração de pares elétron-lacuna, que é conhecido como Efeito Fotoelétrico. A Figura 3 mostra a estrutura física de uma junção pn de uma célula fotovoltaica (MOEHLECKE et. al., 2014).

Figura 3 – Corte transversal de uma célula Fotovoltaica



Fonte: (MOEHLECKE et. al., 2014)

2.3 Células fotovoltaicas

Atualmente, existe uma ampla variedade de tecnologias aplicadas na produção de células fotovoltaicas. As mais empregadas são: o silício monocristalino (mono-c-Si), silício policristalino (poli-c-Si), tecnologias de filmes finos de silício amorfo (a-Si), micro-amorfas (microcristalino / silício amorfo), telureto de cádmio (CdTe), cobre-índio-gálio-disseleneto (CIGS) e células fotovoltaicas orgânicas (OPV). Elas se diferenciam, entre outros fatores, pelo tipo de material, processo de fabricação, custo e eficiência. Este último é tratado em porcentagem, que nada mais é do que a quantidade de energia solar que atinge a superfície do painel fotovoltaico e é transformada em energia elétrica, em relação ao total de energia incidente nessa superfície.

A mais desenvolvida e eficiente tecnologia existente é a baseada em variações de silício (c-Si), devido sua robustez e confiabilidade, representa por volta de 85% de todos os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em casas e empresas no mundo. A principal diferença entre as células é a pureza do silício. Quanto mais alinhadas estiverem as moléculas de silício, melhor será a conversão de luz solar em energia elétrica na célula. O silício monocristalino (mono-c-Si) é a tecnologia mais antiga e também a mais caras, por possuir uma maior eficiência, variando de 14 e 21% (PORTALSOLAR, 2012).

O silício poli-cristalino (poli-c-Si) é obtido de maneira diferente do (mono-c-Si), pois o método usado na fundição dos cristais de silício preserva a formação de múltiplos cristais, que conseguem absorver uma maior variedade de espectros da luz solar para conversão em energia elétrica. A eficiência de painéis solares policristalinos é tipicamente entre 13 e 16.5%, que indica uma menor quantidade de Watts por hora por m², precisando, assim, de uma área maior de painel para gerar a mesma quantidade de Watts/hora que o painel monocristalino. Já as vantagens dessa tecnologia são o menor custo e a maior vida útil dos painéis, podendo ser maior que 30 anos e com garantia de 25 anos (PORTALSOLAR, 2012).

Os painéis fotovoltaicos de filme fino são fabricados a partir do depósito de uma ou várias camadas de um elemento fotovoltaico sobre um certo substrato. Esta tecnologia tem mostrado um desenvolvimento animador pois apresenta um menor custo de produção comparado aos c-Si e possui uma vasta aplicação, por trazer menos impacto à estética das edificações. Os principais materiais que categorizam os painéis solares de filme fino são o silício amorfo (a-Si); o telureto de cádmio (CdTe); o cobre, índio e gálio seleneto (CIS / CIGS); as células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV).

As primeiras tecnologias de filme fino foram desenvolvidas com células de silício amorfo, na década de 70, empregada em aplicações de pequena escala como calculadoras e relógios com baixo consumo de energia. No entanto, com as recentes inovações, esta tecnologia está sendo utilizada também em aplicações de larga escala, com o aumento na eficiência, que varia entre 6 a 9%. Outra vantagem é o tempo em que a utilização da mesma custa para compensar a energia que foi gasta na sua fabricação (PORTALSOLAR, 2012).

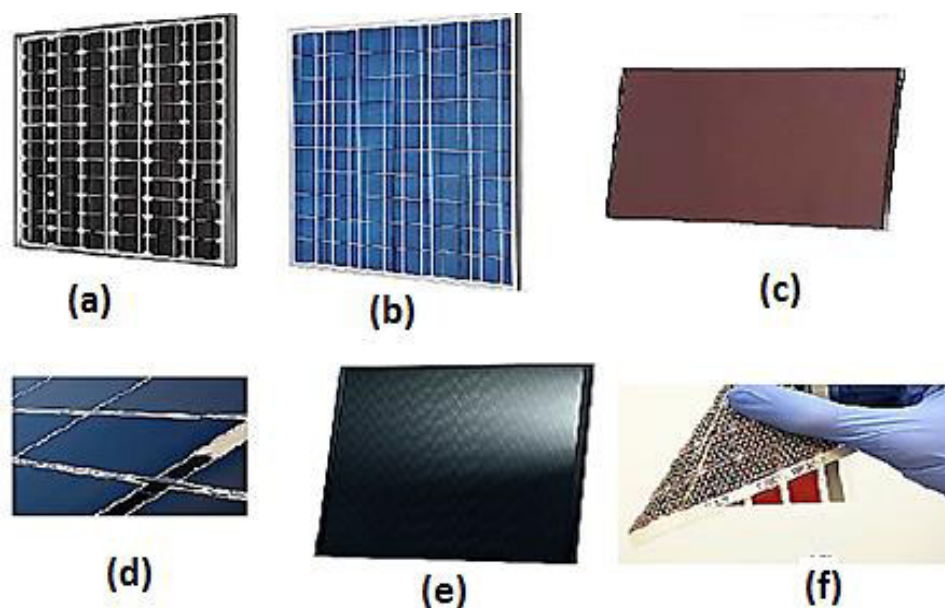
A tecnologia de película fina capaz de superar o (c-Si) na relação custo por eficiência é a que emprega telureto de cádmio, com uma eficiência operando entre 9 e 11%, representa uma parcela significativa do mercado mundial. Já as tecnologias de película fina com maior potencial de eficiência são as aplicadas em painéis solares de seleneto de cobre, índio e gálio (CIS / CIGS), que vêm sendo comercializados com eficiência passando 13%. Outra vantagem, sobre os painéis

que usam (CdTe), é não ter o cádmio, material tóxico, em sua composição (PORTALSOLAR, 2012).

Além da aparência homogênea e a flexibilidade, que ampliam as possibilidades de aplicações dos painéis solares de filme fino, outra vantagem vem do fato de que as altas temperaturas e a sombra proveniente de outros objetos, não afetam tanto o desempenho destes materiais, como afetam os de painéis (c-Si). Por outro lado, eles requerem mais espaço para serem usados em sistemas fotovoltaicos residenciais, devido sua menor eficiência. Com isso, elevar-se os custos com a mão de obra, o cabeamento e a estrutura da instalação; também vale citar que tais materiais possuem uma vida útil menor.

Com o desenvolvimento da eletrônica molecular, nasceu a célula solar orgânica, que usa polímeros orgânicos para absorção da luz e produção de eletricidade. Sua eficiência varia bastante e a produção ainda é um desafio, pois poucas empresas conseguem conceber tal processo. A Figura 4 apresenta algumas tecnologias de células fotovoltaicas.

Figura 4 – Painéis fotovoltaicos com células do tipo: (a) Monocristalino; (b) Policristalino; (c) Filme fino a-Si; (d) CdTe; (e) CIS/CIGS; (f) OPV.



Fonte: (PORTALSOLAR, 2012).

2.3.1 Parâmetros elétricos das células fotovoltaicas

De acordo com a NBR 10899, para um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente que geram energia elétrica dar-se o nome de módulo fotovoltaico.

Os parâmetros elétricos desse dispositivo são verificados em sua Curva I-V, que é constituída pela relação entre a tensão produzida e a soma resultante da corrente de uma junção pn com a corrente fornecida pelos fótons. Esta curva obedece à equação 2.1, obtida a partir de uma adaptação da Equação de Schockley.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.1)$$

Em que:

V- Tensão de saída do módulo;

I- Corrente de saída;

I_L - Corrente fotogerada;

I_0 - Corrente de saturação reversa da junção pn;

n - Fator de idealização da junção pn, valor adimensional obtido por experimentos;

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

T- Temperatura absoluta (K);

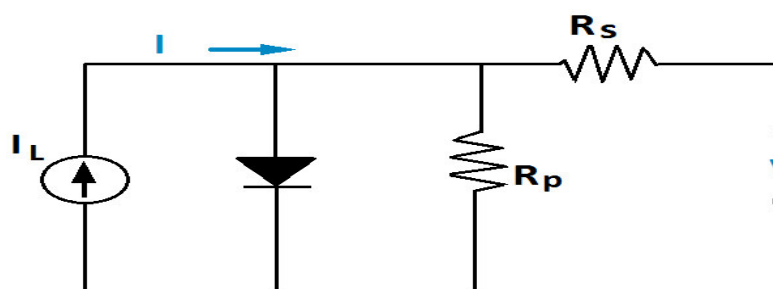
k - Constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K);

R_s - Resistência da junção metal-semicondutor, malhas metálicas regiões de dopagem etc;

R_p - Resistência obtida pelos pontos de curto-circuito da junção pn;

A Figura 5 mostra a representação de uma célula fotovoltaica através de um circuito elétrico. A corrente elétrica gerada pela radiação incidente é simbolizada por uma fonte de corrente. Já a junção pn é caracterizada por um diodo. Para indicar as quedas de tensões provenientes das resistências dos materiais e das fugas de corrente, a ilustração é acrescentada de R_s e R_p .

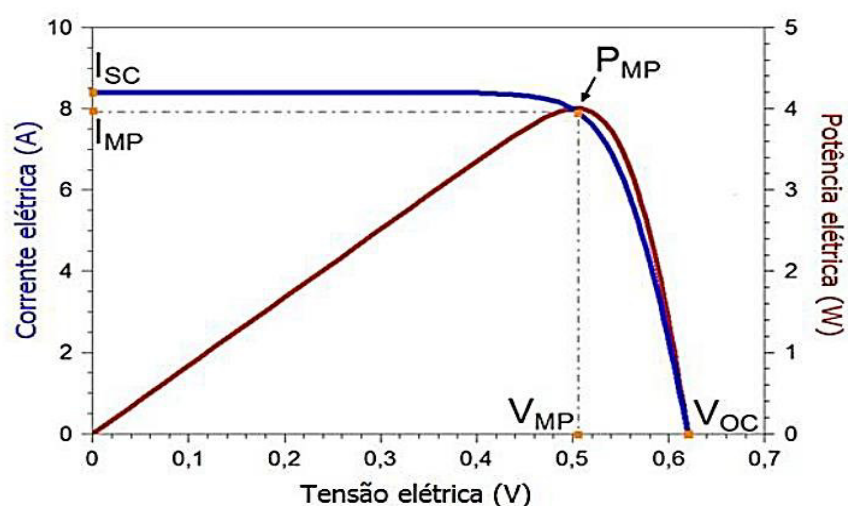
Figura 5 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica (modelo com diodo)



Fonte: Produção do próprio autor.

Na avaliação do comportamento dos diferentes parâmetros elétricos, a curva característica I-V tem um papel fundamental. Sua elaboração é feita a partir de ensaios que respeita uma series de condições, como irradiância, temperatura das células e espectro solar.

Figura 6 – Curva I-V de um módulo fotovoltaico



Fonte: (MOEHLECKE et. al., 2014)

A Figura 6 mostra na ordenada os valores da corrente elétrica do módulo e no eixo das abcissas os valores correspondentes à tensão elétrica nos terminais do mesmo. Verifica-se que, assim como os demais geradores elétricos, a tensão é máxima e a corrente produzida é zero na ausência de carga, pois os terminais estão em aberto. Observa-se, também, que com a associação de uma carga, a corrente cresce acompanhando a demanda, mas a tensão reduz. Abaixo são definidos os fatores de um módulo a partir de sua curva I-V.

Corrente de Curto circuito (I_{sc}) – é a corrente máxima produzida pelo módulo quando a tensão nos seus terminais é nula. Essa corrente é obtida com um amperímetro ligado aos terminais do dispositivo. Tal valor depende de diversos fatores, como a área do módulo, a irradiação solar, a distribuição espectral e a propriedade ótica da célula.

Tensão de circuito aberto (V_{oc}) – é a diferença de potencial entre os terminais de uma célula fotovoltaica quando a mesma não estiver ligada a uma carga. Sendo a máxima tensão produzida pela célula, depende da temperatura e da corrente fotogerada, como podemos ver na equação 2.2, que é derivada da equação 2.1.

$$V_{oc} = \frac{k.T}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (2.2)$$

Corrente de máxima potência (I_{mp}) – considerada a corrente nominal do módulo, é corrente fornecida quando o módulo está em seu ponto de máxima potência, em certas condições de isolamento e temperatura.

Tensão de máxima potência (V_{mp}) – é corrente fornecida quando o módulo está em seu ponto de máxima potência, em certas condições de isolamento e temperatura.

Máxima Potência (P_{max}) – dada uma determinada condição de temperatura e isolamento, a máxima potência é a maior potência que o módulo pode fornecer. Equivale ao produto da tensão de máxima potência e a corrente de máxima potência. Esse valor é encontrado no “joelho” da Curva I-V.

$$P_{max} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (2.3)$$

Fator de forma (FF) – é a razão entre a máxima potência e o produto da corrente de curto circuito com a tensão de circuito aberto (equação 2.4). Este valor mostra, de certa forma, a qualidade da célula, já que quanto mais próximo de 1 mais retangular é a curva característica e menores são as perdas resistivas (de R_s e R_p).

$$FF = \frac{V_{pm} \cdot I_{pm}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.4)$$

Eficiência (η) – Trata-se de um parâmetro que busca determinar o quanto efetiva é a conversão energética feita pela célula. Esse valor é dado pela razão entre a máxima potência e o produto da área com a irradiação (intensidade de radiação por unidade de área), como mostra a equação 2.5.

$$\eta = \frac{P_{max}}{Irradiação \cdot área} \quad (2.5)$$

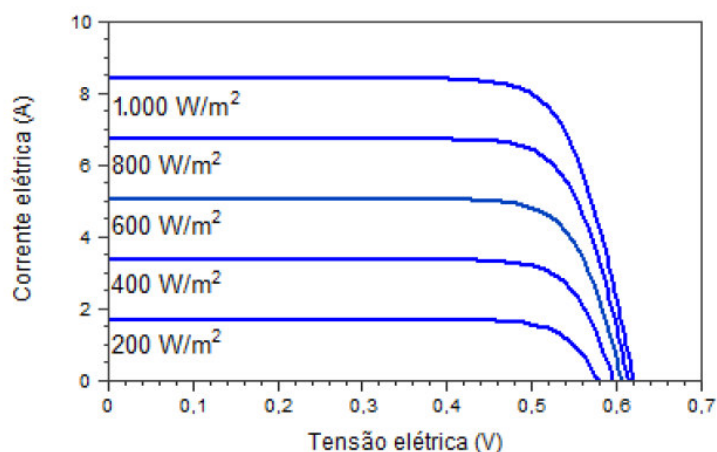
2.3.2 Efeito de fatores ambientais que influenciam os parâmetros elétricos.

As características elétricas dos módulos são afetadas por uma série de fatores típicos, determinados pelo ambiente em que estão operando. Dentre os principais temos a irradiância (juntamente com sua distribuição espectral) e a temperatura.

Define-se como irradiância, a densidade de fluxo radiante incidente sobre uma superfície.

A Figura 7 ilustra como a irradiância solar sobre a célula altera a curva característica do dispositivo, mantendo-se a temperatura constante. Consta-se que a corrente gerada apresenta uma variação diretamente proporcional à mudança da radiação. Já a tensão não exibe uma mudança significativa.

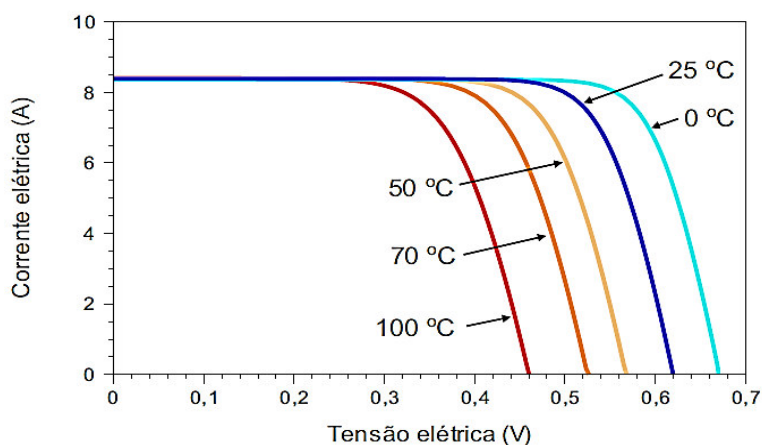
Figura 7 – Influência da radiação solar sobre a curva I-V.



Fonte: (MOEHLECKE et. al., 2014)

Com a variação da temperatura, há uma mudança na tensão de saída do dispositivo, inversamente proporcional, o que indica uma perda na eficiência do módulo quando se tem uma elevação na temperatura, pois a tensão de saída é reduzida. Há também outra mudança menos relevante que é uma alteração na corrente, que muda de forma proporcional à alteração na temperatura. Tais modificações são observadas na Figura 8.

Figura 8 – Influência da temperatura solar sobre a curva I-V.

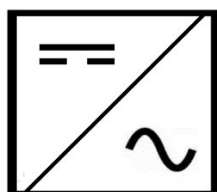


Fonte: (MOEHLECKE et. al., 2014)

2.4 Inversor

O inversor é um componente eletrônico, que tem uma importante função na composição de um sistema fotovoltaico conectados à rede elétrica (SFCRs). Eles são circuitos eletrônicos, composto por transistores, que convertem o sinal elétrico variável CC proveniente do painel fotovoltaico em um sinal elétrico CA de amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados ao ponto de conexão. A Figura 9 apresenta o símbolo elétrico utilizado para representar o inversor.

Figura 9 – Símbolo elétrico do inversor



Fonte: Produção do próprio autor

Hoje, encontra-se uma grande variedade de inversores no mercado, com diversas funções e aplicações. Nos SFGRs são usados os inversores que atendem os vários padrões exigidos pelas concessionárias de energia, para garantir a confiabilidade da energia inserida na rede. Estes dispositivos possuem, em sua maioria, uma interface de comunicação, que permite um monitoramento e aquisição de dados sobre funcionamento do sistema.

Quando se determina o inversor a ser utilizado na aplicação, diversos parâmetros devem ser levados em conta para garantir o funcionamento adequado do sistema. Para assegurar as especificações requeridas dos inversores devem ser munidos de uma variedade de funções.

Uma função importante é a de rastreamento do ponto de máximo de Potência (MPPT – *Maximum Power Point Tracking*), trata-se de uma ferramenta que através de um microprocessador que controla, a partir de um algoritmo, a corrente e a tensão do módulo, visa corrigir variações indesejadas provenientes da intermitência da luminosidade e da temperatura incidente. Com esses ajustes, o microprocessador busca o melhor tratamento das variáveis de entrada para que, juntamente com o inversor em si, o sistema opere próximo ao ponto de maior potência.

Outro atributo fundamental é o de desconexão quando os sinais de corrente, tensão e frequência não estão dentro dos padrões aceitáveis do sistema de distribuição ou quando o módulo não consegue produzir os parâmetros necessários. O inversor deve também isolar o sistema fotovoltaico da rede elétrica, sempre que a rede estiver sem energia, devido a falhas ou manutenção, garantindo a segurança.

Existem também requisitos em relação ao percentual de harmônico no sinal gerado que deve ser assegurado pelo inversor quando ligado à rede, para que se atinja uma distorção da forma de onda nos níveis aceitáveis pela concessionária de energia elétrica. Esses valores são verificados por normas técnicas.

2.5 Geração Distribuída

O termo Geração distribuída é empregado para indicar, de uma forma geral, o uso, integrado ou isolado, da geração elétrica de pequeno porte, localizada próxima à carga, oriunda de empreendimentos da concessionária, consumidores e terceiros. A geração distribuída é uma relevante alternativa de expansão e diversificação para o sistema energético convencional brasileiro (SEVERINO, 2008).

Para uma melhor compreensão do termo, verifica-se a definição trazida pela ANEEL no decreto nº 5.163 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica.

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento:

I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e

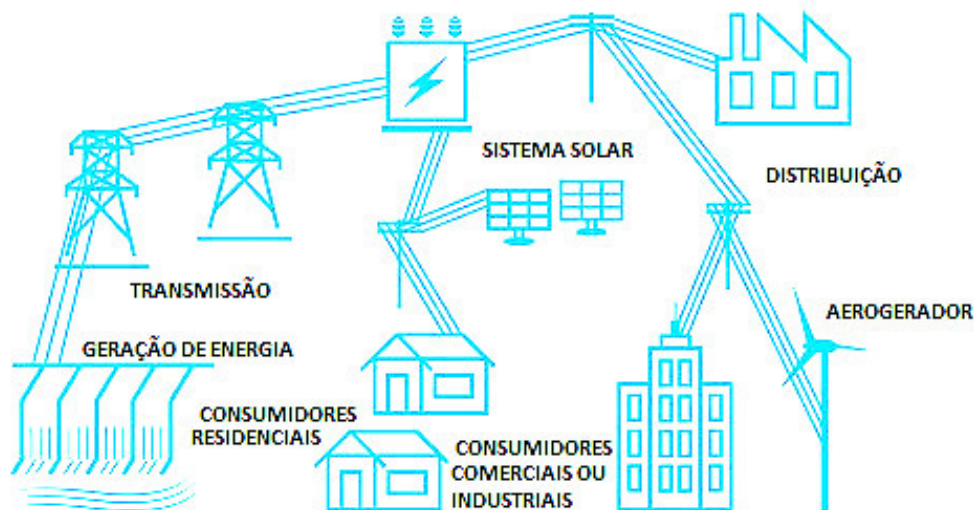
II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004.

Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do **caput**.

Uma das inúmeras vantagens da geração distribuída para setor elétrico é um ganho no transporte de energia, diminuindo as perdas por transmissão, já que as unidades geradoras estão próximas à carga. Isto aumenta a disposição de transferência de energia elétrica para locais que requerem certa prioridade de abastecimento. Outro ponto importante é a diversificação das tecnologias geradoras, que aumenta as alternativas na definição da alimentação da carga.

A Figura 10 faz a exposição de esquema de geração distribuída.

Figura 10 – Ilustração de uma planta de geração distribuída



Fonte: Adaptado da (ENERGYGREEN,2007)

Contudo, com uma implantação mais significativa, a geração distribuída pode trazer certas dificuldades, pois altera o fluxo de energia, que passa a ser bidirecional, constituindo um fator complicador, que muda consideravelmente o modo de operação e manutenção das redes de distribuição. Tal modificação de cenário demanda uma mudança na gerência feita pelos agentes do setor elétrico, algo que relativamente complexo de ser realizado, pois a intermitência e os ciclos de produção de certas fontes podem alterar o controle de tensão e o ajuste de proteção nas redes de distribuição.

2.6 Microgeração Fotovoltaica

2.6.1 Definição

A definição de microgeração fotovoltaica de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica brasileira consta de sistemas com potência instalada menor ou igual à 75 kWp ligados à rede. Tais sistemas são regulamentados pela Resolução Normativa Aneel 482/2012, e devem seguir os métodos presentes no módulo 3, seção 3.7, dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST.

2.6.2 Resolução Normativa 482 ANEEL

Desde abril de 2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica proveniente de fontes alternativas e disponibilizar o excedente gerado para a concessionária, graças Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012(REN 482/2012), que além de definir e determinar as condições gerais para a implantação da mini e microgeração, prevê a concessão de descontos na conta de energia, proporcionais à produção que é injetada na rede de distribuição, pelas unidades geradoras/consumidoras. Essa resolução foi revisada pela Resolução Normativa nº 687/2015.

Atualmente, mais de 4000 consumidores já estão operando como micro e minigeradores no Brasil, embora as concessionárias não sejam obrigadas a pagar um valor monetário pela energia excedente de geradores distribuídos. Os produtores recebem créditos de energia, resultado do balanço positivo entre energia gerada e consumo, que podem ser utilizados nos meses subsequentes pelos geradores/ consumidores distribuídos, no prazo de até 60 meses, para o abatimento na conta de energia. Também há a possibilidade dos créditos serem utilizados em outros posto tarifário, cuja conta esteja conferida ao mesmo CPF (Cadastro de pessoa Física) ou CNPJ (Cadastro de Pessoa Jurídica) da unidade geradora. Esse sistema de compensação apresentado pela resolução recebe o nome de *Net Metering*.

Outro ponto importante da norma é a possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios. Nessa condição, a energia gerada pode ser dividida entre os condôminos em porcentagens estabelecidas pelos mesmos.

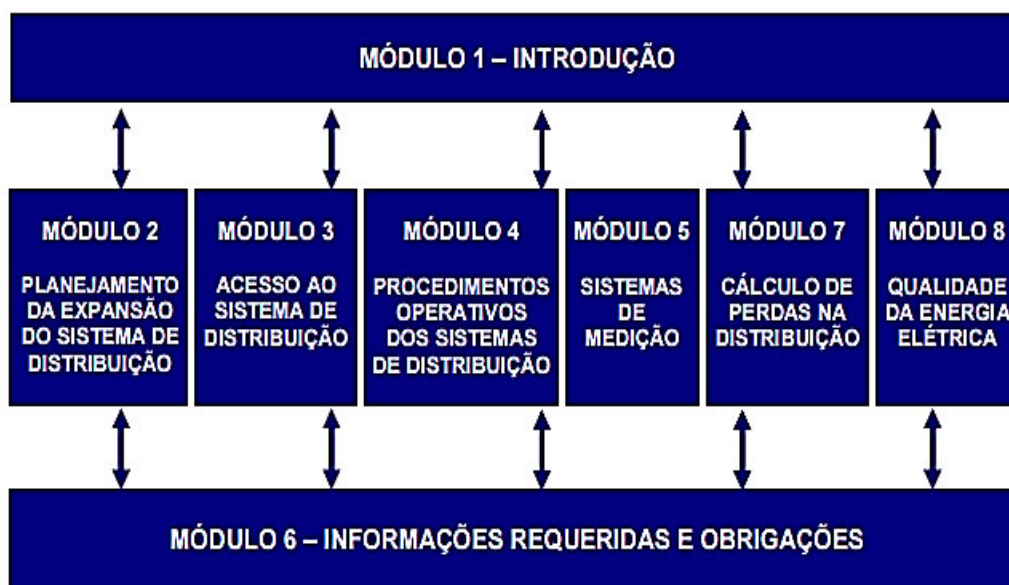
Em alguns países, existe também outro mecanismo de incentivo da geração distribuída por fontes alternativas, chamado de *Feed-in*, que é uma tarifa especial que busca tornar o uso de fontes limpas energia, algo mais vantajoso. EUA, Alemanha e Japão também intentam promover a implantação mais significativa destas fontes em questão, liberando subsídios correspondentes à quantidade estimada de kWh produzido nos primeiros meses de geração.

A REN 482/2012 é dividida em seis capítulos, onde no primeiro são tratadas as definições iniciais, no segundo, apresentam-se as condições do acesso ao sistema de distribuição, o terceiro capítulo indica as diretrizes que regem o sistema de compensação, o quarto capítulo discorre sobre a medição, o quinto capítulo aborda as responsabilidades por dano ao sistema elétrico, o sexto capítulo mostra as disposições gerais.

2.6.3 Procedimentos de Distribuição (PRODIST)

Com o objetivo de normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica, Os Procedimentos de distribuição foram elaborados pela ANEEL, com participação dos agentes e entidades que compõe o setor elétrico nacional, buscando garantir segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade desses sistemas. Além disso, este documento funciona como um canal de informações entre os agentes setoriais, ao regular os procedimentos técnicos nas atividades de planejamento de expansão, na operação dos sistemas de distribuição, de medição e de qualidade da energia elétrica. O PRODIST é composto por oito módulos, seis técnicos e dois integrantes, como mostra a Figura 11. Há também um nono módulo, criado em 2012, que trata do ressarcimento de danos elétricos.

Figura 11 – Quadro dos módulos que compõe o PRODIST



Fonte: (ANEEL, PRODIST,2012)

A partir da REN482/2012 ocorreram alterações relevantes em alguns pontos do PRODIST, como a criação da seção 3.7 do módulo 3. Nessa porção são descritos os métodos para inserção de projetos de micro e de minigeração distribuída, no sistema. Os pontos expostos são: etapas para a viabilização do acesso; critérios técnicos e operacionais; requisitos dos projetos; implantação de novas conexões; requisitos para operação, manutenção e segurança da conexão; sistema de medição; e contratos.

É determinado no item 2.5.2, da seção 3.7 do módulo 3, que todo o estudo para integração de micro e minigeração no sistema de distribuição deve ser de total responsabilidade da distribuidora, que deve informar ao solicitante os dados necessários para elaboração do projeto, que venha ser apresentado. Evidencia-se, também neste documento, que as fontes de geração em questão são dispensadas da celebração do CUSD (Contrato de Uso do Sistema de Distribuição) e CCD (Contrato de Conexão), sendo suficiente apenas a celebração do Acordo Operativo, como está indicado no item 8.3.

2.6.4 Norma Técnica NT-10/2015 Coelce

Com o objetivo de estabelecer as condições de acesso e definir critérios técnicos, operacionais e requisitos de projetos aplicáveis à conexão de micro e minigeração distribuída no seu sistema Elétrico, para os agentes de geração, projetistas e seus profissionais, a Coelce elaborou a norma técnica NT-10/2015, Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Ampla/Coelce, que sucede a NT-10/2012, com data de vigência 17/12/2012, em acordo resolução normativa nº 482 da ANEEL.

Esta seção tem como propósito indicar os pontos mais relevantes da NT-10/2015, focando principalmente nas condições referentes ao acesso de um microgerador fotovoltaico, que é o objeto desse trabalho.

Na Tabela 2, podem ser encontradas as características gerais do sistema de distribuição da Coelce.

Tabela 2 – Características gerais do sistema elétrico Coelce

Característica	Ampla	Coelce
Frequência (Hz)	60	
Nº de fases	3	
Sistema de média tensão (3 fios)		
Tensão nominal (kV)	13,8/11,95	13,8
Tensão máxima de operação (kV)	15	
Nível básico de isolamento na subestação (kV)	95	110
Nível Básico de Isolamento no sistema de distribuição (kV)	95	
Capacidade de interrupção simétrica dos equipamentos de disjunção (kA)	25	16
Conexão de transformador	MT – delta e BT – estrela aterrada	
Sistema de baixa tensão (dyn1)		
Tensão do sistema trifásico (V)	220 V – Urbano e 240 V – Rural	380 V Urbano e Rural
Tensão do sistema monofásico (V)	127 V – Urbano e 120 V – Rural	220 V Urbano e Rural
Transformador de corrente para proteção		
Corrente secundária	1/5 A	
Fator de sobrecorrente	20	
Classe de exatidão e tensão máxima do enrolamento secundário	10B200	
Transformador de potencial para proteção Relação do transformador de potencial (MT)	13.800/ 3 ou 11.950/ 3 - 115- 115/ 3 V Enrolamento secundário com derivação	13.800/ 3 ou 115/ 3 V Enrolamento secundário com derivação

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

O valor da carga instalada e as características dos equipamentos elétricos existentes na unidade consumidora são o que determinam a forma de conexão do micro ou minigerador instalado, conforme estabelecido nas formas de fornecimento de energia e mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Forma de conexão

Potência do Inversor (kW)	Carga Instalada (kVA)	Tensão Nominal (V)	Sistema Elétrico
≤ 10	≤ 10	220	Baixa Tensão (monofásico)
>10 e ≤ 20	≤ 20	380	Baixa Tensão (bifásico)
> 20 e ≤ 75	> 20 e ≤ 75	380	Baixa Tensão (trifásico)
> 75 e ≤ 1000	> 75 e ≤ 1000	13800	Média Tensão

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

A potência gerada deve ser no máximo igual ao valor da carga instalada para unidade consumidoras de baixa tensão, e igual a demanda contratada para unidade consumidoras de média tensão. Para aumentar a potência acima dos limites estabelecidos, deve-se solicitar o aumento da carga instalada, no caso de unidade consumidora do grupo B, ou o aumento da demanda contratada, no caso de unidade consumidora do grupo A.

Há também a possibilidade de aplicar uma forma diferente de conexão quando a unidade consumidora possuir algum equipamento que possa prejudicar a qualidade do fornecimento a outros consumidores, ou quando houver conveniência técnica e econômica para o sistema de distribuição.

Na solicitação de acesso ao sistema de distribuição, deve ser apresentado o projeto das instalações de conexão pelo interessado, contendo as seguintes informações:

- Memorial descritivo assinado por engenheiro responsável;
 - Atividade desenvolvida na unidade consumidora;
 - Memorial descritivo da obra;
 - Manual do inversor e do relé de proteção;
 - Certificado do inversor, nacional ou internacional, ou declaração do fabricante que os equipamentos foram ensaiados conforme normas técnicas brasileiras ou, na ausência destas, normas internacionais;
 - Número do registro INMETRO, caso inversor já registrado;
- Anotação de responsabilidade técnica do projeto – ART emitida pelo CREA;
- Planta de situação em escala ou com todas as dimensões necessárias para análise do projeto;
- Diagrama unifilar e esquema de proteção.

O sistema de medição deve apresentar a funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica ativa. Cabe ao acessante a responsabilidade financeira pela diferença de custo entre o sistema de medição necessário para o processo de compensação de energia elétrica e o medidor utilizado pela Coelce em unidades consumidoras de mesma característica e de mesmo nível de tensão.

A norma também determina os elementos de proteção que as unidades consumidoras com microgeração devem possuir:

- a) Disjuntor termomagnético instalado no padrão de entrada;
- b) Elemento de desconexão acionado por proteção. Este dispositivo pode ser parte integrante do inversor;
- c) Proteção de subfrequência e sobrefrequência;
- d) Proteção de subtensão e sobretensão;
- e) Sincronismo;
- f) Anti-ilhamento.

As funções dos itens “b”, “c”, “d”, “e”, e “f”, podem ser implementadas por um inversor ou um relé multifunção capaz de acionar o elemento de desconexão do item “b”.

No ponto de conexão, das unidades consumidoras conectadas em baixa tensão as proteções de sobretensão e subtensão devem estar de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 –Ajustes de sobretensão e subtensão – BT

Faixa de tensão no ponto de conexão (V)	Tempo de desconexão (s)
$TL > 231$	0,2
$189 \leq TL \leq 231$	Operação Normal
$TL < 189$	0,4

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce 010, 2015)

Para as proteções de sobrefrequência e subfrequência de unidades consumidoras conectadas em baixa tensão ou média tensão, devem ser ajustadas conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Ajustes de sobrefrequência e subfrequência

Faixa de frequência no pondo de conexão (Hz)	Tempo de Desconexão (s)
$f \leq 56,5$	Instantâneo
$56,5 < f \leq 57,5$	5
$57,5 < f \leq 58,5$	10
$f < 59,5$	30
$59,9 \leq f \leq 60,1$	Operação Normal
$f > 60,5$	30
$63,5 \leq f < 66$	10
$f \geq 66$	Instantâneo

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

As distorções harmônicas devem respeitar os limites estabelecidos na Tabela 6:

Tabela 6 – Limite de distorção harmônica de corrente

Harmônicas ímpares (º)	Limite de distorção (%)
3º a 9º	< 4,0
11º a 15º	< 2,0
17º a 21º	< 1,5
23º a 33º	< 0,6
Harmônicas pares (º)	Limite de distorção (%)
2º a 8º	< 1,0
10º a 32º	< 0,5

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

A distorção harmônica total não deve ser superior a 5 %

Mesmo quando a potência injetada for superior a 20% da potência nominal do gerador, o microgerador deve operar nas faixas de fator de potência determinadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Faixa de fator de potência

Potência Nominal – Pn (kW)	Faixa de fator de potência	Fator de potência configurado em fábrica
$P_n \leq 3$	0,98 indutivo – 0,98 capacitivo	1
$3 < P_n \leq 6$	0,95 indutivo – 0,95 capacitivo	1
$P_n > 6$	0,90 indutivo – 0,92 capacitivo	1

Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM BAIXA TENSÃO.

3.1 Caso Exemplo

Este capítulo tem o objetivo de apresentar as etapas de dimensionamento e de projeto de um microgerador fotovoltaico, com potência nominal de 5 kWp, resultado da soma de 20 painéis YL250P-29b de 250 Wp, destinado a suprir a demanda de uma residência abastecida pelo sistema de distribuição da COELCE. Este microgerador se conectará ao sistema de baixa tensão, após o medidor de energia. A previsão de ligação do sistema era em maio de 2015.

O estudo em questão é baseado em um projeto elaborado com participação do autor, na empresa em que realizou seu estágio curricular. Devido a instalação e operação ficarem a cargo de um outro grupo de trabalho, não se teve acesso as informações de operação do sistema, assim serão considerados apenas os dados estimados na etapa de projeto.

3.1.1 Localização da residência

A Figura 12 apresenta a planta de situação da residência em que foi implantado o sistema, o círculo na cor amarela indica sua localização e a seta na cor vermelha aponta o ponto de conexão da residência com o sistema Coelce. Esta casa situa-se na Tr. Almeida, nº 61, bairro Antônio Bezerra, Fortaleza.

Figura 12 – Planta com a localização do sistema e do ponto de conexão.



Fonte: (Google, 2015)

3.1.2 Posicionamento do Sistema Solar

Com o uso da ferramenta *Google Maps*, foram encontradas as coordenadas do local onde serão instalados os módulos fotovoltaicos. Tais valores são mostrados na tabela 8,

Tabela 8– Localização do microgerador

Local do Microgerador	COORDENADAS – UTM		
	Latitude	Longitude	Zona
	-3.730414°S	-38.578083°O	24M

Fonte: Produção do próprio autor

De posse das coordenadas, é possível obter uma melhor análise. Pois, juntamente com o histórico das medições de radiação solar, o estudo de viabilidade torna-se mais real. O Anexo A apresenta a radiação solar medida em localidades próximas à residência. Esses valores são colhidos a partir de bancos de dados de institutos de pesquisa.

Vale ressaltar que a área escolhida para abrigar o sistema apresenta vantagens, como um espaço livre de sombreamento e uma harmonia com ambiente.

3.2 Carga Instalada

Constituída de iluminação e de diversos eletrodomésticos, a carga instalada da residência é discriminada na Tabela 9, que também mostra a carga total demanda pela soma das cargas, e a energia estimada, com base no tempo de uso dos equipamentos e o fator de demanda dos mesmos, obtido na norma NT 003/2012-Coelce.

Essa análise é feita geralmente em novas instalações quando não se tem um histórico do consumo.

Tabela 9 – Carga e consumo presumível médio de cada equipamento

EQUIPAMENTOS						
CARGA	Quantidade	Dias/mês	Potência [W]	Fator Demanda	Horas/dia	Energia/mês [kWh]
Lâmpada – 15 W	13	30	15	0,4	5	11,70
Lâmpada – 20 W	11	30	20	0,4	4	10,56
Lâmpada – 35 W	11	30	35	0,3	4	13,86
Geladeira	2	30	97	0,62	12	43,30
Freezer	1	30	105	0,62	12	23,43
Ferro de Engomar	1	4	1000	1	3	12,00
Microondas	1	30	1130	0,62	0,09	1,892
Televisão	2	30	225	0,4	4	21,60
Ar 9000BTUsCondicionado	2	15	2640	0,8	5	316,8
Ar12000BTUsCondicionado	1	15	3516	0,7	4	147,6
Notebook	2	15	17	1	4	2,040
Motor 1/4 cv	2	15	185	1	5	27,75
Lava-roupa	1	2	510	1	1	1,020
Tomadas de 100 W	36	8	100	0,4	4	46,08
Total:	Carga Demandada:		16989	Energia:		679,7

Fonte: Produção do próprio autor

De posse desses dados, é calculado a demanda média e o fator de carga, valores importantes para caracterização da instalação.

3.2.1 Cálculo da Demanda Média

Considerando um mês comercial com 720 horas, pode-se calcular a demanda média mensal através da equação 3.1.

$$D_{m\acute{e}dia} = \frac{\text{Energia média}}{\text{N}^{\circ} \text{ de horas}} = \frac{679710}{720} = 944,04 \text{ W} \quad (3.1)$$

3.2.2 Cálculo do Fator de Carga Médio

O fator de carga médio desta residência é calculado através da equação 3.2.

$$FC = \frac{\text{Energia}}{\text{Carga demanda} \times 720h} = \frac{679710}{16989 \times 720} = 5,5\% \quad (3.2)$$

3.3 Dados de Consumo Medido

Na conta de energia fornecida da instalação, a COELCE concede os dados de consumo reais médios nos últimos 12 meses, na Tabela 10. Comparando as Tabelas 9 e 10, observa-se que a energia estimada pelos cálculos é coerente com o valor médio efetivamente registrado.

Tabela 10 – Histórico de consumo.

Ano	2014												
Mês	Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Consumo (kWh)	671	701	652	716	724	593	747	654	592	623	675	571	804

Fonte: Produção do próprio autor

3.4 Painéis Fotovoltaicos

Para compor o sistema de microgeração da residência, O módulo fotovoltaico escolhido é o modelo YL250P-29b de fabricação chinesa da empresa YINGLI GREEN ENERGY. Com uma potência nominal de 250 Wp (STC: 1000 W/m² irradiância, 25 °C Temperatura do Módulo, AM 1.5 espectro), este painel apresenta boa eficiência e um baixo custo, sendo, assim, uma opção adequada para o caso estudado. A energia fornecida é do tipo monofásico, contínua. Também existem dois inversores de frequência monofásicos, que convertem o sinal da energia gerada pelo sistema em um sinal similar ao oferecido pela rede.

É importante citar as seguintes características técnicas deste modelo:

- Alto desempenho – Composto por células solares multicristalinas, apresentam uma eficiência de 15,3%.
- Confiabilidade – Confiável em ambientes residenciais, comerciais e aplicações de utilidade em escala.
- Robusto – Com uma moldura de alumínio resistente à corrosão, suporta cargas de ventos de 2400Pa e de chuvas de 5400Pa, assegurando uma estabilidade mecânica.
- Resistente – resistente ao sal, apresenta um bom desempenho em regiões litorâneas, sem sofrer muito com a corrosão da maresia.

Este sistema possui uma potência nominal de 5 kW, resultado da soma de 20 painéis de 250 W, que satisfaz a demanda média calculada para a residência, considerando condições climáticas favoráveis.

3.4.1 Energia Média Gerada

Nessa seção, é calculada a geração esperada para cada mês, a partir dos valores da área total dos painéis e sua eficiência, que são encontrados no Anexo B, além do valor da radiação média diária no mês (kWh/m².dia), apresentado no Anexo A. Para esse cálculo, é utilizada a equação 3.3.

$$GT = I_o . A . \eta . n \quad (3.3)$$

Em que,

- n – Número de dias no mês;
- lo – Radiação média diária do mês em questão (kWh/m².dia);
- A – Área total dos painéis fotovoltaicos;
- η – Eficiência do painel;

Tabela 11 – Energia gerada por mês

	Radiação (kWh/m².dia)	Área (m²)	Eficiência (%)	Geração Mensal (kWh)
Janeiro	5,33	29,13	15,3	736,5
Fevereiro	5,14	29,13	15,3	641,5
Março	4,67	29,13	15,3	645,3
Abril	4,53	29,13	15,3	605,8
Mai	5,03	29,13	15,3	695,1
Junho	5	29,13	15,3	668,6
Julho	5,69	29,13	15,3	786,3
Agosto	6,19	29,13	15,3	855,4
Setembro	6,24	29,13	15,3	834,5
Outubro	6,42	29,13	15,3	887,2
Novembro	6,36	29,13	15,3	850,5
Dezembro	6,06	29,13	15,3	837,4
			Total :	9045

Fonte: Produção do próprio autor

Verifica-se assim, que o rendimento mensal do sistema poderá ser em média de 753 kWh em um mês, e que a energia demandada para essa instalação é em média de 671 kWh, como mostra a Tabela 10. Conclui-se que o sistema pode atender a 100% da energia demandada pela residência.

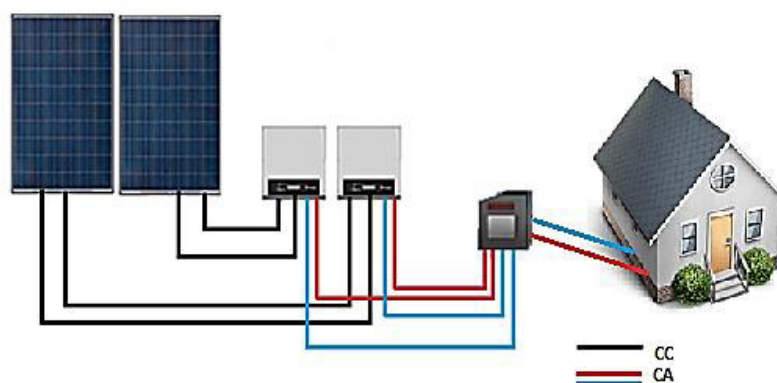
A equação 3.4 apresenta o fator de capacidade (FCap) desse sistema, sem considerar as perdas.

$$FCap = \frac{\text{Energia Gerada}}{\text{Potência FV} \cdot 24 \cdot \text{dias}} = \frac{753}{5 \cdot 24 \cdot 30} = 20,91\% \quad (3.4)$$

3.5 Diagramas

A Figura 13 mostra o diagrama esquemático de ligação do sistema fotovoltaico. Nesta figura, observamos todas as partes que compõem o sistema, desde o módulo solar até a conexão à residência.

Figura 13 – Esquema básico de ligação para o sistema solar

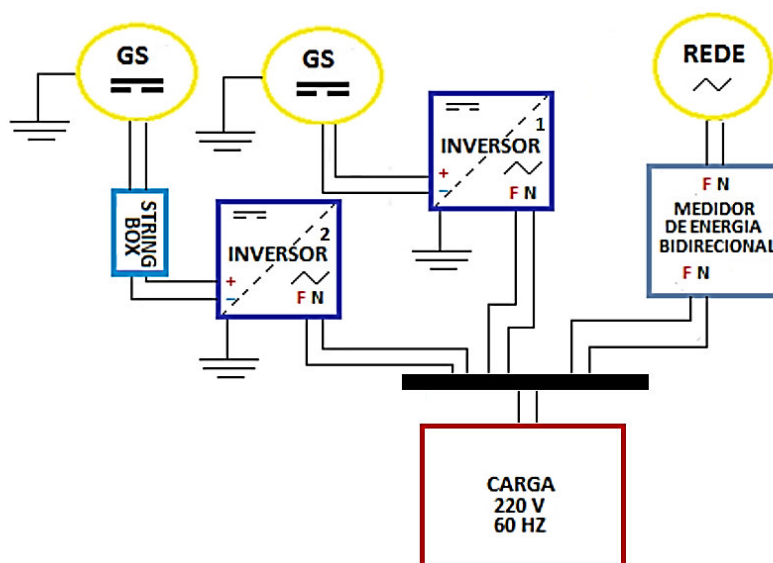


Fonte: Produção do próprio autor

3.5.1 Diagrama de Blocos

A Figura 14 apresenta o diagrama unifilar da interligação do sistema fotovoltaico à carga.

Figura 14 – Diagrama de blocos da conexão SFV – carga



Fonte: Produção do próprio autor

Os blocos apresentado na Figura 14 correspondem aos seguintes equipamentos:

- Gerador Solar (GS) – Sistema formado pela associação de 20 módulos fotovoltaicos YL250P-29b.
- String Box – Quadro de proteção e isolamento para o lado CC do inversor 2, que não possui proteções de curto circuito e sobretensões.
- Inversor 1 – Equipamento responsável pela transformação da tensão contínua em tensão alternada de 60 Hz, de 14 módulos fotovoltaico (Santerno 4300E).
- Inversor 2 – Equipamento responsável pela transformação da tensão contínua em tensão alternada em 60 Hz de 6 módulos fotovoltaicos (KLNE SUNTEAMS 1500).
- Carga – Todos os equipamentos elétricos abastecidos pela rede e pelo sistema de micro geração.
- Medidor bidirecional – Equipamento que mede e diferencia a energia elétrica ativa consumida e a energia elétrica ativa injetada na rede.
- Rede – Ponto de conexão e fornecimento de energia a carga com os alimentadores da COELCE

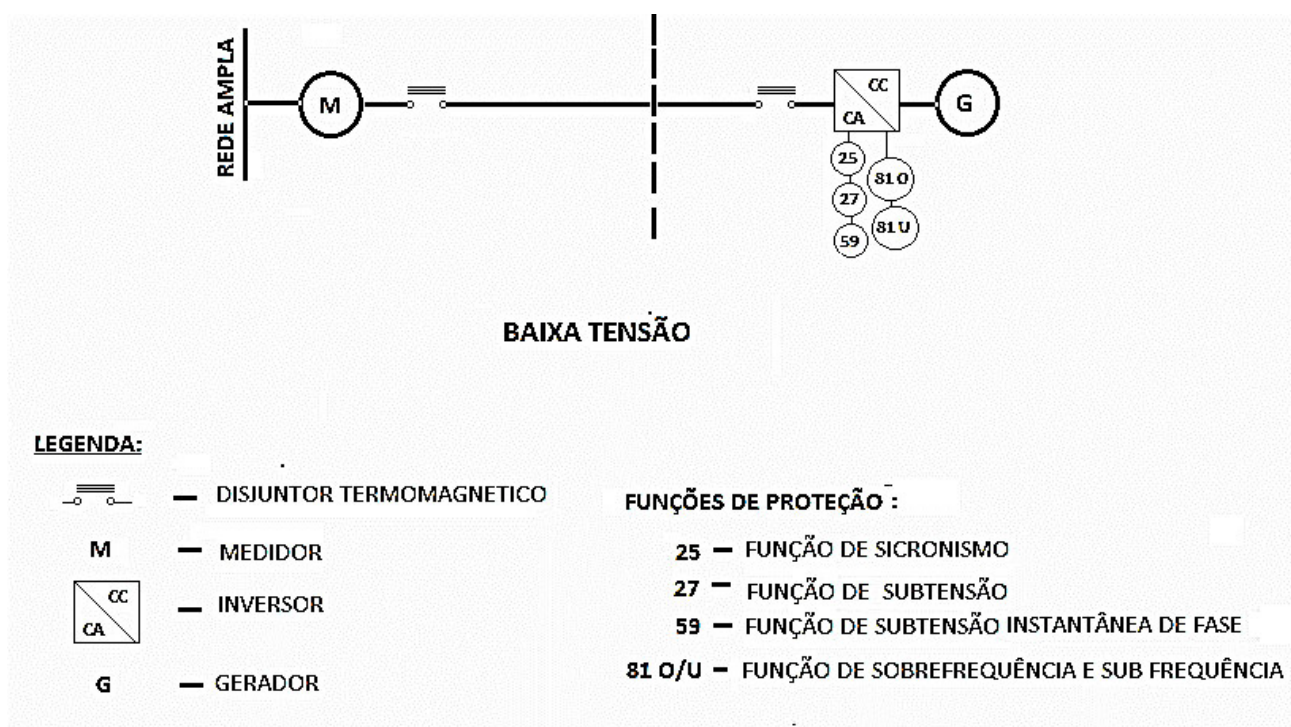
3.5.1.1 Parametrização do Inversor

Devido ao excelente custo benefício, foram escolhidos os inversores Santerno 4300E e KLNE SUNTEAMS 1500 da SICES. Por já possuir o inversor monofásico Santerno 4300E, incapaz de suportar a potência de 5 kW, a empresa que realizou o projeto considerou mais viável economicamente adquirir um outro inversor monofásico de menor porte, que juntamente com este possa suportar a demanda de todo o sistema, do que adquirir um inversor de 5 kW trifásico, mais caro.

O inversor Santerno 4300E dará suporte a 14 módulos, 3500 Wp de potência, e o inversor KLNE SUNTEAMS 1500 aos 6 módulos restantes, 1500 Wp. Os dois equipamentos possuem certificados internacionais de eficiência, e seus limites de corrente e tensão de operação são aceitáveis.

Para cumprirem suas funções de proteção contra subtensão e sobretensão, os parâmetros dos inversores foram ajustados de acordo com a Tabela 4. O ajuste dos limites de frequência devem estar conforme a Tabela 5 e os limites de distorção harmônica como indica a Tabela 6, segundo norma NT – 010 Coelce. A Figura 15 mostra as funções de proteção exigidas.

Figura 15 – Diagrama unifilar da geração com as funções de proteção.



Fonte: (Norma Técnica 010-Coelce, 2015)

3.6 Instalação Elétrica Atual

Conforme a Tabela 3, a residência é alimentada através da rede de baixa tensão da Coelce em 380/220V, onde o ponto de entrega está localizado em um poste de concreto instalado na frente da residência.

3.6.1 Dimensionamentos da Proteção e Alimentação do SFV

A proteção geral é constituída por um disjuntor termomagnético, 32 A trifásico, que fica acima do barramento de baixa tensão. Por sua vez, o SFV encontra-se abaixo do barramento e é interligado ao quadro de medição, por dois disjuntores monofásicos. Para determinar o valor destes disjuntores deve-se primeiro calcular o valor das correntes que iram passar por cada ramal.

No ramal onde a geração é feita por 14 módulos, a corrente é calculada através da equação 3.5. Já para o ramal onde a geração é feita por 6 módulos, a corrente é calculada através da equação 3.6.

$$I_{G1} = \frac{\text{Potência nominal 1}}{\text{Tensão nominal}} = \frac{3500}{220} \cong 16 \text{ A} \quad (3.5)$$

$$I_{G2} = \frac{\text{Potência nominal 2}}{\text{Tensão nominal}} = \frac{1500}{220} \cong 7 \text{ A} \quad (3.6)$$

Buscando assegurar que não ocorram atuações indesejadas e pensando na possibilidade de expansão do sistema, foram escolhidos dois disjuntores termomagnéticos monofásicos de 20 A e tensão nominal de 220 V, da marca Schneider.

Cabos de cobre flexível com seção reta de 4 mm², isolado em PVC, fazem a conexão entre o quadro de medição e os SFV's. A escolha do condutor de 4 mm² é feita levando em conta o critérios de máxima capacidade de corrente, já que o cabo tem capacidade térmica de conduzir correntes que variam de 26 A a 38 A, de acordo com o método de referência da NBR-5410, 2004.

Outro critério a ser atendido pelo cabo é o de máxima queda de tensão. De acordo com o item 6.2.7.1 da NBR 5410, a máxima queda de tensão permitida é de 7%, a partir dos terminais de saída AC do inversor.

A equação 3.7 apresenta a fórmula da queda de tensão e a Tabela 12 indica os valores dos parâmetros utilizados em cada ramo, com o resultado do cálculo.

$$\Delta V\% = \frac{200\rho.L_C.I_C.\cos\phi}{V_{FN}.S_C} \quad (3.7)$$

Em que,

L_c – comprimento do condutor;

I_c – corrente do condutor;

V_f – tensão entre fase e neutro;

S_c – seção reta do condutor determinada pelo método da máxima capacidade de corrente;

ρ - resistividade do cobre;

Cos φ - fator de potência do SFV ;

Tabela 12 – Queda de tensão na saída AC dos inversores.

QUEDA DE TENSÃO		
Gerador	G1 (14 módulos)	G2 (6 módulos)
L _c	20 m	15 m
I _c	16 A	7 A
V _f	220 V	220 V
S _c	4 mm ²	4 mm ²
ρ	1.72×10 ⁻⁸ Ω.m	1.72×10 ⁻⁸ Ω.m
Cos φ	1	1
ΔV%	1,25%	0,41%

Fonte: Produção do próprio autor

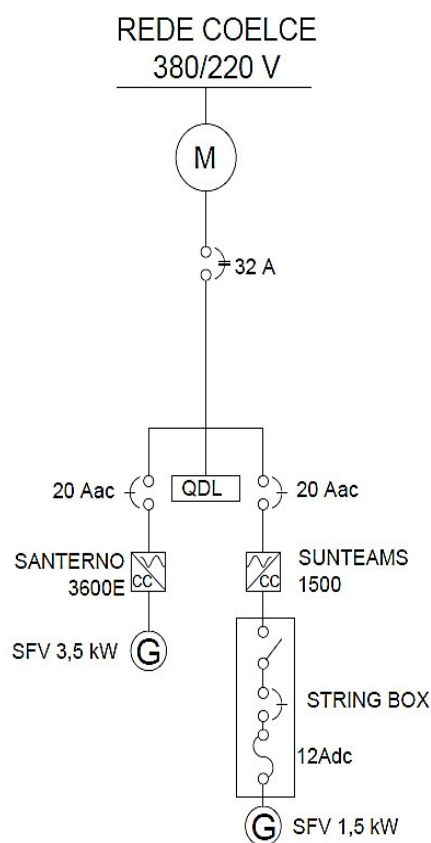
Ao introduzir os parâmetros de cada ramo na equação 3.7 resulta em quedas de tensões de 1,25 % e 0,41%. Indicando que este critério também é satisfeito pelo cabo de cobre de seção 4 mm²

3.6.2 Coordenação entre o Disjuntor do SFV e da Proteção Geral Residencial

Como apresenta-se na Figura 16, a proteção geral é feita por um disjuntor trifásico, 32 A. Já a parte do sistema fotovoltaico cuja geração é feita por 14 módulos fica por conta do próprio inversor Santerno 4300E, que possui proteções de curto circuito e sobretensões integradas, e de um disjuntor termomagnético monofásico de 20 A. O outro ramo do SFV terá a sua proteção feita pelo string box, que é composto por uma chave fusível 12 A, e por outro disjuntor termomagnético monofásico de 20 A.

Pode-se garantir, assim, a seletividade do conjunto de geração, pois ocorrendo um curto circuito ou um surto elevado de tensão, as fontes são as primeiras a sair de operação. Com isso a falha não será alimentada pela geração do SFV.

Figura 16 – Diagrama de blocos da conexão SFV – proteção e seletividade

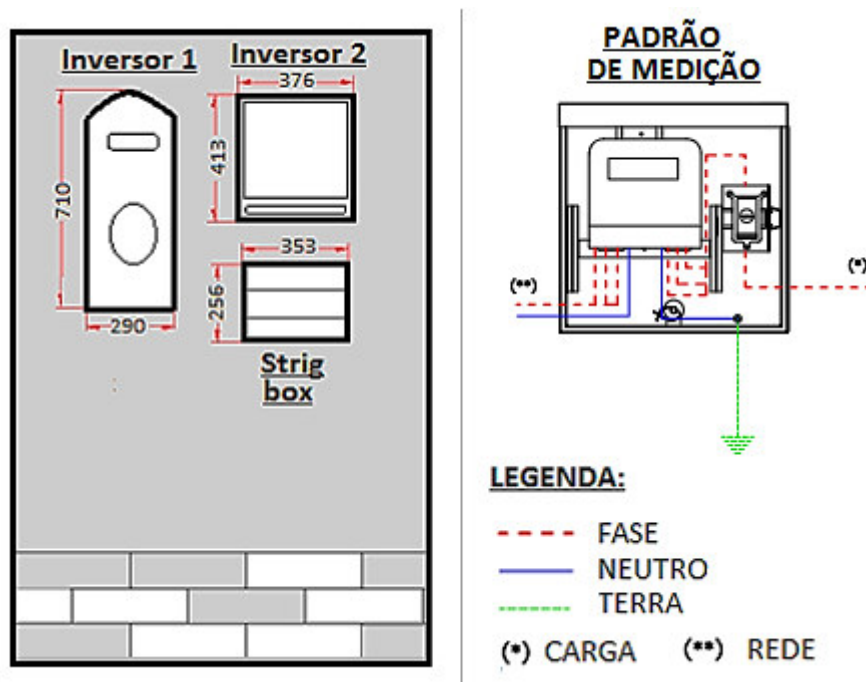


Fonte: Produção do próprio autor

3.6.3 Quadros de Comando e Medição

O quadro de comando e proteção abriga os inversores e todas as proteções envolvidas. Além de mostrar como devem estar dispostos os equipamentos no quadro, a Figura 17 mostra o esquema de ligação elétrica simplificado do padrão de medição de baixa tensão da Coelce.

Figura 17 – Quadro de proteção e controle do SFV e medidor Coelce.



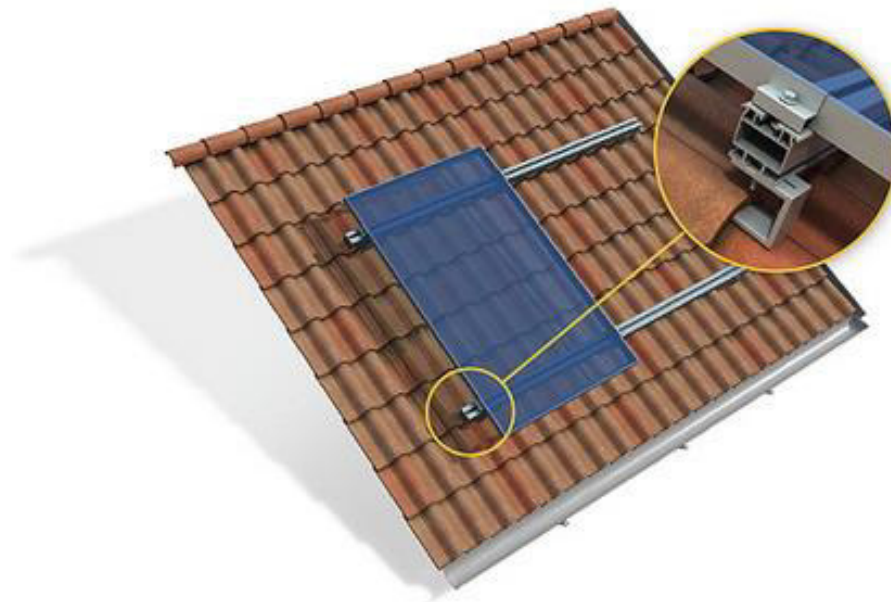
Fonte: Produção do próprio autor

Os condutores devem ser identificados conforme a NBR-5410, e a saída dos circuitos para a geração e para a carga é feita por eletrodutos e arruela sextavadas.

3.6.4 Instalação dos módulos fotovoltaicos

Os módulos são instalados sobre a residência através de uma estrutura de suporte rígida capaz de suportar o peso destes, além dos ventos incidentes no local. Essa armação é formada por trilhos de alumínio, resistentes a corrosão e intemperes, que são presos às linhas de sustentação do telhado. A Figura 18 apresenta de forma esquemática a fixação dos módulos.

Figura 18 – Esquema fixação SFV



Fonte: (Logik,2016)

Outra função da estrutura de fixação é a de garantir a dissipação do calor, gerado pela incidência dos raios solares e pelas perdas na conversão de energia, que afeta a eficiência dos módulos.

A estrutura sobre telhado é mais simples que as outras formas de instalação, pois evita o sombreamento e o contato de terceiros com o sistema. Por outro lado, sua localização dificulta a instalação e a manutenção, bem como acrescenta riscos associados ao trabalho em altura.

CAPÍTULO 4 – ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO

A análise da viabilidade econômica do sistema de minigeração é realizada com base no consumo de energia da unidade consumidora e nos gastos de implementação, como os preços de equipamentos e de serviços. Este estudo é alcançado com a comparação entre o fornecimento energético da fonte renovável e o abastecimento convencional realizado pela concessionária.

O trabalho toma como base as leis de incentivo à micro e minigeração propostas na resolução normativa 482 da ANEEL. Com o sistema fotovoltaico conectado à rede e utilizando um medidor bidirecional, que mede tanto a energia injetada como a energia recebida pela rede de distribuição, obtém-se como retorno os descontos na conta de energia.

De posse do consumo elétrico da unidade consumidora, indicado pelo histórico mostrado na Tabela 10, juntamente com o valor da tarifa, tem-se condições de mensurar o quanto será reduzido do valor que é pago à concessionária quando o microgerador estiver operando. Por sua vez, a geração do sistema fotovoltaico varia com o valor da radiação sobre as placas e com as diversas perdas, que são relevantes para o estudo de viabilidade. O potencial fotovoltaico da região onde se localiza o sistema foi estimado no item 3.4.1 do capítulo anterior, com o uso dos índices indicados no anexo A.

O valor da eficiência do sistema de geração fotovoltaica deve apresentar uma diminuição por diversos motivos, sendo os mais relevantes: degradação por incidência inicial da luz, sombreamento, eficiência do inversor, posicionamento dos módulos, queda de tensão, sujeiras e temperatura nos módulos. Para estimar uma análise mais real, a energia gerada terá uma perda de 16%, valor considerado a partir de um estudo elaborado por PINHO (2012), onde foram analisados diversas publicações científicas que abordam tais perdas.

Os custos relacionados à instalação do sistema fotovoltaico indicado no estudo de caso são mostrados na Tabela 13, onde o valor total do investimento inicial é a soma dos custos dos painéis fotovoltaicos, dos inversores, dos materiais da instalação elétrica, mão de obra e projeto. Os painéis solares são os equipamentos com o maior custo de aquisição, responsável por 51% do custo de implantação do micro gerador, seguidos dos inversores.

Tabela 13 – Investimentos Totais

Materiais	Preço (R\$)
20 Painéis Fotovoltaicos YL250P-29b	22.000,00
Inversor SANRTEMO 4300E	10.900,00
Inversor KLNE SUNTEAMS 1500	3.000,00
Materiais Instalação Elétrica	2.000,00
Mão de Obra	2.700,00
Projeto e Documentação Acesso	2.500,00
Total	43.100,00

Fonte: Produção do próprio autor

(*) Materiais Instalação elétrica corresponde aos gastos com equipamentos restantes da instalação, como dispositivos de proteção, cabos, conectores, eletrodutos, etc.

A escolha dos materiais foi realizada de acordo com os valores de mercado, buscando boa qualidade e custo reduzido. Vale salientar as grandes variações que esses preços apresentam devido à alta instabilidade cambial que moeda brasileira vem apresentando nos últimos dois anos, frente ao dólar, e as incertezas que cercam a economia do país.

Neste capítulo, é feito o cálculo, assim como a explanação, dos indicadores econômicos *payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e o TIR (Taxa Interna de Retorno) para o projeto fotovoltaico apresentado no Capítulo 3. Tais valores dão uma noção quantitativa mais adequada e uma estimativa sobre o tempo de retorno do investimento realizado.

4.1 *Payback*

O *Payback*, ou *payback* simples, é um conhecido indicador econômico empregado na análise de retorno de projetos. Ele indica o tempo decorrido entre o instante que ocorre o investimento inicial e o momento em que o lucro gerado se iguala ao valor desse investimento.

Este método tem como vantagem ser simples, e de fácil compreensão, permitindo uma noção do grau de risco do projeto e da velocidade com que o investimento gera caixa, mostrando maior relevância em casos onde o investimento apresenta uma resposta num período curto de tempo. Apesar de apresentar desvantagens em relação a outros métodos de análise mais completos, o *payback* pode ser útil como indicador auxiliar em diversas análises.

A partir do custo total presente na Tabela 13, calcula-se o tempo de retorno conforme o valor economizado com a concessionária de energia durante a vida útil do sistema. Somente o valor relativo à geração elétrica prevista do microgerador, levando em consideração as perdas, é computado como retorno financeiro, esse valor é resultado do produto da quantidade de kWh gerado em um ano e o valor estimado da tarifa.

A Tabela 14 apresenta o *payback* do investimento. A primeira coluna indica os períodos, a segunda mostra a geração estimada, a partir do valor de energia gerada durante o ano pelo sistema, já presumido na Tabela 11, considerando uma perda de 16% e um valor de depreciação de 0,9%, que o painel sofre durante o ano segundo o Anexo B. Na terceira coluna está localizado o valor da tarifa Coelce, que tem um reajuste de 4,5% ao ano, percentual menor do que a média dos reajustes de 2006 a 2016, que é 5,5123%. Deixando a análise ainda mais conservadora, optou-se por utilizar a bandeira tarifária verde.

Tabela 14 – Estimativa do *payback* simples do investimento.

Ano	Geração com perdas (kWh/ano)	Valor da Tarifa (R\$/kW)	Retorno (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	7597,581	0,5981	4.543,73	- 38.556,27
2	7529,203	0,6250	4.705,47	- 33.850,80
3	7461,440	0,6531	4.872,96	- 28.977,84
4	7394,287	0,6825	5.046,41	- 23.931,43
5	7327,739	0,7132	5.226,04	- 18.705,39
6	7261,789	0,7453	5.412,06	- 13.293,33
7	7196,433	0,7788	5.604,70	- 7.688,63
8	7131,665	0,8139	5.804,20	- 1.884,43
9	7067,480	0,8505	6.010,80	4.126,37
10	7003,873	0,8888	6.224,76	10.351,13
11	6940,838	0,9288	6.446,33	16.797,46
12	6878,370	0,9705	6.675,78	23.473,24
13	6816,465	1,0142	6.913,41	30.386,65
14	6755,117	1,0599	7.159,49	37.546,14
15	6694,321	1,1076	7.414,33	44.960,47
16	6634,072	1,1574	7.678,25	52.638,72
17	6574,365	1,2095	7.951,55	60.590,27
18	6515,196	1,2639	8.234,59	68.824,86
19	6456,559	1,3208	8.527,70	77.352,56
20	6398,450	1,3802	8.831,24	86.183,80

Fonte: Produção do próprio autor

Como se verifica, o *payback* é de 8 anos. Um bom valor considerando a vida útil do projeto igual a 25 anos. Com tudo, apesar de observar o reajuste da tarifa e as perdas na geração no decorrer do tempo, o cálculo não leva em consideração a taxa de juros, nem a inflação do período, resultando num dado relativamente limitado.

4.1.1 Payback Descontado

O *payback* descontado é o período de tempo necessário para recuperar o investimento considerando o valor do dinheiro no tempo, alterado devido a taxa de juros (taxa de desconto).

A Tabela 15, que apresenta o *payback* descontado com um taxa de juros de 10% a.a., é similar a Tabela 14, diferindo apenas nas duas últimas colunas que contém novos valores de retorno, já que os mesmos são reduzidos pela aplicação da taxa de juros que traz esses valores futuros para o presente, e novos valores de fluxo, conseqüentemente.

A Equação 4.1 indica como calcular o novo valor de retorno.

$$Rdt = \frac{Rt}{(1+i)^t} \quad (4.1)$$

Em que,

Rt – valor de retorno do período;

t - é período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto;

n - é o número de períodos;

i - é a taxa desconto;

A taxa de juros considerada tem como base os valores de juros da FNE Sol, linha de financiamento para sistemas de energia solar do Banco do Nordeste (BNB), divulgado em maio deste ano

Tabela 15 – Estimativa do *payback* descontado do investimento.

Ano	Geração com perdas (kWh/ano)	Valor da Tarifa (R\$/kW)	Retorno (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
1	7597,581	0,5981	4.131,01	-38.968,99
2	7529,203	0,6250	3.889,14	-35.079,85
3	7461,44	0,6531	3.661,43	-31.418,41
4	7394,287	0,6825	3.447,06	-27.971,36
5	7327,739	0,7132	3.245,23	-24.726,13
6	7261,789	0,7453	3.055,22	-21.670,91
7	7196,433	0,7789	2.876,34	-18.794,57
8	7131,665	0,8139	2.707,93	-16.086,64
9	7067,48	0,8506	2.549,38	-13.537,26
10	7003,873	0,8888	2.400,11	-11.137,15
11	6940,838	0,9288	2.259,59	-8.877,56
12	6878,37	0,9706	2.127,29	-6.750,27
13	6816,465	1,0143	2.002,74	-4.747,53
14	6755,117	1,0600	1.885,48	-2.862,06
15	6694,321	1,1076	1.775,08	-1.086,98
16	6634,072	1,1575	1.671,15	584,17
17	6574,365	1,2096	1.573,30	2.157,47
18	6515,196	1,2640	1.481,19	3.638,66
19	6456,559	1,3209	1.394,46	5.033,13
20	6398,45	1,38033	1.312,82	6.345,94

Fonte: Produção do próprio autor

O *payback* descontado com juros de 10% a.a. calculado é igual a 15 anos, valor bem maior que do *payback* simples, como previsto. Já, para uma taxa de desconto de 14,5% a.a., valor da taxa SELIC, esse período passa a ser superior a vida útil do sistema, que é de 25 anos.

4.2 VPL e TIR

VPL (Valor Presente Líquido), também conhecido como VAL (Valor Atual Líquido) calcula o valor presente de uma série de pagamentos realizados no futuro, decorrente de um investimento, descontando uma taxa estipulada. Esse indicador é muito usado em análises de retorno de projetos e de valoração de empresas.

Para indicar se o investimento é favorável, quando a soma dos valores futuros estimados é maior do que o investimento inicial, o VPL é positivo. Se o VPL for igual a zero, o projeto tem chances elevadas de ser inviável. Agora, quando o VPL é menor que zero, o investidor obterá perdas.

O valor presente líquido pode ser calculado através da Equação 4.2

$$VPL = \sum_{t=1}^n \left(\frac{FCt}{(1+i)^t} \right) \quad (4.2)$$

Em que,

FC - é o fluxo de caixa no período;

t - é período no tempo em que o dinheiro será investido no projeto

n - é o número de períodos;

i - é a taxa desconto;

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é uma taxa de desconto, que faz com que o valor presente líquido seja igual à zero, apresentando uma taxa de juros que aplicada ao investimento iguala o valor deste a soma dos saldos de caixa gerados em cada período. A TIR permite uma comparação com os demais investimentos.

Na Tabela 16, a segunda coluna apresenta os retornos calculados na Tabela 14, resultado do produto entre a tarifa e a energia gerada em cada período. Na terceira coluna foram inseridos os custos relativos à manutenção do sistema, admitindo um reajuste de 5% ao ano. Como resultado da diferença entre os retornos e os custos de manutenção, a receita líquida de cada ano está indicada na quarta coluna.

Buscando uma comparação entre diferentes cenários foi realizado o levantamento do VPL para dois casos, primeiro quando taxa de desconto é 10% a.a. e depois quando é 14,5%, valor próximo ao da taxa Selic.

Tanto VPL como TIR foram obtidos a partir do uso do software *Microsoft Excel*, 2013.

Tabela 16 – Cálculo do VPL e da TIR

1	A	B	C	D	E
2	Ano	Retorno (R\$)	Custos de manutenção (R\$)	Retorno (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)
3	0	-43.100,00	-	-43.100,00	Custo inicial
4	1	4.543,73	200	4.343,73	Receita do 1º ano
5	2	4.705,47	210	4.495,47	Receita do 2º ano
6	3	4.872,96	220,5	4.652,46	Receita do 3º ano
7	4	5.046,41	231,53	4.814,89	Receita do 4º ano
8	5	5.226,04	243,1	4.982,94	Receita do 5º ano
9	6	5.412,06	255,26	5.156,80	Receita do 6º ano
10	7	5.604,70	268,02	5.336,68	Receita do 7º ano
11	8	5.804,20	281,42	5.522,78	Receita do 8º ano
12	9	6.010,80	295,49	5.715,31	Receita do 9º ano
13	10	6.224,76	310,27	5.914,49	Receita do 10º ano
14	11	6.446,33	325,78	6.120,55	Receita do 11º ano
15	12	6.675,78	342,07	6.333,72	Receita do 12º ano
16	13	6.913,41	359,17	6.554,24	Receita do 13º ano
17	14	7.159,49	377,13	6.782,36	Receita do 14º ano
18	15	7.414,33	395,99	7.018,35	Receita do 15º ano
19	16	7.678,25	415,79	7.262,46	Receita do 16º ano
20	17	7.951,55	436,57	7.514,98	Receita do 17º ano
21	18	8.234,59	458,4	7.776,18	Receita do 18º ano
22	19	8.527,70	481,32	8.046,37	Receita do 19º ano
23	20	8.831,24	505,39	8.325,85	Receita do 20º ano
24	21	9.145,59	530,66	8.614,93	Receita do 21º ano
25	22	9.471,13	557,19	8.913,94	Receita do 22º ano
26	23	9.808,25	585,05	9.223,20	Receita do 23º ano
27	24	10.157,38	614,3	9.543,07	Receita do 24º ano
28	25	10.518,93	645,02	9.873,91	Receita do 25º ano
29	TAXAS		FÓRMULAS		
30	VPL do projeto				
31	10%	9.088,79	=VPL(A31;D4:D28)+D3		
32	14,50%	-6.805,23	=VPL(A32;D4:D28)+D3		
33	TIR		=TIR(D3:D28)		
34	12%				

Fonte: Produção do próprio autor

Como resultado da utilização das fórmulas no *Excel*, encontrou-se que o VPL é 9.088,79 reais positivo quando a taxa de desconto é igual a 10%, o que torna o investimento viável. O valor da TIR encontrado é igual a 12% a.a.

Já para o segundo caso, quando a taxa é de 14,5%, valor próximo ao da taxa SELIC em Janeiro de 2016, o valor do VPL obtido é de 6.805,23 reais negativos. Conclui-se que, nesse outro caso, o sistema de microgeração não é viável economicamente.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO

Com a conclusão deste trabalho, verifica-se que uso integrado da geração elétrica de pequeno porte localizada próxima à carga apresenta uma relevância estratégica na expansão da matriz energética brasileira. O Ceará, assim como o restante do Nordeste, mostra-se bastante apto à instalação de sistemas fotovoltaicos, por apresentar níveis solarimétricos altos e propícios ao aproveitamento energético, além da complementariedade com a energia hídrica que aumenta a confiabilidade no abastecimento. Apesar dos grandes desafios apresentados, como os custos elevados, a intermitência e problemas complexos de controle que exigem uma adaptação de agentes do setor elétrico, o crescimento dessas fontes torna-se cada vez mais visível.

Atualmente a utilização de sistemas de geração fotovoltaica demonstra uma alta elevação, dada às diversas tecnologias de células fotovoltaicas produzidas. São vários os fabricantes que empregam diferentes materiais, alterando os custos e a eficiência, isso amplia cada vez mais as possíveis aplicações, deixando mais evidente as vantagens do uso da energia fotovoltaica em regiões que apresentam escassez de recursos.

Com a publicação da resolução nº 482 pela ANEEL, deu-se um grande passo na propagação da geração distribuída em todo Brasil. Os sistemas de micro e de minigeração fotovoltaicos são os mais utilizados, pois, além dos incentivos resultantes da resolução e as vantagens técnicas, existem ainda incentivos financeiros para quem deseja produzir sua própria energia a partir do sol.

A viabilidade de um projeto depende de diversos fatores como o custo inicial, os nível de irradiação solar, a energia gerada, a tarifa de energia elétrica, bem como as taxas de juros vigentes no mercado.

Na atratividade econômica produzida nesse trabalho, o *payback* simples se mostrou atraente, com 8 anos, para um projeto com vida útil estimada em 25 anos. Contudo o *payback* descontado, que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, com uma taxa de juros de 10% a.a. é igual a 15 anos. Através do cálculo do TIR, pode-se verificar que o projeto se mostra viável economicamente quando a taxa de desconto utilizada é inferior a 12%, foi o que ocorreu no caso onde a taxa de desconto é igual a 10%, o cálculo do VPL resultou em um lucro líquido de 9.088 reais. Já no segundo caso, onde considerou-se a taxa de desconto 14,5%, valor da taxa Selic, o VPL é de 6.805 reais negativos. Assim, apesar do alto custo de implantação de um

sistema fotovoltaico é possível obter lucro, dependendo, é claro, da taxa de juros controlada pelo Copom (Comitê de Política Monetária).

Assim, por já ser possível obter lucro com projetos microgeração fotovoltaica, a tendência é a expansão da participação da energia solar na matriz energética nacional. Com isso, os custos relacionados devem diminuir, beneficiando, assim, toda uma cadeia econômica. O trabalho deixa evidente, também, a importância de fazer um estudo prévio para analisar a viabilidade econômica de um projeto de microgeração, ressaltando que o sucesso desse estudo depende de uma boa verificação das diversas variáveis.

Deixa-se como sugestão de trabalhos futuros um estudo de viabilidade semelhante utilizando painéis solares fabricados no Brasil. Além disso, sugere-se também um estudo econômico com diferentes tarifas de energia elétrica, procurando verificar em qual região a microgeração é mais viável.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 5410- Instalações Elétricas de Baixa Tensão**, 2004. Versão Corrigida :2008

ABNT. **NBR 1089- Energia solar fotovoltaica — Terminologia**, 2013.

ANEEL. **PRODIST – Seção 3.7 – Acesso de Micro e Minigeração Distribuída.**, 2012. Disponível em:<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo3_Revisao_5.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2016.

ANEEL. **Resolução nº 482.** ANEEL, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2016.

ANEEL. **Tarifas Residenciais - ANEEL.** Disponível em : <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=493>> Acesso em: 20 mai. 2016.

BEATRIZ. **Energia do Sol**, 2008 Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/ppgenfis/index.php>> Acesso em: 12 fev. 2015.

COELCE. **Norma Técnica 003 - Fornecimento de Energia Elétrica a Prédios de Múltiplas Unidades Consumidoras.** Ceará, 2015.

COELCE. **Norma Técnica 010 - Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Coelce.** Ceará, 2015.

CIER. **Energia Solar – Congresso Internacional de Energia Renováveis-**, 2003. Disponível em: < www.agg.ufba.br/cier_solarfotovoltaica.pdf >. Acesso em: 12 set. 2015

ENERGYGREEN. **Modelo de Geração Distribuída**, 2007. Disponível em:<http://energygreenbrasil.com.br/wpcontent/uploads/2015/07/db5e97_1b36260229f84e97bc81e8a87723bff3.jpg> Acesso em : 12 fev.2015

EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2008 - 2017.**: EPE, 2009. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/PDEE/Forms/EPEEstudo.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2015.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2014:** ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

EPIA.**Global Market Outlook for Photovoltaics 2015-2019**, 2015. Disponível em : < http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_-2019_lr_v23.pdf >. Acesso em: 13 jul. 2016.

GREENPRO- **Energia Fotovoltaica – Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações**, 2004. Disponível em :< <http://www.greenpro.de/po/fotovoltaico.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

IEA. **Snapshot of Global PV MarketsGlobal**, 2015. Disponível em : < http://www.iea-pvps.org/fileadmin/dam/public/report/technical/PVPS_report__A_Snapshot_of_Global_PV_-_1992-2014.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2016.

KUNIZO, N.K.- **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Gerais e Perspectivas Futuras**. Dirssertação de Mestrado USP, 2014.

LOGIK. **Estrutura de Montagens de Paineis Solar Fotovoltaico**. Disponível em: < http://www.logik.com.br/assets/images/Thesan_Universal_Medium_495.jpg>. Acesso em: 12 jun. 2016.

MOEHLECKE, Adriano, et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**, 2014, CEPEL ELETROBRAS.

SEVERINO, M. M. **Avaliação Técnico- Econômica de um Sistema Híbrido de Geração Distribuída para Atendimento a Comunidades Isoladas da Amazônia**. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, 2008, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

PORTALSOLAR. **Tipos de Paineis Solar Fotovoltaico**, 2012. Disponível em: <<http://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 13 fev. 2016.

PINHO, M.A.- **Qualificação de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. Dirssertação de Mestrado USP, 2012.

SONDA. **Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais. Atlas brasileiro de energia solar**. INEP, 2006. Disponível em: <http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf> Acesso em: 23 nov. 2015.

SOLARGIS. **Online Data and Tools for Solar Energy Projects**. Bratislavia: GeoModel Solar, 2013. Disponível em: <http://solargis.info/> Acesso: 20 fev. 2016.

ANEXO A- IRRADIAÇÃO SOLAR PRÓXIMA À RESIDÊNCIA.

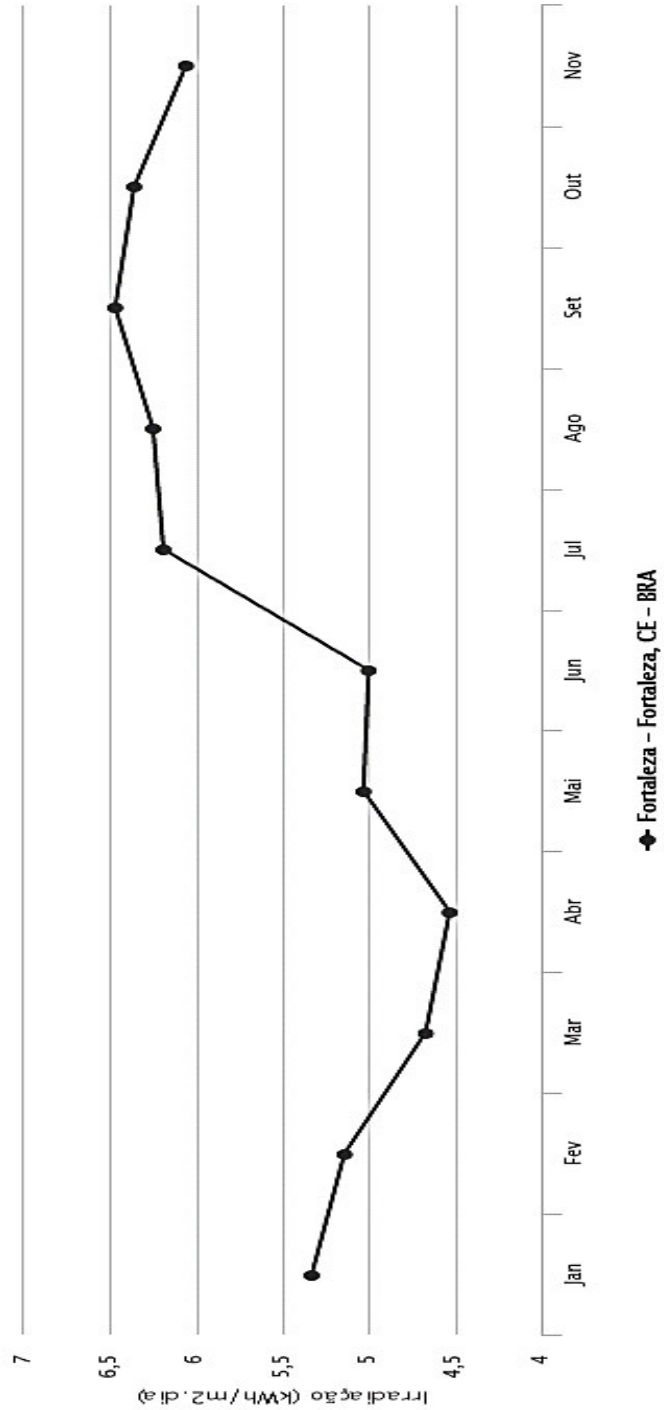
Localidades próximas

Latitude: 3,730414° S
Longitude: 38,578083° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m ² .dia]		Distância [km]												Média	Delta	
					Latitude [°]	Longitude [°]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
<input checked="" type="checkbox"/>	Fortaleza	Fortaleza	CE	BRA	3,7° S	38,543055° O	5,2	5,33	5,14	4,67	4,53	5,03	5,00	5,69	6,19	6,25	6,47	6,36	6,06	5,56	1,94
<input type="checkbox"/>	Aracati	Aracati	CE	BRA	4,5° S	37,769722° O	124,1	5,64	5,44	5,50	4,92	5,39	5,14	5,75	6,36	6,33	6,69	6,61	6,08	5,82	1,77
<input type="checkbox"/>	Morada Nova	Morada Nova	CE	BRA	5,1° S	38,3725° O	154,2	5,47	5,36	5,39	5,28	5,28	5,00	5,33	6,06	6,14	6,39	6,39	5,92	5,67	1,39

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

3,730414° S; 38,578083° O



Fonte: Sondata

ANEXOB - FICHA TECNICA DO PAINEL YL250P-29Bb

YGE 60 Cell 40mm SERIES

Powered by **YINGLI**

YL260P-29b
YL255P-29b
YL250P-29b
YL245P-29b
YL240P-29b
YL235P-29b
YL230P-29b



ABOUT YINGLI GREEN ENERGY

Yingli Green Energy Holding Company Limited (NYSE: YGE) is one of the world's largest fully vertically integrated PV manufacturers, which markets its products under the brand "Yingli Solar". With over 4.5GW of modules installed globally, we are a leading solar energy company built upon proven product reliability and sustainable performance. We are the first renewable energy company and the first Chinese company to sponsor the FIFA World Cup™.

PERFORMANCE

- High efficiency, multicrystalline silicon solar cells with high transmission and textured glass deliver a module efficiency of up to 16.2%, minimizing installation costs and maximizing the kWh output of your system per unit area.
- Tight positive power tolerance of 0W to +5W ensures you receive modules at or above nameplate power and contributes to minimizing module mismatch losses leading to improved system yield.
- Top ranking in the "TÜV Rheinland Energy Yield Test" and the "PHOTON Test" demonstrates high performance and annual energy production.

RELIABILITY

- Tests by independent laboratories prove that Yingli Solar modules:
 - ✓ Fully conform to certification and regulatory standards.
 - ✓ Withstand wind loads of up to 2.4kPa and snow loads of up to 5.4kPa, confirming mechanical stability.
 - ✓ Successfully endure ammonia and salt-mist exposure at the highest severity level, ensuring their performance in adverse conditions.
- Manufacturing facility certified by TÜV Rheinland to ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 and BS OHSAS 18001:2007.

WARRANTIES

- 10-year limited product warranty¹.
- Limited power warranty¹: 10 years at 91.2% of the minimal rated power output, 25 years at 80.7% of the minimal rated power output.
¹In compliance with our Warranty Terms and Conditions.

QUALIFICATIONS & CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, MCS, CE, ISO 9001:2008, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000, PV Cycle



YINGLISOLAR.COM

YGE 60 Cell 40mm SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

Electrical parameters at Standard Test Conditions (STC)

Module type	YLxxxP-29b (xxx=P _{max})								
	P _{max}	W	260	255	250	245	240	235	230
Power output	P _{max}	W	260	255	250	245	240	235	230
Power output tolerances	ΔP _{max}	W	0/5						
Module efficiency	η _m	%	15.9	15.6	15.3	15.0	14.7	14.4	14.1
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	30.9	30.6	30.4	30.2	29.5	29.5	29.5
Current at P _{max}	I _{mp}	A	8.41	8.32	8.24	8.11	8.14	7.97	7.80
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	38.9	38.7	38.4	37.8	37.5	37.0	37.0
Short-circuit current	I _{sc}	A	8.98	8.88	8.79	8.63	8.65	8.54	8.40

STC: 1000W/m² irradiance, 25°C cell temperature, AM1.5g spectrum according to EN 60904-3.
Average relative efficiency reduction of 3% at 200W/m² according to EN 60904-1.

Electrical parameters at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)

Power output	YLxxxP-29b (xxx=P _{max})								
	P _{max}	W	188.3	184.7	181.1	177.9	174.3	170.7	167.0
Voltage at P _{max}	V _{mp}	V	28.1	27.9	27.6	27.2	26.6	26.6	26.6
Current at P _{max}	I _{mp}	A	6.70	6.63	6.56	6.54	6.56	6.42	6.29
Open-circuit voltage	V _{oc}	V	35.9	35.7	35.4	34.5	34.2	33.8	33.8
Short-circuit current	I _{sc}	A	7.27	7.19	7.12	6.99	7.01	6.92	6.81

NOCT: open-circuit module operation temperature of 800W/m² irradiance, 20°C ambient temperature, 1m/s wind speed.

THERMAL CHARACTERISTICS

Nominal operating cell temperature	NOCT	°C	46 +/- 2
Temperature coefficient of P _{max}	γ	%/°C	-0.45
Temperature coefficient of V _{oc}	β _{oc}	%/°C	-0.33
Temperature coefficient of I _{sc}	α _{sc}	%/°C	0.06
Temperature coefficient of V _{mp}	β _{mp}	%/°C	-0.45

OPERATING CONDITIONS

Max. system voltage	1000V _{DC}
Max. series fuse rating	15A
Limiting reverse current	15A
Operating temperature range	-40°C to 85°C
Max. static load, front (e.g., snow and wind)	5400Pa
Max. static load, back (e.g., wind)	2400Pa
Max. hailstone impact (diameter / velocity)	25mm / 23m/s

CONSTRUCTION MATERIALS

Front cover (material / thickness)	low-iron tempered glass / 3.2mm
Cell (quantity / material / dimensions / number of busbars)	60 / multicrystalline silicon / 156mm x 156mm / 2 or 3
Encapsulant (material)	ethylene vinyl acetate (EVA)
Frame (material / color / anodization color / edge sealing)	anodized aluminum alloy / silver / clear / silicone or tape
Junction box (protection degree)	≥ IP65
Cable (length / cross-sectional area)	1100mm / 4mm ²
Plug connector (type / protection degree)	MC4 / IP67 or YToB-1 / IP67 or Amphenol H4 / IP68

- Due to continuous innovation, research and product improvement, the specifications in this product information sheet are subject to change without prior notice. The specifications may deviate slightly and are not guaranteed.
- The data do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison to different module types.

Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.

service@yinglisolar.com

Tel: 0086-312-8929802

YINGLISOLAR.COM

© Yingli Green Energy Holding Co. Ltd. | DS_YGE60Cell-29b_40mm_EU_EN_201211_v02.20

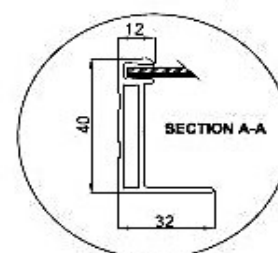
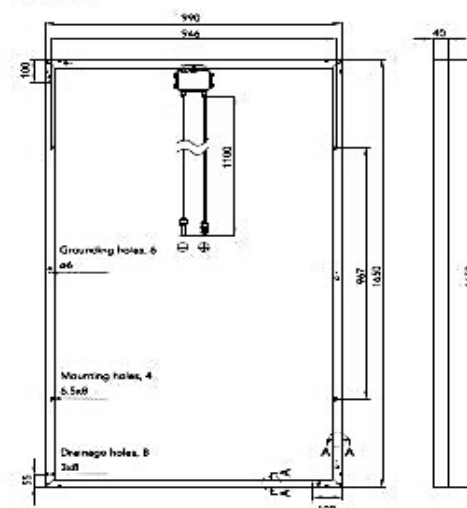
GENERAL CHARACTERISTICS

Dimensions (L / W / H)	1650mm / 990mm / 40mm
Weight	19.1kg

PACKAGING SPECIFICATIONS

Number of modules per pallet	26
Number of pallets per 40' container	28
Packaging box dimensions (L / W / H)	1700mm / 1150mm / 1190mm
Box weight	534kg

Unit: mm



Warning: Read the Installation and User manual in its entirety before handling, installing, and operating Yingli Solar modules.

Our Partners: