



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro

---

Escola Politécnica

VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA EM UMA RESIDÊNCIA POR UM SISTEMA  
COMPOSTO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE

Luciana Maria Paulo de Siqueira

Projeto de Graduação apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Escola  
Politécnica, Universidade Federal do Rio  
de Janeiro, como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do título de  
Engenheiro.

Orientador: Luís Otávio Cocito de Araújo

Rio de Janeiro  
Agosto, 2013

VIABILIDADE DA MICROGERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA EM UMA RESIDÊNCIA POR UM SISTEMA  
COMPOSTO POR PAINÉIS FOTOVOLTAICOS  
CONECTADOS À REDE

Luciana Maria Paulo de Siqueira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE  
DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA ESCOLA POLITÉCNICA  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE ENGENHEIRO CIVIL.

Examinada por:

---

Luís Otávio Cocito de Araújo  
Profo. Adjunto, D. Sc., POLI/UFRJ (orientador)

---

Elaine Garrido Vazquez  
Profa Adjunta, D. Sc., POLI/UFRJ

---

Ana Catarina Jorge Evangelista  
Profa Associada, D. Sc., POLI/UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL  
AGOSTO de 2013

Siqueira, Luciana Maria Paulo de

Viabilidade da microgeração de energia elétrica em residências por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede / Luciana Maria Paulo de Siqueira – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013

XI, 60p.: il.; 29,7 cm.

Orientação: Luis Otávio Cocito de Araújo

Projeto de graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Civil, 2013.

Referências bibliográficas: p. 57-60

1.Introdução. 2.Desafios da eficiência energética na construção civil. 3.Energia solar fotovoltaica e seus sistemas. 4.Viabilidade de sistemas de geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos. 5.Estudo de caso: instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica em uma residência unifamiliar. 6. Considerações Finais.

I. Araújo, Luis Otávio Cocito de. II.Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Viabilidade da microgeração de energia elétrica em residências por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede.

*Dedico este trabalho aos meus pais, João Luiz e Maria José e a minha irmã, Fabiana, que sempre me incentivaram e mostraram o valor da união e da responsabilidade; a todos meus familiares, principalmente meus avós, por acreditarem tanto em mim; aos meus amigos pela parceria e ao meu amado, Marcelo, que deixou minha caminhada mais leve.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus, que me guiou nessa longa caminhada e aos meus pais que sempre me apoiaram incondicionalmente e deram toda a base para minha educação e caráter, além de investir na minha formação, o que me possibilitou o ingresso na faculdade e a conclusão dela.

Agradeço minha irmã, tão querida e amada, que esteve e pra sempre estará ao meu lado e meus familiares que estão sempre torcendo por mim e que com certeza estão muito orgulhosos nesse momento, principalmente meus avós.

Não poderia deixar de citar meus amigos, família escolhida por mim ao longo de todos esses anos, em especial aos da época do colégio, que me acompanham em muitos momentos especiais. Aos meus amigos da faculdade agradeço o companheirismo e a parceria, sem os quais seria mais difícil avançar.

Por fim agradeço a Santa Rita, que me deu força nos últimos momentos dessa caminhada, ao meu namorado, Marcelo, que trouxe mais alegria e leveza para minha vida e ao professor Luis Otávio, que me orientou com dedicação e empenho.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Viabilidade de painéis fotovoltaicos para residências.

Luciana Maria Paulo de Siqueira

Agosto/2013

Orientador: Luis Otávio Cocito de Araújo

Curso: Engenharia Civil

A questão da sustentabilidade na construção civil tem sido cada vez mais abordada. O desenvolvimento sustentável deve atender as necessidades do homem sem esgotar os recursos naturais, incorporando aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Sendo assim, será feita a análise de viabilidade da implantação de um sistema com painéis fotovoltaicos para microgeração de energia elétrica em residências, considerando a Resolução normativa nº 482/2012 da Aneel, levando em conta todos esses aspectos. Em países tropicais como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território. Devido aos altos preços para aquisição do sistema no país, motivado principalmente por falta de incentivos políticos, subsídios, ele ainda não é muito utilizado, mas com a Resolução 482/2012 da Aneel e provável aumento de fabricação de painéis fotovoltaicos no Brasil, esse cenário tende a ser revertido.

*Palavras-chave:* Painéis fotovoltaicos; Viabilidade; Energia solar.

Abstract of Monograph presente to POLI/UFRJ as a parcial fulfillment of the requirements for degree of Specialist.

Feasibility of photovoltaic panels for residences.

Luciana Maria Paulo de Siqueira

August/2013

Advisor: Luis Otávio Cocito de Araújo

Course: Civil Engineering

The issue of sustainability in civil construction has been approached increasingly. The sustainable development must attend the needs of man without exhaust the natural resources, incorporating socials, economics and ecologicals aspects. Thus, will be done a feasibility analysis of implementing a system with photovoltaic panels for microgeneration of electrical energy in residences, considering the 482/2012 Resolution of Aneel, taking into account all these aspects. In tropical countries like such as Brazil, the use of solar energy is feasible in virtually all territory. Due to high prices to acquisition of the system in the country, mainly motivated by scarcity of political incentives, subsidies, it still is not used, but with the 482/2012 Resolution of Aneel and the probable expansion of manufacture of photovoltaic panels in Brazil, this scenario tends to be reversed.

*Keywords:* Photovoltaic panels; Feasibility; Solar energy.

## Sumário

1. Introdução.....	1
1.1 Contextualização.....	1
1.2 Justificativa .....	4
1.3 Objetivo .....	6
1.4 Metodologia.....	6
1.5 Estruturação da dissertação.....	7
2. Desafios da eficiência energética na construção civil.....	9
2.1 Associação de fatores para aumento do desempenho em uma edificação.....	9
2.2 Certificações e etiquetagem .....	12
2.2.1 Procel Edifica .....	13
2.2.2 Selo Casa Azul CAIXA.....	17
2.2.3 LEED.....	18
3. Energia solar fotovoltaica e seus sistemas .....	21
3.1 Energia solar térmica e fotovoltaica .....	21
3.2 Sistemas de energia solar fotovoltaica.....	22
3.3 Sistema Grid-tie .....	23
3.3.1 Elementos do sistema .....	23
3.3.2 Composição dos painéis fotovoltaicos .....	24
3.3.3 Matéria-prima das células fotovoltaicas.....	24
3.3.4 Dimensionamento do sistema.....	28
4. Viabilidade de sistemas de geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos .....	31
4.1 Comparação orçamentária entre países.....	31
4.2 Tendência dos preços.....	34
4.3 Composição orçamentária do sistema.....	37
4.4 Resolução normativa nº 482/2012 – Aneel.....	37
4.5 Manutenção, vida útil, prazo de garantia.....	39



5. Estudo de caso: instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica em uma residência unifamiliar .....	40
5.1 Introdução .....	40
5.2 Dados para realização do projeto de instalação de painéis fotovoltaicos .....	41
5.3 Localização .....	42
5.4 Cálculo da potência do sistema.....	44
5.5 Projeto e regularização junto à concessionária (Ampla).....	48
5.5.1 Procedimento de acesso.....	49
5.6 Materiais e equipamentos .....	50
5.7 Instalação do sistema .....	51
5.8 Orçamento.....	51
5.9 Tempo de retorno de investimento .....	52
6. Considerações finais.....	55
Referências Bibliográficas.....	57

## Lista de figuras

Figura 1 – Interação entre os aspectos social, econômico e ecológico.....	1
Figura 2 – Disco de Egan para comunidades sustentáveis.....	2
Figura 3 – Participação de renováveis na matriz elétrica.....	3
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira (2012).....	4
Figura 5 – Casa Eficiente.....	12
Figura 6 – Selos para as unidades habitacionais autônomas nas zonas bioclimáticas 1 a 4 e 5 a 8.....	15
Figura 7 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	15
Figura 8 - Selos para edificação multifamiliar e para áreas de uso comum de edificações com áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual.....	16
Figura 9 - Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze.....	17
Figura 10 – Registros e certificações LEED.....	18
Figura 11 – Certificações LEED de acordo com a pontuação.....	20
Figura 12 – Sistema isolado (Off-grid).....	22
Figura 13 – Sistema conectado à rede (Grid-tie).....	23
Figura 14 – Painéis fotovoltaicos.....	24
Figura 15 – Célula de silício monocristalino.....	25
Figura 16 – Célula de silício policristalino.....	26
Figura 17 – Painél de silício amorfo hidrogenado.....	27
Figura 18 – Ranking dos países que mais investiram e produziram painéis solares fotovoltaicos em 2012.....	32
Figura 19 – Custo médio por país de painéis fotovoltaicos até sua instalação.....	33
Figura 20 – Custo de painéis fotovoltaicos para residências, até sua instalação, de acordo com a potência .....	34
Figura 21 – Vendas mundiais de módulos fotovoltaicos incluindo todas as tecnologias e todos os fabricantes.....	35
Figura 22 – Preço dos módulos fotovoltaicos desde 1975.....	36

Figura 23 – Projeção de custos futuros de painéis fotovoltaicos.....	36
Figura 24 – Localização do terreno.....	42
Figura 25 – Localização mais aproximada do terreno.....	43
Figura 26 – Primeiro passo da simulação solar (localização).....	44
Figura 27 – Segundo passo da simulação solar (consumo elétrico).....	45
Figura 28 – Terceiro passo da simulação solar (histórico de consumo.....	45
Figura 29 – Etapas de acesso de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição da Ampla.....	49

#### Lista de tabelas

Tabela 1 – Exigências equivalentes do usuário.....	10
Tabela 2 – Inclinação ideal dos painéis nas capitais brasileiras.....	29
Tabela 3 – Resultado da simulação 1.....	47
Tabela 4 – Cálculo de valor futuro com aporte mensal de R\$ 810,00 e rendimento de 6% ao ano por 25 anos .....	53
Tabela 5 – Resultado da simulação 2.....	54

# 1. Introdução

## 1.1 Contextualização

Nos últimos anos a questão da sustentabilidade na construção civil tem sido muito abordada. Para debatê-la é importante ter em mente que essa sustentabilidade não se dá apenas pela preservação dos recursos naturais. Ela depende das ações do dia a dia, do consumo, da produção.

O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento global que atende as necessidades do homem sem esgotar os recursos naturais, incorporando aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Se não forem considerados todos esses aspectos pode ser suportável, equitativo e viável, mas não sustentável. A Figura 1 abaixo mostra essa interação.



Figura 1 – Interação entre os aspectos social, econômico e ecológico – Fonte: Blog “Pela Sustentabilidade”, 2012

Segundo Egan, 2004, há oito fatores que caracterizam as comunidades mais sustentáveis: governança; conectividade; disponibilidade de serviços; responsabilidade

ambiental; justiça/igualdade; prosperidade; projeto e construção; vivacidade, inclusão e segurança. A Figura 2 abaixo é um disco apresentando esses oito componentes vitais.



Figura 2 – Disco de Egan para comunidades sustentáveis –

Fonte: Modificado de Egan, 2004

Em paralelo com a discussão sobre sustentabilidade na construção civil está a discussão sobre desempenho nas edificações, já que a sustentabilidade é um dos requisitos para um bom desempenho. A procura das construtoras nesse sentido é crescente, apesar de ainda tímida.

Há diversas maneiras de aumentar a eficiência das edificações, entre elas pode-se citar a utilização da arquitetura bioclimática (iluminação e ventilação natural, uso racional de água e aproveitamento de água pluvial, tratamento de efluentes por zona de raízes, reaproveitamento da água tratada para irrigação, etc), dispositivos economizadores de energia, geração própria de energia elétrica através da geração solar e através da geração eólica, entre outros.

Falando mais especificamente de um desses recursos, o da eficiência energética, há diversas maneiras de alcançá-la. Utilizar dispositivos economizadores, elevadores eficientes, fontes alternativas de energia como a solar e a eólica para aquecimento da água e geração de energia elétrica são as maneiras mais conhecidas para tal.

A energia solar, por exemplo, é muito pouco difundida no Brasil, mesmo a matriz elétrica brasileira tendo grande participação de fontes renováveis. Aqui ainda há pouco incentivo, mas de maneira tímida esse quadro está sendo revertido. Ao longo dos capítulos também será abordada a resolução da Aneel no 482/2012 que é uma maneira de incentivar a utilização dos painéis fotovoltaicos.

A Figura 3 que segue apresenta a participação de fontes renováveis no Brasil (2012) e no mundo (2010), mostrando que no Brasil o percentual é aproximadamente quatro vezes maior. Já a Figura 4 apresenta a matriz elétrica brasileira. Pode-se observar que a energia solar nem aparece no gráfico devido a sua baixa participação na matriz.

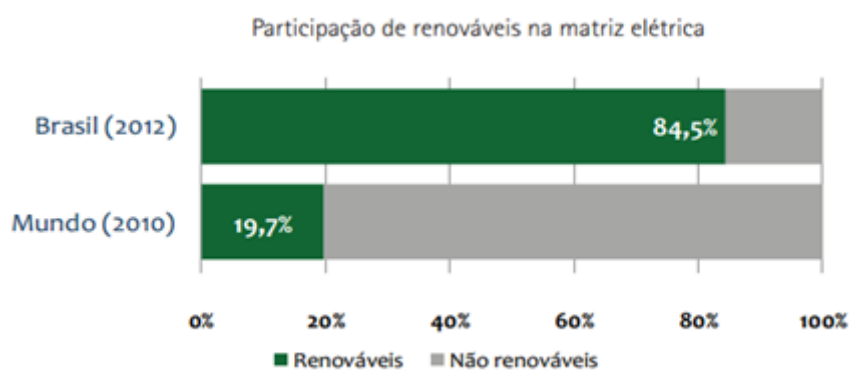


Figura 3 – Participação de renováveis na matriz elétrica – Fonte: EPE, 2013

## Matriz Elétrica Brasileira Brasil (2012)

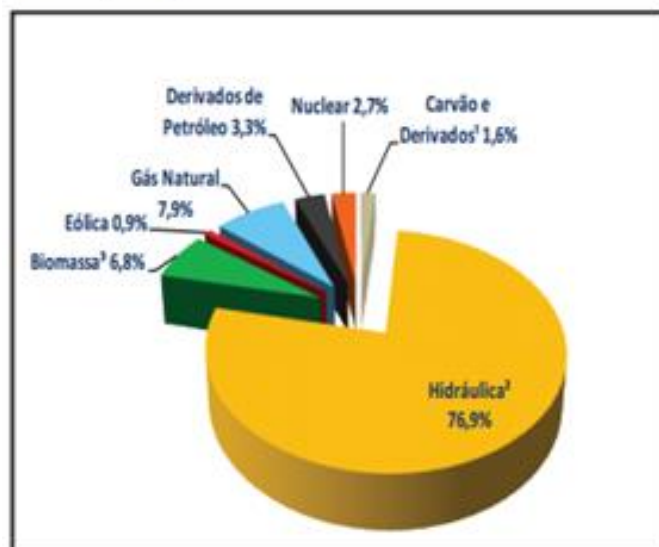


Figura 4 – Matriz elétrica brasileira (2012) – Fonte: EPE, 2013

### 1.2 Justificativa

No Brasil, existem poucos sistemas com painéis fotovoltaicos instalados conectados à rede, mesmo havendo um grande potencial energético. A queda nos preços dos painéis fotovoltaicos e a recente resolução da Aneel nº 482, aprovada em abril de 2012 e que entrou em vigor em dezembro de 2012, acelerou a procura e impulsionou ainda mais a adoção dessa tecnologia [Téchne, 2012].

Paralelamente ao sistema de compensação de energia, a ANEEL aprovou novas regras para descontos na Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição – TUSD e na Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão – TUST para usinas maiores (de até 30 MW) que utilizarem fonte solar.

Tudo isso representa um avanço inicial, mas ainda não é suficiente. É necessário mais incentivos políticos.

Optou-se pela energia solar porque ela é uma fonte limpa que traz vantagens ao meio ambiente, ao consumidor, que pode reduzir ou até zerar sua conta de luz, e

também a toda a rede de eletricidade, uma vez que a geração e o consumo no mesmo ponto aumentam a eficiência e reduzem a necessidade de infraestrutura para transmissão e distribuição de energia.

Há muitas vantagens em utilizar a energia solar para geração de energia elétrica.

Seguem algumas vantagens das fontes renováveis:

- ✓ Redução de perdas por transmissão e distribuição de energia, já que a eletricidade é consumida onde é produzida;
- ✓ Redução de investimentos em linhas de transmissão e distribuição;
- ✓ É uma fonte inesgotável
- ✓ O impacto ambiental gerado é menor do que o provocado pelas fontes de energia como carvão, petróleo e gás, já que não produzem dióxido de carbono ou outros gases com “efeito de estufa”;
- ✓ Reduzem a dependência energética da sociedade face aos combustíveis fósseis, gerando autonomia energética a um país, visto que a sua utilização não depende da importação de combustíveis fósseis;
- ✓ Permitem reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, melhorando a qualidade de vida (ar mais limpo);
- ✓ Não polui durante seu uso;
- ✓ O sistema necessita de manutenção mínima;
- ✓ Os painéis fotovoltaicos são cada dia mais potentes ao mesmo tempo que seu custo decai (isso torna cada vez mais a energia solar uma solução economicamente viável);
- ✓ É excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga a enormes investimentos em linhas de transmissão;
- ✓ Em países tropicais, como o Brasil, a utilização da energia solar é viável em praticamente todo o território, e, em locais longe dos centros de produção



energética sua utilização ajuda a diminuir a procura energética nestes (e consequentemente a perda de energia que ocorreria na transmissão).

Além das vantagens conceituais deve-se levar em conta a satisfação do consumidor em gerar sua própria energia.

### 1.3 Objetivo

O objetivo principal desse trabalho é analisar a viabilidade da implantação de um sistema com painéis fotovoltaicos para microgeração de energia elétrica em residências, considerando a Resolução normativa nº 482/2012 da Aneel. Serão abordados aspectos sociais, econômicos,

### 1.4 Metodologia

Para o cumprimento do objetivo desejado, inicialmente o autor realizará pesquisa bibliográfica relacionada ao panorama de energia elétrica no Brasil, que dará base para justificar a presente dissertação.

Cumprida esta etapa será feita uma contextualização do sistema em questão com a sua utilização na construção civil, abordando o seu desempenho nas edificações, assim como as etiquetagens e certificações.

Em seguida, a pesquisa será em cima de alguns conceitos importantes, como “energia solar” e “sistemas de energia solar fotovoltaica”, assim como a composição desses painéis, o que gerará um conhecimento mais abrangente do que será dissertado.

A etapa seguinte, com todo o embasamento gerado nas etapas anteriores, será abordar a análise financeira para aquisição dos painéis fotovoltaicos e todo sistema que

o envolve. Seguindo, haverá um estudo de caso e para finalizar serão feitas algumas considerações finais.

## 1.5 Estruturação da dissertação

### 1º capítulo: Introdução

Nesse capítulo há uma abordagem geral do tema proposto. Será feita uma contextualização e em seguida serão apresentados a justificativa e o objetivo proposto da dissertação, descrevendo a metodologia utilizada e a estrutura do projeto em capítulos.

### 2º capítulo: Desafios da eficiência energética na construção civil

Esse capítulo abordará como a associação de recursos pode melhorar o desempenho em uma edificação. Será também dissertado sobre etiquetagem e certificações.

### 3º capítulo: Energia solar fotovoltaica e seus sistemas

Esse capítulo tem como objetivo abordar conceitos como energia solar térmica e fotovoltaica, assim como os sistemas de energia solar fotovoltaica. Posteriormente será feita uma análise geral do sistema Grid-tie (conectado à rede).

### 4º capítulo: Viabilidade de painéis fotovoltaicos

Nesse capítulo inicialmente será feita uma comparação de orçamento levando em conta outros países, além da tendência dos preços no Brasil. Haverá uma análise da composição orçamentária do sistema. Será abordada a resolução normativa nº 482/2012 da Aneel. Em seguida será feita uma estimativa do tempo de manutenção, vida útil, assim como os prazos de garantia dos painéis fotovoltaicos.

5º capítulo: Estudo de caso: instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica em uma residência unifamiliar

Nesse capítulo será estudado um caso: a instalação de painéis fotovoltaicos em uma residência unifamiliar com o objetivo principal de gerar energia elétrica para uma outra residência de mesmo proprietário.

6º capítulo: Considerações finais

Nesse capítulo serão expostas considerações finais, assim como conclusões a que se chegaram ao longo da dissertação.

## 2. Desafios da eficiência energética na construção civil

### 2.1 Associação de fatores para aumento do desempenho em uma edificação

A definição de desempenho de uma edificação está associada ao comportamento dela quando em utilização. O edifício é um produto que deve apresentar determinadas características que o capacitem a cumprir objetivos e funções para os quais foi projetado, quando submetido a determinadas condições de exposição e uso; assim, ele é considerado "bem comportado" quando atende aos requisitos para o qual foi projetado [Borges, 2013].

Em 1982, Gibson, definiu tal conceito como se segue: "A abordagem de desempenho é, primeiramente e acima de tudo, a prática de se pensar em termos de fins e não de meios. A preocupação é com os requisitos que a construção deve atender e não com a prescrição de como essa deve ser construída".

Esse conceito evidencia os diferentes caminhos adotados pelas abordagens prescritiva e de desempenho. No caso da abordagem prescritiva, o desempenho final obtido da edificação é a interação dos desempenhos implícitos nas soluções usadas para cada parte da construção. As normas técnicas vigentes no Brasil, por exemplo, são prescritivas, definindo "receitas de bolo" de como projetar ou executar, sem cobrança de resultados. Já na abordagem de desempenho, parte-se do desempenho global desejado para a escolha e definição das soluções de todas as partes, que devem ter um desempenho compatível com o desejado.

Seguindo esse caminho, abordando o desempenho, foi criada uma lista de exigências do usuário a serem consideradas. A divisão se dá por 3 grupos: segurança, habitabilidade e sustentabilidade, como pode ser visto na Tabela 1 que segue.

Tabela 1 – Exigências equivalentes do usuário - Fonte: ABNT 2008 e ISO 1979

<b>Classe</b>	<b>Exigência ABNT</b>	<b>Exigência ISO</b>
Segurança	Segurança estrutural	Segurança estrutural
	Segurança contra o fogo	Segurança ao fogo
	Segurança no uso e na operação	Segurança ao uso
Habitabilidade	Estanqueidade	Estanqueidade
	Conforto térmico	Conforto higrotérmico
	Conforto acústico	Conforto acústico
	Conforto lumínico	Conforto visual
	Saúde, higiene e qualidade do ar	São 2 exigências: Higiene; Atmosféricas
	Funcionalidade e acessibilidade	Adaptação à utilização
	Conforto tátil e antropodinâmico	São 2 exigências: Conforto tátil; Conforto antropodinâmico
Sustentabilidade	Durabilidade	Durabilidade
	Manutenibilidade	Economia
	Impacto ambiental	Não há exigência específica

A utilização de painéis fotovoltaicos para gerar energia elétrica é uma das formas de aumentar o desempenho em uma edificação e está focado na questão da sustentabilidade. Assim como a utilização desse recurso, também há diversos outros que aumentam a eficiência. O ideal é que haja uma associação de fatores envolvendo a lista acima.

Um projeto que foi desenvolvido pela ELETROSUL e ELETROBRÁS, em parceria com a UFSC chamado “Casa Eficiente” trata dessa associação de fatores para aumentar o desempenho de uma edificação unifamiliar em vários níveis. Ela foi construída para otimização da relação entre o conforto e a eficiência energética com a sustentabilidade, aumentando a eficiência da edificação como um todo.

O objetivo da Casa Eficiente, localizada em Florianópolis é tornar-se uma referência nacional para a disseminação dos conceitos de eficiência energética,

adequação climática e uso racional da água para os profissionais que atuam no mercado da construção civil e principalmente do setor elétrico.

O projeto arquitetônico foi desenvolvido para as condições climáticas da região. Na concepção da edificação, buscou-se o equilíbrio entre a tecnologia e o aproveitamento de fontes naturais de energia, a partir da utilização de procedimentos adequados do ponto de vista da eficiência energética e da conservação ambiental: escolha criteriosa dos materiais construtivos; técnicas de aproveitamento dos condicionantes naturais; busca pela racionalização e eficiência energética; uso racional de água (aproveitamento de água pluvial, tratamento de efluentes por zona de raízes e reaproveitamento de águas cinza tratadas).

Abaixo estão descritos os principais condicionantes desse projeto, assim como a imagem da casa (Figura 5) [Casa Eficiente, 2013]:

- Melhor aproveitamento das condições climáticas locais (radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar e ventos predominantes) para definição das soluções de projeto;
- Emprego de sistemas alternativos de resfriamento e aquecimento ambiental;
- Prioridade no uso de materiais locais (renováveis ou de menor impacto ambiental);
- Projeto paisagístico privilegiando o uso de espécies nativas da Mata Atlântica em vias de extinção e o uso de espécies frutíferas. Aproveitamento da vegetação para criação de um microclima local agradável;
- Uso racional de água. Instalações hidráulicas utilizando peças e linhas econômicas;
- Uso de equipamentos que promovem um baixo consumo de água (ou equipamentos economizadores de água), aproveitamento de água pluvial, tratamento de efluentes por zona de raízes e aproveitamento dos efluentes de

águas cinza (de banho, tanque, máquina de lavar roupa e lavatório) após tratamento biológico;

- Integração do partido arquitetônico com sistemas complementares, tais como aquecimento solar e geração de energia fotovoltaica;
- Acessibilidade a todos os ambientes, facilitando a visita pública.

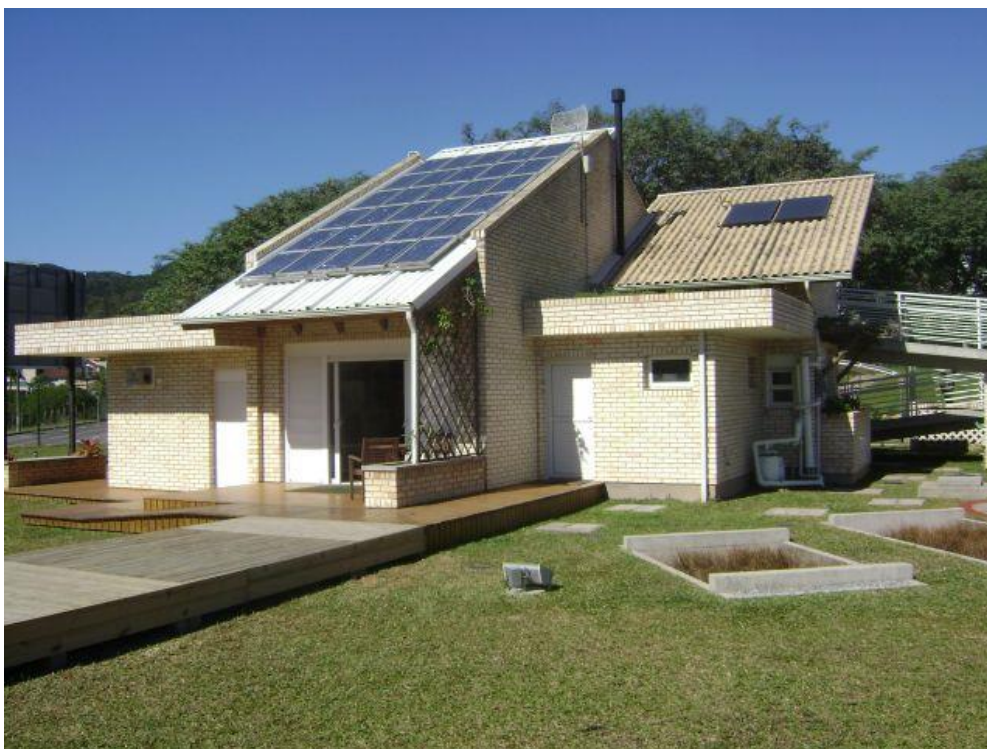


Figura 5 – Casa Eficiente – Fonte: Casa Eficiente, 2013

Pode-se observar, a partir dos condicionantes, que esse projeto utilizou diversos recursos para aumentar a eficiência da edificação e isso que é o ideal. Essa associação é muito eficaz para aumento do desempenho dela. Na questão do aproveitamento da radiação solar foram utilizados painéis fotovoltaicos para geração de energia, que é a abordagem principal desse trabalho.

## 2.2 Certificações e etiquetagem

Como uma maneira de reconhecer os empreendimentos que adotam soluções mais eficientes aplicadas à edificação foram criadas certificações e etiquetagens para

classificá-los, cada um baseado em requisitos diferentes. Elas provovem informações úteis que influenciam a decisão de compra dos consumidores, que podem levar em consideração outros atributos, além de preço, no momento de aquisição. Também estimula a competitividade da indústria, através da indução do processo de melhoria continua promovida pela escolha consciente dos consumidores.

Serão abordados nesse tópico três delas para conhecimento dessa questão, duas a nível nacional e uma a nível internacional. São elas: “Procel Edifica”, “Selo Casa Azul CAIXA” (nacionais) e “Certificado LEED”.

### 2.2.1 Procel Edifica

O Procel Edifica tem por objetivo desenvolver atividades com vistas à divulgação e ao estímulo à aplicação dos conceitos de eficiência energética em edificações, apoiar a viabilização da Lei de Eficiência Energética (10.295/2001) e contribuir com a expansão, de forma energeticamente eficiente, do setor de edificações do país, reduzindo os custos operacionais na construção e utilização dos imóveis. Para conduzir suas atividades, o Procel Edifica atua em seis diferentes vertentes: “Capacitação Humana”, “Tecnologias”, “Disseminação”, “Subsídios à Regulamentação”, “Habitação e Eficiência Energética” e “Suporte” [Resultados Procel, 2013].






O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) ainda precisa superar alguns desafios operacionais para que tenha significativa adesão em todo o país. Esses desafios estão relacionados à falta de profissionais capacitados para atuar tanto nos serviços público como no privado; à falta de infraestrutura de laboratórios para avaliar as edificações; à ausência de suporte técnico para atender aos profissionais em todo o país; à desinformação do mercado consumidor em relação à Ence (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia de Edificações Residenciais) das edificações.



A experiência da Ence dos eletrodomésticos mostrou que os consumidores brasileiros passaram a escolher os produtos observando também seu desempenho e, conseqüentemente, o custo de operação. Acredita-se que o mesmo poderá ocorrer com as residências, à medida que essa etiqueta se tornar conhecida pelo público em geral.

Para obter as ENCE's é necessário:

Passo a passo:

-  Apresentar projetos, especificações e planilhas preenchidas a um laboratório acreditado pelo Inmetro (qualquer projetista ou construtora poderá fazê-lo, diretamente, ou por seus consultores);
-  Laboratório checa preenchimento de planilhas, avalia projeto e efetua cálculos, para emitir a primeira etiqueta, específica para o projeto;
-  Junto da primeira etiqueta podem ser apontadas possíveis melhorias para a execução da obra;
-  Recebido o Habite-se, uma equipe do laboratório é chamada pelos empreendedores, para inspeção;
-  Após a verificação de instalações e especificações do projeto, a primeira etiqueta é confirmada, ou, se o projeto não foi cumprido à risca, emite-se uma segunda etiqueta - para categoria inferior ou superior de eficiência, dependendo do caso.

As etiquetas avaliam a eficiência separadamente, sendo que “A” é a classificação de mais eficiente e “E” a classificação de menos eficiente. Elas podem ser para Unidade Habitacional Autônoma e Edificação Multifamiliar.

Na etiqueta para Unidade Habitacional Autônoma há uma análise geral da unidade e eficiências individuais. Nas eficiências individuais a separação se dá por: aquecimento de água, envoltória caso haja refrigeração artificial e envoltória de verão. Caso a unidade esteja localizada nas zonas bioclimáticas de 1 a 4 há, além da envoltória de verão, envoltória de inverno. Na Figura 6 estão os dois selos, o primeiro para as zonas 1 a 4 e o segundo para as zonas 5 a 8.

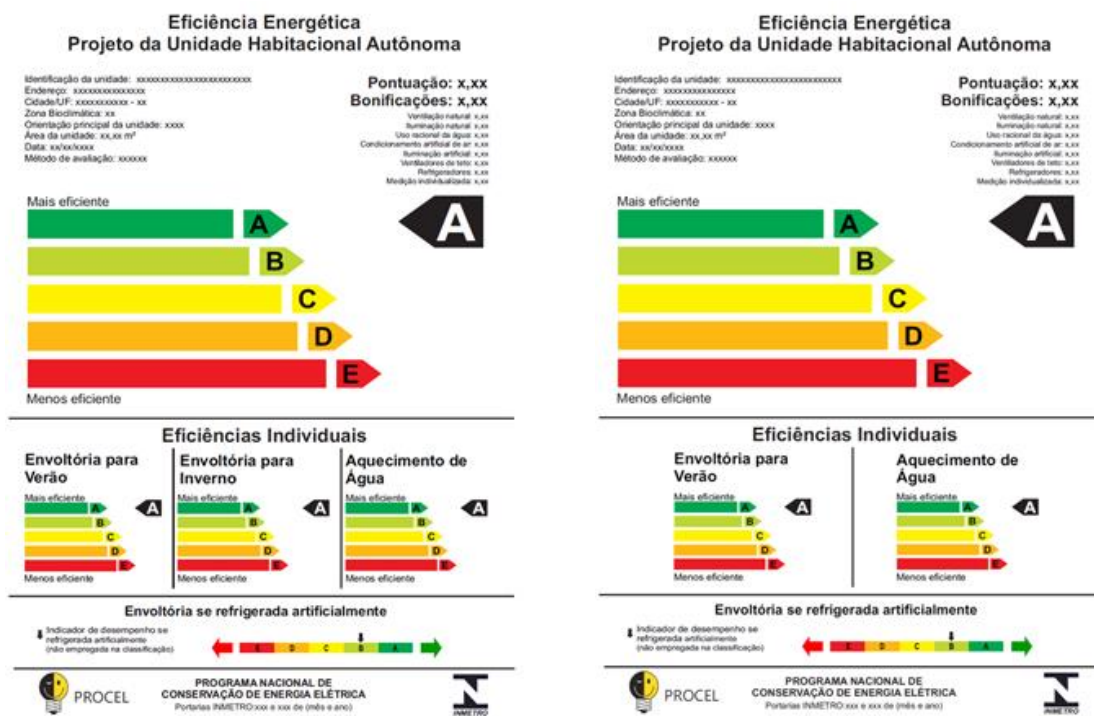


Figura 6 – Selos para as unidades habitacionais autônomas nas zonas bioclimáticas 1 a 4 e 5 a 8, respectivamente – Fonte: LabEEE, 2013

Na Figura 7 abaixo pode-se observar as oito zonas bioclimáticas no Brasil. Nota-se que a necessidade de envoltória para inverno ocorre nas regiões mais frias no Brasil.

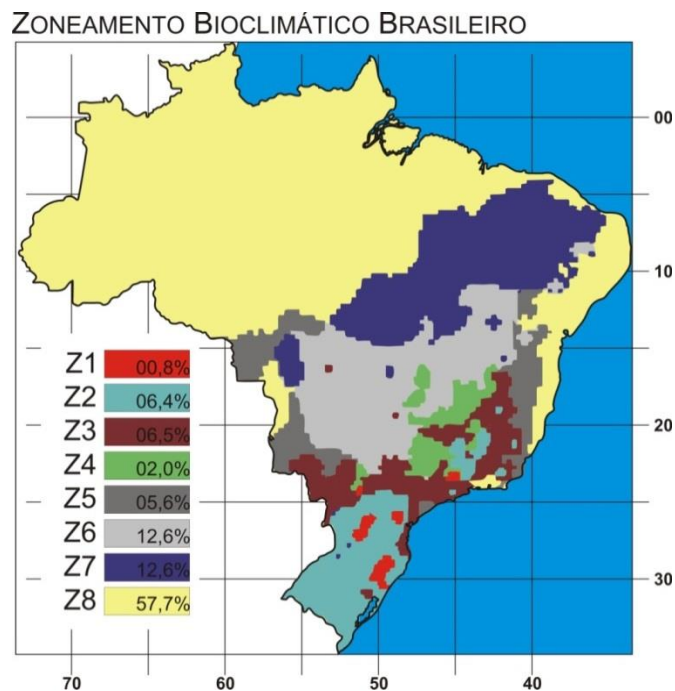


Figura 7 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro – Fonte: ABNT NBR 15220-3.

Na etiqueta para Edificação Multifamiliar há dois tipo de etiquetas: para a edificação como um todo e para as áreas de uso comum. Para área de uso comum há uma separação entre áreas de uso frequente e áreas de uso eventual. Faz-se uma análise de eficiência para o todo e depois para as partes. Em áreas de uso frequente a separação se dá por “iluminação”, “bombas” e “refrigeração” e em áreas de uso eventual se dá por “iluminação”, “equipamentos” e “aquecimento de água”. A Figura 8 mostra essas divisões.

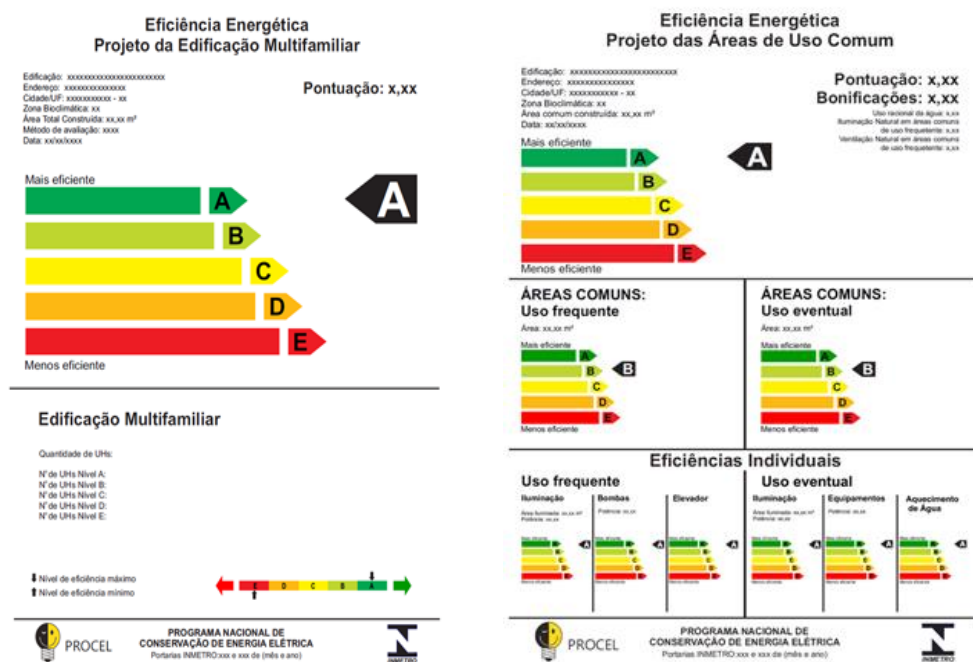


Figura 8 - Selos para edificação multifamiliar e para áreas de uso comum de edificações com áreas comuns de uso frequente e áreas comuns de uso eventual – Fonte: LabEEE, 2013

Através das análises dos selos “Procel Edifica” pode-se observar que eles levam em consideração a energia solar, mas não especificamente os painéis fotovoltaicos que geram energia elétrica. A “Casa Eficiente”, citada anteriormente nesse capítulo já possui esse selo. Apesar de não ser avaliado nos selos “Procel Edifica”, desde 2010 os módulos mais eficientes recebem o Selo Procel de Economia de Energia.

## 2.2.2 Selo Casa Azul CAIXA

Com o Selo Casa Azul CAIXA, busca-se reconhecer os projetos de empreendimentos que demonstrem suas contribuições para a redução de impactos ambientais, avaliados a partir de critérios vinculados aos seguintes temas: qualidade urbana, projeto e conforto, eficiência energética, conservação de recursos materiais, gestão da água e práticas sociais.

O Selo se aplica a todos os tipos de projetos de empreendimentos habitacionais propostos à CAIXA para financiamento ou nos programas de repasse. Podem se candidatar ao Selo as empresas construtoras, o Poder Público, empresas públicas de habitação, cooperativas, associações e entidades representantes de movimentos sociais.

O método utilizado pela CAIXA para a concessão do Selo consiste em verificar, durante a análise de viabilidade técnica do empreendimento, o atendimento aos critérios estabelecidos pelo instrumento, que estimula a adoção de práticas voltadas à sustentabilidade dos empreendimentos habitacionais [Guia Caixa, 2010].

Há três níveis de gradação (ver Figura 9):

- Bronze: 19 Critérios obrigatórios
- Prata: 19 Critérios obrigatórios mais 6 de escolha livre
- Ouro: 19 Critérios obrigatórios mais 12 escolha livre



Figura 9 - Logomarcas do Selo Casa Azul níveis Ouro, Prata e Bronze – Fonte: Guia Caixa, 2013

Ter painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica é um dos itens que contam pontuação. Ele se encaixa na categoria 3 – Eficiência Energética, mais especificamente no item 3.8 – Fontes alternativas de energia.. Além da energia solar fotovoltaica, esse item também considera a energia eólica.

### 2.2.3 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é um sistema internacional de certificação e orientação ambiental para edificações, utilizado em 143 países, e possui o intuito de incentivar a transformação dos projetos, obra e operação das edificações, sempre com foco na sustentabilidade de suas atuações [GBC Brasil, 2013].

A procura pelos registros e certificações LEED tem crescido a cada ano, como pode-se notas na Figura 10 abaixo.

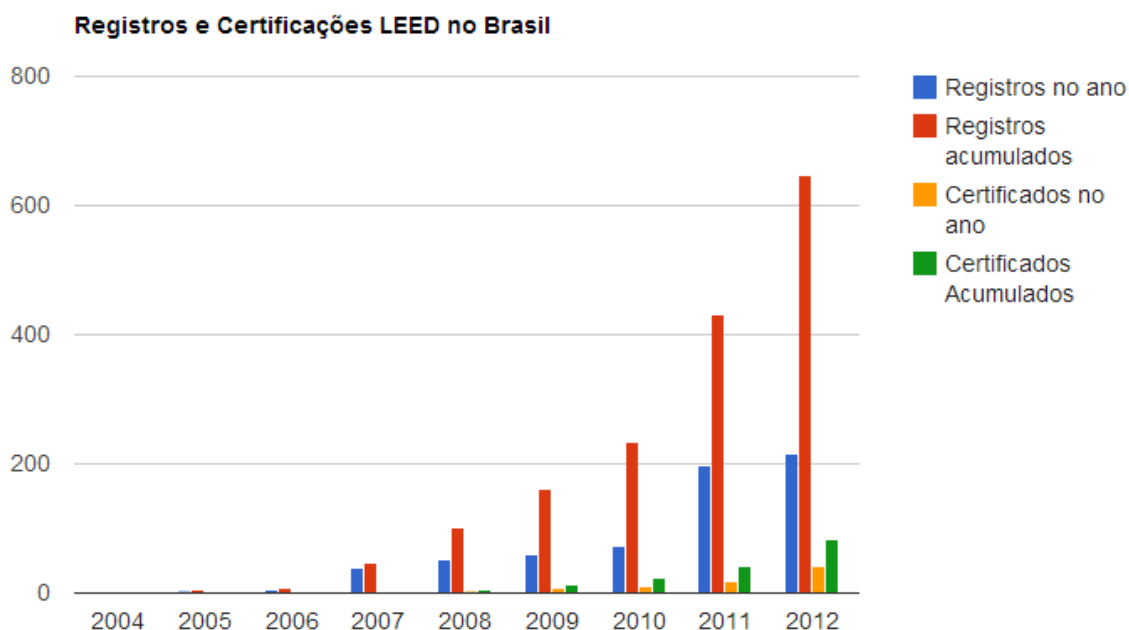


Figura 10 – Registros e certificações LEED – Fonte: GBC Brasil, 2013

Seus benefícios são:

➤ Econômicos

- Diminuição dos custos operacionais
- Diminuição dos riscos regulatórios
- Valorização do imóvel para revenda ou arrendamento
- Aumento na velocidade de ocupação
- Aumento da retenção
- Modernização e menor obsolescência da edificação

➤ Sociais

- Melhora na segurança e priorização da saúde dos trabalhadores e ocupantes
- Inclusão social e aumento do senso de comunidade
- Capacitação profissional
- Conscientização de trabalhadores e usuários
- Aumento da produtividade do funcionário; melhora na recuperação de pacientes (em Hospitais); melhora no desempenho de alunos (em Escolas); aumento no ímpeto de compra de consumidores (em Comércio).

- Incentivo a fornecedores com maiores responsabilidades socioambientais
- Aumento da satisfação e bem estar dos usuários
- Estímulo a políticas públicas de fomento a Construção Sustentável

➤ Ambientais

- Uso racional e redução da extração dos recursos naturais
- Redução do consumo de água e energia
- Implantação consciente e ordenada
- Mitigação dos efeitos das mudanças climáticas

- Uso de materiais e tecnologias de baixo impacto ambiental
- Redução, tratamento e reuso dos resíduos da construção e operação.

A Certificação internacional LEED possui 7 dimensões a serem avaliadas nas edificações. Todas elas possuem pré requisitos (práticas obrigatórias) e créditos, recomendações que quando atendidas garantem pontos a edificação.

A dimensão que aborda os painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica e conta na pontuação é “Energia e Atmosfera”. Segue sua descrição:

- Energy & atmosphere (Energia e Atmosfera) – Promove eficiência energética nas edificações por meio de estratégias simples e inovadoras, como por exemplo simulações energéticas, medições, comissionamento de sistemas e utilização de equipamentos e sistemas eficientes.

O nível da certificação é definido, conforme a quantidade de pontos adquiridos:

- Selo LEED: mais de 40 pontos;
- Selo LEED Silver: mais de 50 pontos;
- Selo LEED Gold: mais de 60;
- Selo LEED Platinum: mais de 80 pontos.

A Figura 11 abaixo mostra as certificações de acordo com a pontuação.



Figura 11 – Certificações LEED de acordo com a pontuação – Fonte: USGBC

### 3. Energia solar fotovoltaica e seus sistemas

#### 3.1 Energia solar térmica e fotovoltaica

A energia solar é abundante e pode ser utilizada de diversas maneiras. A forma mais simples de aproveitar essa energia é através de soluções de arquitetura que privilegiem a iluminação solar ou o controle natural da temperatura. Há também a possibilidade de se utilizar de sistemas de captação da energia solar para depois utilizá-la.

Ela chega à Terra nas formas térmica e luminosa. Sua irradiação por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Essa radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre. Depende da latitude, da estação do ano e de condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar.

- Energia solar térmica:

A energia é captada através de painéis solares térmicos, também chamados de coletores solares. São os sistemas mais simples, econômicos e conhecidos de aproveitar o sol, sendo utilizados em casas, hotéis e empresas para o aquecimento de água para chuveiros ou piscinas, aquecimentos de ambientes ou até em processos industriais. Os painéis são simples e têm a função de transferir o calor da radiação solar para a água ou óleo que passa por dentro deles para então ser utilizado como fonte de calor.

- Energia solar fotovoltaica

Os sistemas de energia solar fotovoltaica são capazes de gerar energia elétrica através das chamadas células fotovoltaicas. As células fotovoltaicas são montadas em



painéis solares fotovoltaicos e são capazes de transformar a radiação solar diretamente em energia elétrica através do chamado “efeito fotovoltaico”.

### 3.2 Sistemas de energia solar fotovoltaica

Um sistema de energia solar fotovoltaico é capaz de gerar energia elétrica através da radiação solar. Existem dois tipos básicos de sistemas fotovoltaicos: sistemas isolados (Off-grid), Figura 12 e sistemas conectados à rede (Grid-tie), Figura 13.

Os sistemas isolados são caracterizados por não se conectar a rede elétrica. São utilizados em locais remotos onde não há chegada de energia elétrica ou onde o custo de se conectar a rede elétrica é elevado. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia. A energia produzida é armazenada em baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol.

Já os sistemas conectados à rede são caracterizados por estarem integrados à rede elétrica que abastece a população. Os sistemas conectados têm uma grande vantagem com relação aos sistemas isolados por não utilizarem baterias e controladores de carga. Isso os torna cerca de 30% mais eficientes e também garante que toda a energia seja utilizada.

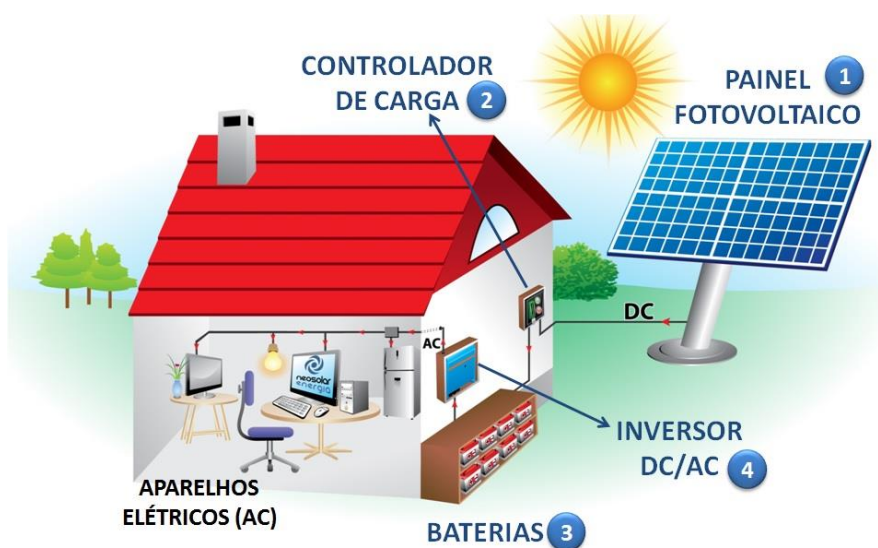


Figura 12 – Sistema isolado (Off-grid) – Fonte: Neosolar, 2013

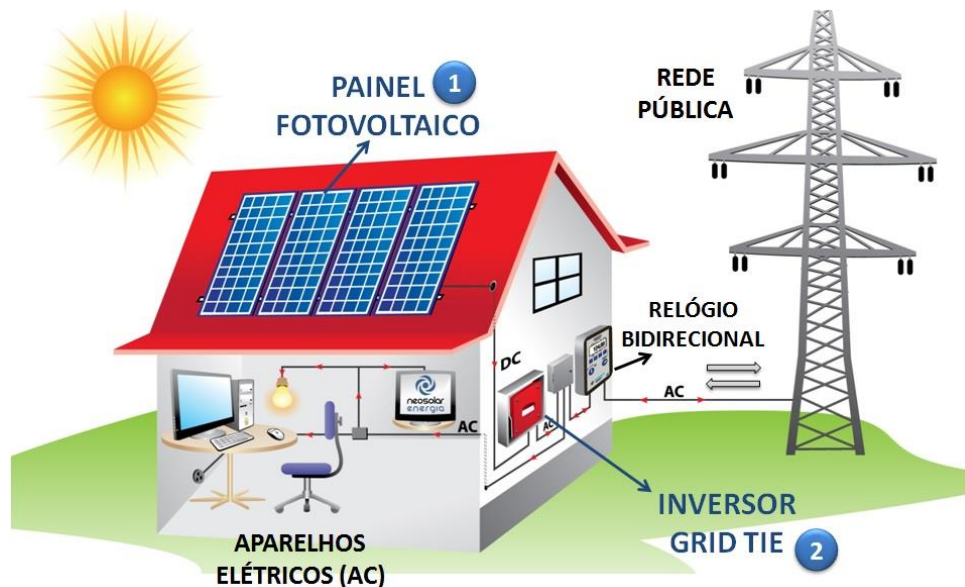


Figura 13 – Sistema conectado à rede (Grid-tie) – Fonte: Neosolar, 2013

### 3.3 Sistema Grid-tie

#### 3.3.1 Elementos do sistema

Como está se tratando de uma residência unifamiliar na cidade do Rio Janeiro, será adotado o sistema conectado à rede, Grid-tie, já que o local possui acesso à rede elétrica e pretende-se reduzir parcial ou totalmente o seu consumo.

Para esse sistema são necessários os seguintes equipamentos:

- Painéis fotovoltaicos;
- Inversores;
- Cabos, estruturas de fixação para os painéis e proteções elétricas

Os painéis fotovoltaicos fazem o papel de coração, “bombeando” a energia para o sistema. Podem ser um ou mais painéis e são dimensionados de acordo com a energia necessária. São responsáveis por transformar energia solar em eletricidade.

Os inversores transformam a corrente contínua em corrente alternada e ajustam a voltagem de acordo com a necessidade, além de sincronizar o sistema com a rede.

Esse sistema joga a energia excedente na rede e o relógio registra esse excedente como crédito que será compensado pelo consumo durante a noite, dias nublados ou até mesmo nos meses subsequentes. Para isso, a concessionária trocará o relógio por um relógio bidirecional. É como se a rede pública fosse sua “bateria”, recebendo a energia para o uso em outro momento, por isso não são necessárias baterias.

### 3.3.2 Composição dos painéis fotovoltaicos

A estrutura dos painéis fotovoltaicos é constituída basicamente de módulos com células fotovoltaicas, como pode ser visto na Figura 14 abaixo.

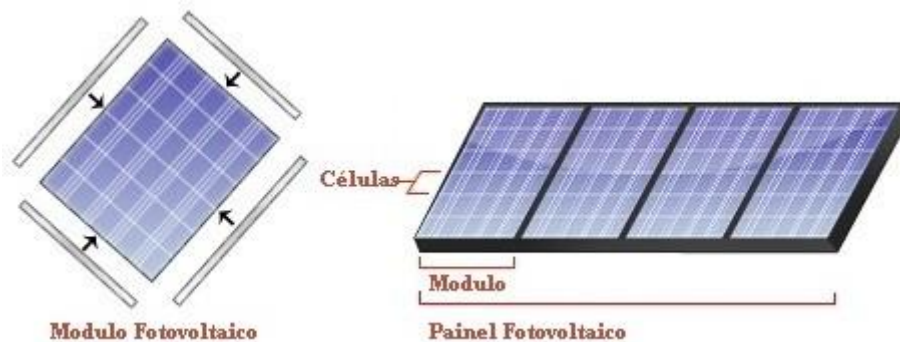


Figura 14 – Painéis fotovoltaicos - Fonte: Painél solar fotovoltaico, 2013

A célula fotovoltaica é a unidade básica desenvolvida para realizar a conversão direta de energia solar em elétrica. O módulo é a unidade formada por um conjunto de células solares, interligadas eletricamente com o objetivo de gerar eletricidade. Já os painéis são dois ou mais módulos fotovoltaicos interligados eletricamente, montados de modo a formar uma única estrutura [ Cartilha Educativa – Eletricidade Solar, 2013].

### 3.3.3 Matéria-prima das células fotovoltaicas

O silício ainda é a matéria-prima mais utilizada para a produção das células fotovoltaicas, porém outros elementos também podem ser empregados para a sua

produção. Os avanços nas pesquisas permitiram aos módulos ganhar mais flexibilidade, eficiência e durabilidade. As principais tecnologias que estão hoje disponíveis no mercado são (classificação de acordo com a matéria-prima com que as células são feitas) [ Tecnologias no mercado, America do Sol, 2013]:

#### 1. Silício Cristalino (c-Si):

Esta tecnologia é hoje a mais tradicional e com maior escala de produção a nível comercial no mercado fotovoltaico. Os painéis solares com células de silício cristalino são normalmente azuis porque esta é a cor com a qual a célula apresenta a melhor eficiência na conversão de energia solar para elétrica, mas já existem fabricantes que produzem painéis coloridos, como vermelhos ou verdes, com o objetivo de atrair clientes que desejam criar projetos arquitetônicos que primam pela estética. Isso eleva o valor dos módulos.

As células podem ser de dois tipos: silício monocristalino (m-Si) e silício policristalino (p-Si).

##### o Silício monocristalino (m-Si):

Além de ser a mais antiga tecnologia fotovoltaica, as células de silício monocristalino (m-Si) são também as com as maiores eficiências em aplicações comerciais. A Figura 15 mostra detalhes dessa célula.



Figura 15 – Célula de silício monocristalino – Fonte: Inovafiel, 2013

- Silício policristalino (p-Si):

Estas células são formadas por diversos cristais, que são fundidos e solidificados. Por causa das bordas das partículas dos cristais (mais cristais, logo mais bordas) é que a eficiência das células de policristalino é menor que as monocristalino. Por outro lado, elas custam bem menos para serem produzidas, exigem menos materiais e energia. Tudo isto reflete no custo final das células, que acaba sendo menor que as monocristalinas. A Figura 16 mostra detalhes dessa célula.

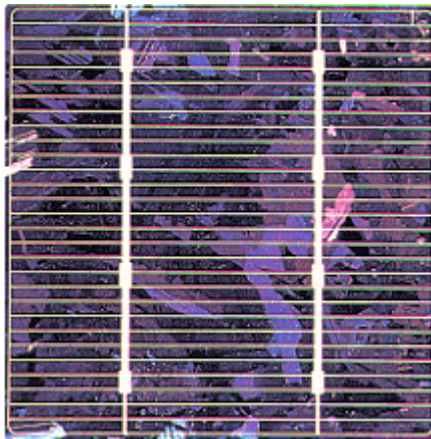


Figura 16 – Célula de silício policristalino – Fonte: CRESESB, 2008

- 2. Silício amorfo hidrogenado (a-Si):

Nessas células as camadas são extremamente finas, muitas vezes tendo não mais do que 0,5 micrometros de espessura com uma estrutura amorfa, o que reduz os níveis de eficiência quando comparado com as células cristalinas. Sua eficiência não passa de 6%.

Seu modo de fabricação permitiu o desenvolvimento de módulos solares flexíveis, inquebráveis, leves, semitransparentes, com superfícies curvas que aumentam a versatilidade na sua aplicação, principalmente em projetos de integração as construções.

Seu custo por metro quadrado é, em média, a metade do custo do silício cristalino. Outro diferencial desta tecnologia é que ela não apresenta redução na potência com o aumento da temperatura de operação, o que é uma vantagem em países de climas quentes como o Brasil. Em outras tecnologias, o aumento da temperatura ambiente provoca perdas no desempenho dos módulos. A Figura 17 mostra detalhes dessa célula.



Figura 17 – Painél de silício amorfo hidrogenado – Fonte: Delta Energie, 2013

Há também células que utilizam como matéria-prima o Telureto de cádmio (CdTe), diasseleneto de cobre (gálio) e índio (CIS e CIGS), mas é menos comum no mercado.

### 3.3.4 Dimensionamento do sistema

Para dimensionar um sistema fotovoltaico conectado à rede são necessários alguns dados básicos da residência como: consumo médio mensal (kWh), tipo de sistema (mono, bi ou trifásico) e local da instalação para obter a irradiação da localidade. A partir desses dados pode ser feita uma estimativa da potência para o sistema, assim como a área que será ocupada e as emissões de CO<sub>2</sub> que serão evitadas. Essas estimativas podem ser feitas em alguns sites na internet em que são oferecidos simuladores.

Não é necessário produzir toda a energia consumida. Equipamentos de alto consumo como chuveiro elétrico requerem muitos painéis e, portanto, devem ser substituídos por outras soluções quando possível. Esse, por exemplo, pode utilizar energia solar térmica, mais eficiente e barata para esta aplicação [Neosolar, 2013].

Com o conhecimento da capacidade do sistema (potência) é possível calcular quantos painéis serão necessários. Parte-se do consumo de energia em kWh da unidade consumidora - o sistema deve ser dimensionado para produzir no máximo 100% da energia média consumida, pois o consumidor não será remunerado pela produção de energia em excesso. O tamanho do sistema também fica restrito à área disponível para instalação dos painéis.

Em seguida determina-se o local da instalação dos painéis. A produção máxima se dará em função da disponibilidade de sol, da orientação e inclinação dos painéis. A melhor orientação é voltada para a linha do Equador (direção Norte, para a maioria dos Estados brasileiros). A inclinação dos painéis de maior produção é aquela onde a luz incide o mais perpendicular possível ao plano do painel e é função da latitude do local. A inclinação ótima pode variar se houver meses historicamente muito nublados. Por fim, recomenda-se inclinação mínima de 10° para evitar o acúmulo de água e facilitar a



limpeza natural com a chuva. A Tabela 2 que segue indica a inclinação ideal dos painéis nas capitais brasileiras.

Tabela 2 – Inclinação ideal dos painéis nas capitais brasileiras – Fonte: Técnica, 2012

Cidade	Inclinação ideal* dos painéis
Belo Horizonte	20°
Vitória	20°
Rio de Janeiro	23°
São Paulo	24°
Curitiba	25°
Florianópolis	28°
Porto Alegre	30°
Campo Grande	21°
Cuiabá	16°
Goiânia	17°
Brasília	16°
Demais Capitais	10°

\* inclinação  $\approx$  latitude: máxima produção anual.

Além da orientação e inclinação, a quantidade de luz recebida também pode ser prejudicada por objetos ou construções próximas ao sistema fotovoltaico. Pequenas sombras podem prejudicar muito a produção de energia. Além de prédios e árvores, chaminés, antenas e objetos menores devem ser observados. Deve ser feita uma análise de sombreamento para todo o ano, pois o posicionamento do sol altera os ângulos de incidência e as sombras.

Verifica-se, por fim, a radiação solar no local. Essa informação é obtida em um mapa solarimétrico, sendo que um dos mais usados no Brasil foi elaborado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe). A radiação geralmente é dada em kWh/m<sup>2</sup>/dia ou HSP/dia (Horas de Sol Pico por dia), que não quer dizer o número de horas de sol em um dia, mas sim o equivalente a uma hora padrão de 1.000 W/m<sup>2</sup>. No



Brasil, a radiação fica entre 4 kWh/m<sup>2</sup>/dia no Sul e 6,5 kWh/m<sup>2</sup>/dia no interior do Nordeste.

A quantidade de painéis é determinada de acordo com a energia que se deseja produzir. O arranjo fotovoltaico (combinação dos painéis em série ou em paralelo) deverá ser compatível com o inversor utilizado. Para isso, as especificações técnicas dos painéis e inversores devem ser consultadas de modo a determinar o tamanho e a quantidade das séries de painéis, bem como a quantidade de inversores necessários [Téchne, 2012].

No mercado há possibilidade de compra de painéis com diversas potências. Exemplo: uma residência dimensionou seu sistema e o resultado foi a necessidade de 2000 Wp de potência para 100% do abastecimento. Sabendo que uma loja vende painéis de 240 Wp, serão necessários 9 painéis.

A área a ser ocupada pelos painéis depende do tamanho e características do sistema bem como da forma como eles deverão ser montados nos arranjos. Um sistema de 1000 Wp ocupa uma área de aproximadamente 7 m<sup>2</sup> de painéis. No entanto, se estiverem inclinados sobre uma superfície plana como uma laje, um painel pode fazer sombra sobre o outro e eles deverão ficar afastados, exigindo uma área até duas vezes maior [Neosolar, 2013].

## 4. Viabilidade de sistemas de geração de energia elétrica por painéis solares fotovoltaicos

### 4.1 Comparação orçamentária entre países

O Brasil é o maior produtor mundial de quartzo e desse elemento se parte para a obtenção de silício, que é a matéria-prima mais utilizada na produção das células fotovoltaicas [Diário do Grande ABC, 2013]. Apesar desse grande potencial, só em 2011 foi instalada a primeira fábrica de painéis fotovoltaicos do país, em Campinas – SP – a Tecnometal. Ela tem capacidade para produzir 25 MW anuais. Esse volume equivale a quatro vezes a atual demanda brasileira por painéis solares, o que demonstra o otimismo da empresa com o cenário nacional e o da América do Sul, para onde pretende exportar [Rotas Estratégicas, 2011].

Atualmente o Brasil está diante da oportunidade de produzir silício de grau solar a custos competitivos pois acaba de adquirir um equipamento que purifica o silício. O equipamento veio da Alemanha e está atualmente no Laboratório de Metalurgia e Materias Cerâmicos (LMMC), localizado no Instituto de pesquisas tecnológica (IPT), São Paulo. Custou cerca de R\$ 1,4 milhões, dinheiro que veio por parte da Funtec (Fundo Tecnológico), do BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) e da MinasLigas (Companhia Ferroligas Minas Gerais).

Essa é só uma parte dos R\$ 12,5 milhões que será investido. O equipamento chamado de ‘forno de solidificação direcional’ é o primeiro na América do Sul. Com a aquisição do equipamento o Brasil pode sim se tornar líder na corrida pelo silício grau solar e pela energia solar fotovoltaica [IPT, 2012].

Essa ainda é uma especulação, por enquanto o Brasil não aparece de maneira relevante no ranking dos países que mais investiram e produziram painéis fotovoltaicos em 2012 – Alemanha, Itália, China, Estados Unidos e Japão, como pode ser visto na Figura 18.

<b>ANNUAL INVESTMENT/ADDITIONS/PRODUCTION IN 2012</b>							
	<b>New capacity investment</b>	<b>Hydropower capacity</b>	<b>Solar PV capacity</b>	<b>Wind power capacity</b>	<b>Solar water collector (heating) capacity<sup>1</sup></b>	<b>Biodiesel production</b>	<b>Ethanol production</b>
<b>1</b>	China	China	Germany	United States	China	United States	United States
<b>2</b>	United States	Turkey	Italy	China	Turkey	Argentina	Brazil
<b>3</b>	Germany	Brazil/Vietnam	China	Germany	Germany	Germany/ Brazil	China
<b>4</b>	Japan	Russia	United States	India	India	France	Canada
<b>5</b>	Italy	Canada	Japan	United Kingdom	Brazil	Indonesia	France

Figura 18 – Ranking dos países que mais investiram e produziram painéis solares fotovoltaicos em 2012 – Fonte: REN21, 2013

No Brasil não é possível produzir energia elétrica e vendê-la como em outros países, há apenas um sistema de compensação de energia que foi regulamentado pela Aneel muito recentemente, em 2012. Na Alemanha, por exemplo, há as chamadas tarifas feed-in que são cada vez mais reconhecidas como um tipo de política eficiente para se promover energias renováveis: trata-se de um mecanismo que garante que o produtor de energias renováveis possa vender energia a um preço fixo garantido por contrato, por um período de tempo determinado (geralmente 5, 10, 15 ou 20 anos) [IEDI, 2011].

Para a diminuição dos preços deveriam ser consideradas ainda as linhas de financiamento e incentivos fiscais para o setor. A experiência internacional mostra a necessidade da concessão de crédito mais barato para financiar projetos de energias

renováveis e a indústria nacional de componentes, ou seja, os fornecedores da cadeia de geração de energias renováveis.

Também, poderiam ser aventadas parcerias público-privadas eficazes para implantação de projetos de energias renováveis, como ocorre de forma exitosa nos Estados Unidos [IEDI, 2011].

O custo dos painéis fotovoltaicos, incluindo sua instalação, no Brasil ainda é elevado em comparação com as fontes tradicionais de energia. Estima-se, em 2010, em torno de 4,60 USD / Wp, o que equivale a aproximadamente R\$ 10,60 / Wp [América do Sol, 2013].

O valor na prática para os consumidores é maior no Brasil do que em países como a China, por exemplo, porque não há subsídios do governo, além de praticamente todo material ser importado, mas compensa por outro lado devido a mão de obra para instalação ser mais barata.

Os valores para cada país sem influência dos subsídios, podem ser vistos na Figura 19.

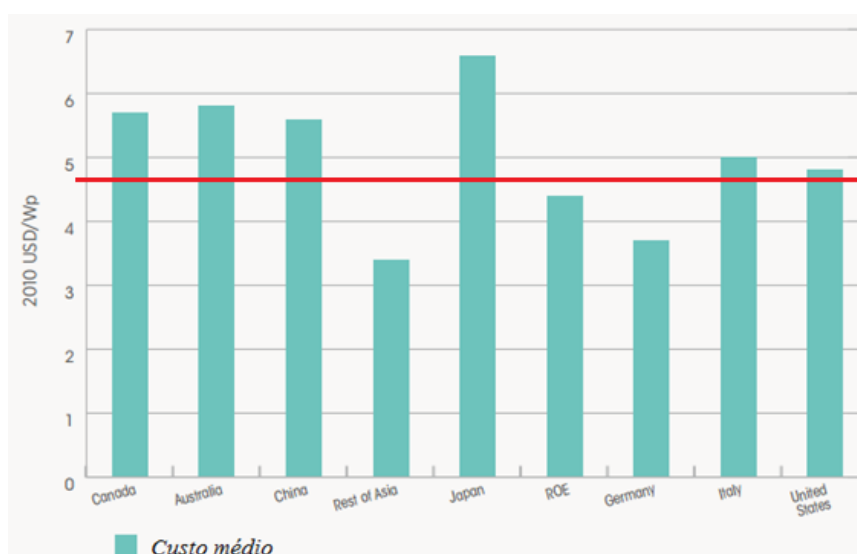


Figura 19 – Custo médio por país de painéis fotovoltaicos até sua instalação–

Fonte: IRENA, 2012

Há ainda um gráfico que mostra que o custo de painéis fotovoltaicos para residências, até a sua instalação, é inversamente proporcional a potência que será instalada. Esse gráfico encontra-se abaixo (Figura 20) e é possível notar que isso ocorre para todos os países em questão. Nos Estados Unidos há a maior diferença entre valores para a mesma potência pois é um país com condições diferentes dependendo do local: a maior parte das políticas regulatórias é de acordo com a região e não para o país como um todo.

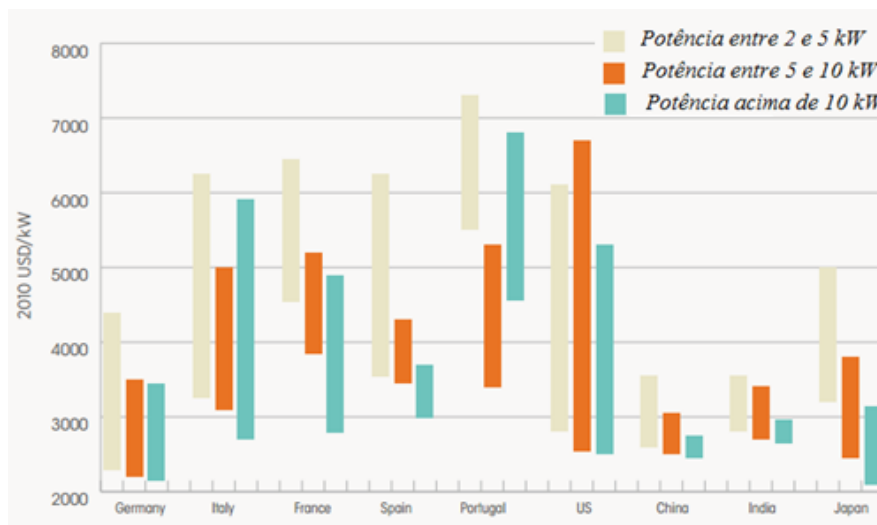


Figura 20 – Custo de painéis fotovoltaicos para residências, até sua instalação, de acordo com a potência – Fonte: IRENA, 2012

## 4.2 Tendência dos preços

O custo dos painéis fotovoltaicos ainda é alto, mas vem caindo consideravelmente nos últimos anos. A maior parte deles é importado de países como o Japão e os Estados Unidos, apesar do maior produtor mundial de quartzo (a partir dele se obtém o silício) ser o Brasil [Rotas Estratégicas, 2011].

No país há previsão de queda no preço devido à alguns fatores. Pode-se citar a aquisição de um equipamento que purifica o silício, como já dito anteriormente, o que gerará um aumento da fabricação desses painéis no Brasil, tornando o custo deles

menor. Outro ponto é a Resolução da Aneel no 482/2012, que é um forte estímulo para aquisição desse sistema para geração de energia elétrica conectado à rede. Aumentando a procura pelos painéis, seu custo diminui de maneira diretamente proporcional.

“Para manter a competitividade, as indústrias investem no aumento da eficiência, na redução de custos de operação e no aumento da capacidade de utilização. Baixos custos, alta qualidade na fabricação e a habilidade de resposta rápida a mudanças no mercado se tornaram a marca das empresas resilientes e lucrativas”, afirma o Renewable 2010 Global Status Report.

A Figura 21 mostra o quanto cresceram as vendas mundiais de módulos fotovoltaicos – 7968% em dez anos.



Figura 21 – Vendas mundiais de módulos fotovoltaicos incluindo todas as tecnologias e todos os fabricantes – Fonte:Photon international, 2010

A Figura 22 apresenta uma estimativa de evolução mundial de custos para sistemas fotovoltaicos. Por essa análise, a redução de preço esperada será superior a 5% ao ano nos próximos dez anos.

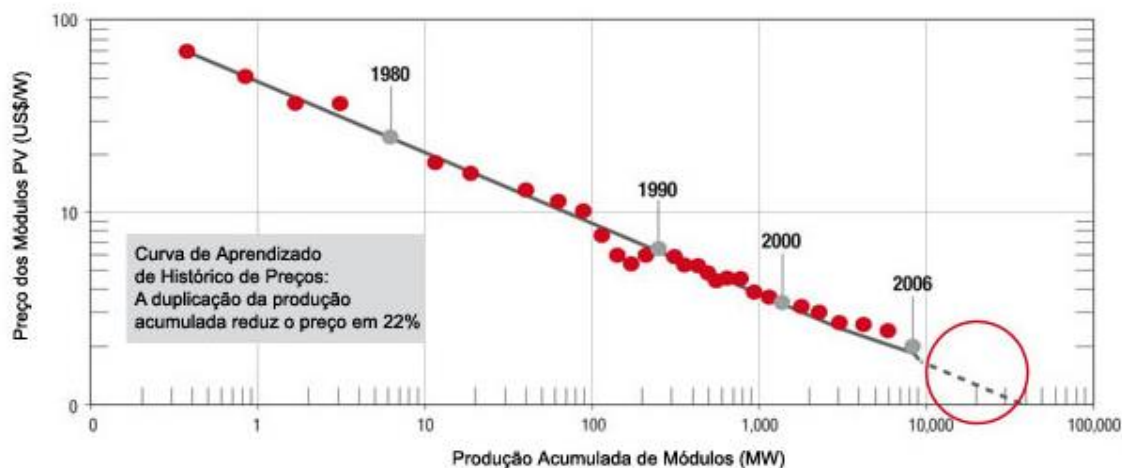


Figura 22 – Preço dos módulos fotovoltaicos desde 1975 – Fonte: EPIA, 2009

Já a Figura 23 mostra a projeção de custos futuros no mundo, sendo que o percentual indicado dentro do círculo é o decréscimo anual dos custos.

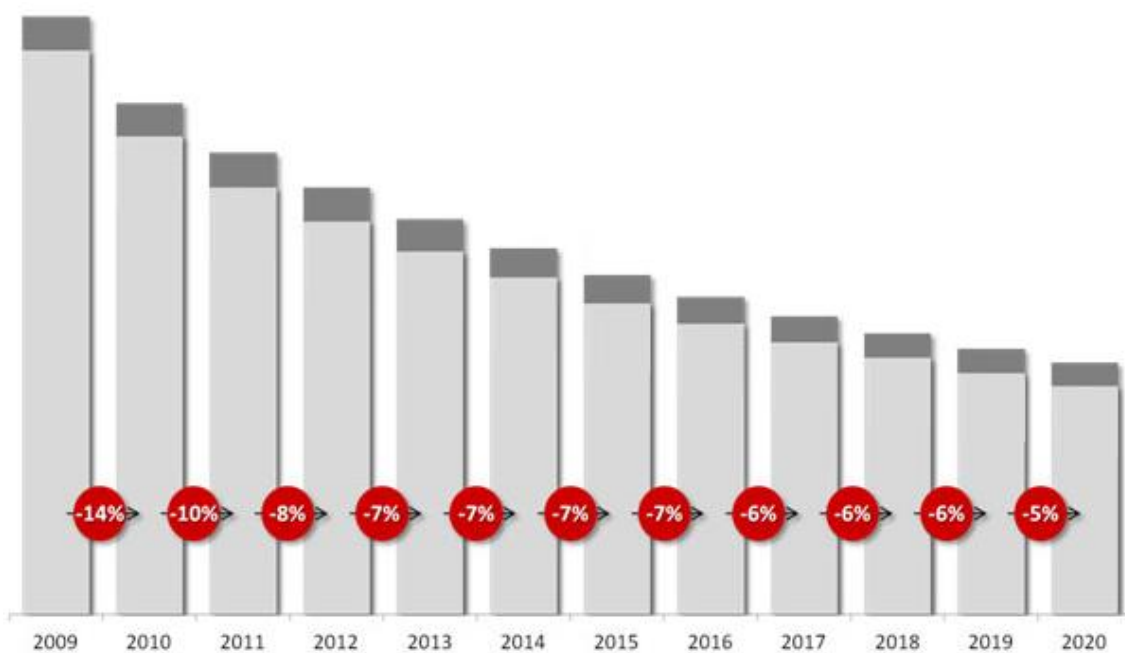


Figura 23 – Projeção de custos futuros de painéis fotovoltaicos – Fonte: EPIA, 2009

### 4.3 Composição orçamentária do sistema

O sistema que será tratado é o residencial, do tipo Grid-tie (conectado à rede). Como já foi visto, esse sistema conta com painéis fotovoltaicos, além dos inversores, mas também é necessária uma estrutura para dar suporte aos painéis fotovoltaicos, além do material elétrico. Há ainda a instalação dos materiais e equipamentos citados. Como será conectado à rede é necessário um projeto e regularização junto a concessionária, que inclui abertura da solicitação de conexão e regularização na concessionária em questão.

O valor de cada item depende de diversos fatores como a previsão de consumo, a localização da residência, o local onde os painéis serão instalados (se for um local de difícil acesso como um telhado muito alto é mais caro, por exemplo), o material das células fotovoltaicas, entre outros. Para gerar um maior conhecimento sobre a viabilidade financeira será feito no próximo capítulo um estudo de caso de uma residência unifamiliar que pretende utilizar painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica.

### 4.4 Resolução normativa nº 482/2012 – Aneel

No dia 17 de abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) divulgou a Resolução Normativa nº 482, em que estabelece os parâmetros regulatórios para a microgeração (até 100 kW) e a minigeração (entre 100 kW e 1MW) de energia elétrica a partir de sistemas particulares conectados à rede de distribuição. Ela viabiliza a geração distribuída de pequeno porte no Brasil.

Nessa resolução, diversos parâmetros decisivos para o desenvolvimento desse novo mecanismo de produção energética foram estabelecidos, permitindo a produção de



energia a partir de unidades consumidoras e a disponibilização do excedente energético para a rede pública por meio de um simples sistema de compensação.

O sistema de compensação, conhecido internacionalmente como net metering, irá adicionar à conta do consumidor toda a energia que ele utilizar do sistema público e irá subtrair dela toda a energia que ele injetar na rede, proveniente da geração a partir de sistemas fotovoltaicos ou eólicos, por exemplo. Caso o consumidor utilize mais energia do que produziu, irá pagar o equivalente de quilowatt-hora utilizado referente às tarifas às quais o estabelecimento corresponde. Por outro lado, caso o consumidor produza mais energia elétrica do que consuma, pagará apenas uma taxa fixa estabelecida pela concessionária e usufruirá de créditos válidos por 36 meses, que poderão ser abatidos das próximas faturas do próprio imóvel ou de outro imóvel definido pelo proprietário. As informações estarão na fatura do consumidor, a fim de que ele saiba o saldo de energia e tenha o controle sobre a sua fatura.

A regra é válida para geradores que utilizem as seguintes fontes de energia: solar, que é o caso aqui tratado, hídrica, biomassa, eólica e cogeração qualificada.

A geração de energia elétrica próxima ao local de consumo ou na própria instalação consumidora, chamada de “geração distribuída”, pode trazer uma série de vantagens sobre a geração centralizada tradicional, como, por exemplo, economia dos investimentos em transmissão, redução das perdas nas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica.

Como a regra é direcionada a geradores que utilizem fontes renováveis de energia, a agência nacional de energia elétrica (Aneel) espera oferecer melhores condições para o desenvolvimento sustentável do setor elétrico brasileiro, com aproveitamento adequado dos recursos naturais e utilização eficiente das redes elétricas.

O assunto foi discutido com a sociedade em uma consulta e uma audiência pública. A audiência ficou aberta no período de 08/08/2011 a 14/10/2011 e, ao todo,

foram recebidas 403 contribuições de agentes do setor, universidades, fabricantes, associações, consultores, estudantes e políticos [Aneel, 2012].

#### 4.5 Manutenção, vida útil, prazo de garantia

O tempo de vida útil dos painéis fotovoltaicos é estimado por várias marcas entre 25 e 30 anos [Satvez, 2013]. O que foi projetado com maior vida útil é da marca Mitsubishi – 35 anos. A maioria das fabricantes dá garantia de até 25 anos, o que garante o funcionamento até praticamente o final de sua vida útil.

Para apresentar as garantias serão analisadas três fabricantes de painéis fotovoltaicos. São elas: Kyocera – fábrica no Japão, Samsung – fábrica na Coreia do Sul e Sharp – fábrica nos Estados Unidos.

Kyocera: até 10 anos garante 90% de rendimento; Até 20 ou 25 anos garante 80% de rendimento, depende do painel;

Samsung: até 10 anos garante 90% de rendimento; Até 25 anos garante 80% de rendimento;

Sharp: até 10 anos garante 90% de rendimento; Até 25 anos garante 80% de rendimento [Whole Solar, 2013].

Os custos com manutenção são praticamente nulos, dado que as fabricantes dos painéis dão altos prazos de garantia. Como manutenção preventiva recomenda-se fazer inspeções periódicas nos sistemas fotovoltaicos pois, desta forma, pequenos problemas poderão ser identificados e corrigidos, de modo a não afetar a operação do sistema. A inspeção periódica deve ser iniciada logo após a instalação do sistema, quando ele, supostamente, está operando satisfatoriamente. Não há necessidade de operações de manutenção complicadas. Uma recomendação útil é a limpeza dos módulos regularmente para manter a eficiência de conversão [CEPEL, 2004].

## 5. Estudo de caso: instalação de painéis fotovoltaicos para geração de energia elétrica em uma residência unifamiliar

### 5.1 Introdução

Em Abril de 2012 a Resolução normativa no 482 da Aneel viabilizou a geração distribuída de pequeno porte no Brasil. As distribuidoras tiveram até o dia 15 de dezembro do mesmo ano para se adequarem às novas regras. Assim, desde essa data as distribuidoras estão preparadas para receber o pedido de instalação de micro ou minigeração distribuída.

Baseado nessa resolução da Aneel e na análise dos capítulos anteriores, o presente capítulo pretende estudar o caso da viabilidade de um sistema de energia solar fotovoltaica conectado à rede, Grid-tie, para uma residência unifamiliar. Essa residência será uma “casa de praia” e gerará créditos para um apartamento, de mesmo proprietário.

Para que possa ser feita essa geração de créditos é necessário que as duas residências tenham a mesma concessionária de distribuição de energia elétrica. Nesse caso particular será a Ampla Energia e Serviços S.A., já que ambos estão localizados em Niterói: o apartamento está próximo ao centro e a casa no bairro de Piratininga, região litorânea da cidade.

Ao longo do capítulo será feita uma análise geral de viabilidade.. Inicialmente será apresentada a localização dessa residência, o que será importante para avaliação da radiação no local. Para o cálculo da potência que deve ser instalada será feita uma simulação com valores de consumo de energia elétrica do apartamento, utilizando também os dados gerados a partir da localização.

A simulação fornecerá dados para o dimensionamento como a capacidade do sistema e a área que seria ocupada. Baseado na capacidade faz-se a previsão dos materiais e equipamentos necessários. Será abordado ainda sobre o projeto elétrico e regularização junto com a concessionária em questão, assim como a instalação do sistema e o orçamento desse.

## 5.2 Dados para realização do projeto de instalação de painéis fotovoltaicos

Residência unifamiliar a ser construída:

- Localização: Rua Professor Manoel José Ferreira, quadra 264, lote 10 Piratininga, Niterói – RJ;
- Latitude: aproximadamente 23° S
- Os painéis fotovoltaicos foram previstos no projeto dessa residência unifamiliar para serem instalados sobre uma laje plana, a mais alta da residência e em uma área onde não haverá sombreamento durante o dia;
- Área livre para ocupação do sistema: 30 m<sup>2</sup>
- Concessionária de distribuição de energia elétrica: Ampla;
- Custo aproximado de 1 kWh (Ampla): R\$ 0,54 (valor referente a Julho de 2013);
- Tipo de conexão: trifásico;

Apartamento existente:

- Consumo médio mensal: 250 kWh;
- Habitantes: 2.

### 5.3 Localização

A residência onde pretende-se implantar o sistema de geração de energia elétrica através dos painéis fotovoltaicos está localizada na região litorânea da cidade de Niterói, no bairro de Piratininga. A Figura 24 e a Figura 25 apresentam a localização: uma através do “Google Maps” e outra, mais próxima, através do “Google Earth” (com o norte indicado). O terreno está envolvido por uma linha vermelha.

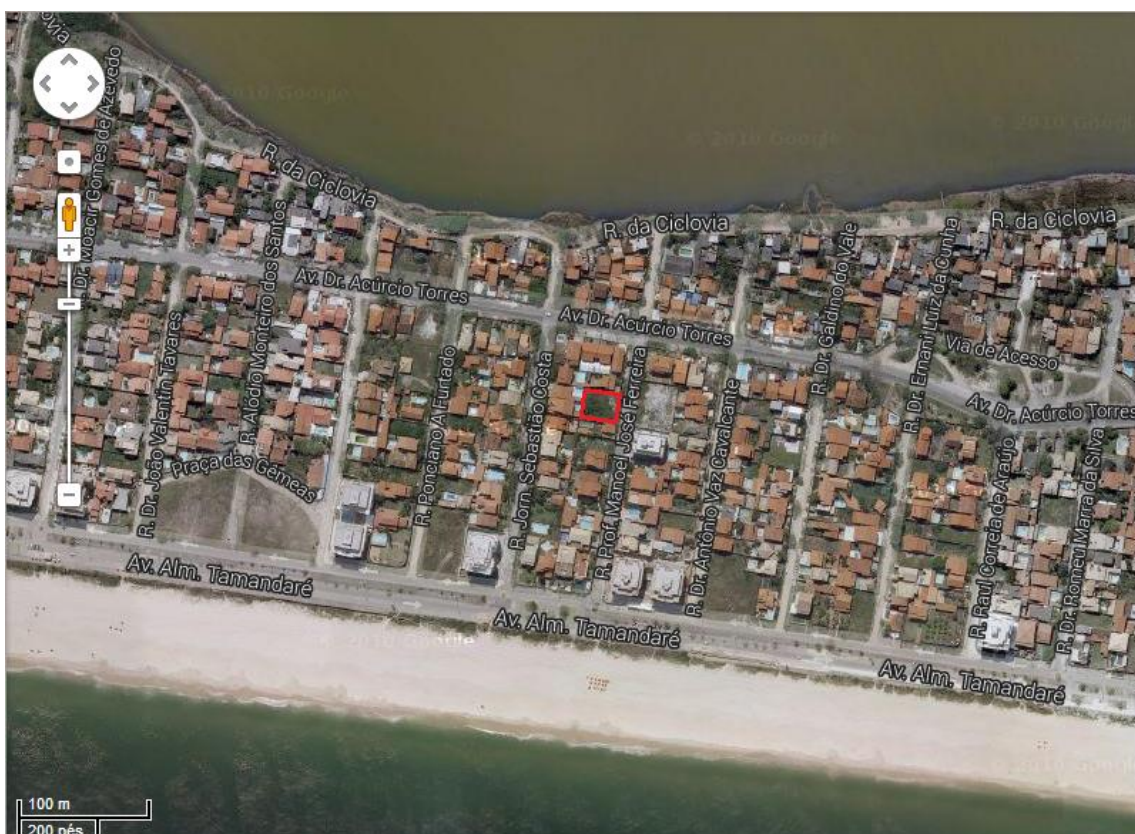


Figura 24 – Localização do terreno – Fonte: Google Maps, 2013



Figura 25 – Localização mais aproximada do terreno – Fonte: Google Earth, 2013

O local onde o sistema será implantado é importante por três motivos:

- a irradiação anual será baseada na localidade;
- de acordo com o local exato é possível avaliar as condições da vizinhança como sombreamentos sobre os módulos fotovoltaicos devidos a árvores ou edificações próximas, por exemplo;
- de acordo com a latitude é possível obter a inclinação ideal do painéis fotovoltaicos

Para a avaliação de sombreamento deve-se atentar também para terrenos próximos que estejam vazios, já que futuramente pode ter edificações gerando sombra.

Como a latitude do local é aproximadamente  $23^{\circ}$ , essa será também a inclinação ideal para os painéis fotovoltaicos, como já visto anteriormente.

## 5.4 Cálculo da potência do sistema

A etapa do cálculo da potência do sistema será feita através de um “simulador solar”. Esse se encontra disponível na Internet através do site <<http://www.americadosol.org/simulador/>>. Ele foi criado pelo Instituto Ideal, com o apoio da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) e desenvolvido com o objetivo de facilitar a etapa de cálculo de potência de um microgerador fotovoltaico.

O primeiro passo para simulação é informar a localização da residência, como pode ser visto na Figura 26. A partir desses dados é possível obter a radiação do local.

**Passo 1: Sua localização** -22,9528° S, -43,0810° O, 9,4 m.

Informe onde seria instalado o seu sistema fotovoltaico. Você pode fazer isso de três maneiras.  
Escolha abaixo e preencha os dados solicitados:

Clicando no mapa	Pesquisando pelo endereço	Escolhendo o estado e cidade
<p>Google Dados do mapa - Termos de Uso</p>	Digite o endereço <input type="text" value="Rua Professor Manoel José Ferreira, Niterói"/> <input type="button" value="Pesquisar"/>	Escolha seu estado e sua cidade Estado <input type="text" value="Rio de Janeiro"/> Município <input type="text" value="Niterói"/>

Figura 26 – Primeiro passo da simulação solar (localização) – Fonte: América do sol, 2013

O passo seguinte é informar a distribuidora de energia elétrica, o tipo de conexão, assim como o consumo mensal em kWh e o valor da conta. Pode-se ver isso na Figura 27.

Através do conhecimento do tipo de conexão pode-se estimar o consumo mínimo (custo de disponibilidade) que será pago mensalmente a distribuidora e que varia conforme o tipo da conexão (monofásico: 30kWh, bifásico: 50 kWh e trifásico:

100 kWh). Inserindo o valor da conta é possível saber o valor do kWh e calcular a economia que será feita de acordo com a potência do sistema.

Serão considerados dados do projeto: consumo médio mensal de 250 kWh e o tipo de conexão será trifásico. O kWh custa aproximadamente R\$ 0,54, então para um consumo mensal de 250 kWh o valor da conta seria R\$ 135.

**Passo 2: Seu consumo elétrico**

Nessa etapa você precisará ter em mãos a sua conta de luz mais recente. Nela você encontrará todas as informações solicitadas.

**Sua Fatura de Eletricidade**

Distribuidora

Tipo de conexão

Consumo  kWh

Valor da conta  R\$

[Continuar ↓](#)

Figura 27 – Segundo passo da simulação solar (consumo elétrico) –

Fonte: América do sol, 2013

O terceiro passo é informar o histórico de consumo, mês a mês, do último ano de consumo, mas essa etapa é opcional. A Figura 28 mostra como seria essa etapa.



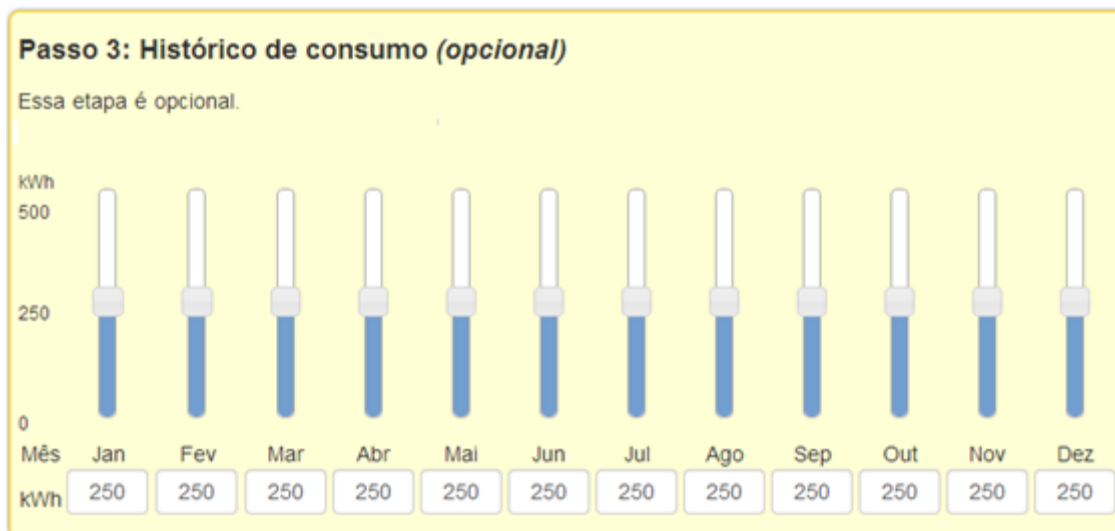


Figura 28 – Terceiro passo da simulação solar (histórico de consumo) –

Fonte: América do sol, 2013

Após essas três etapas o simulador solar fornece os resultados da simulação. A simulação considera que os módulos fotovoltaicos estariam instalados estariam voltados para o Norte e com uma inclinação ótima ( $23^{\circ}$  para esse local). Esse resultado é dividido em duas partes: a primeira informa a capacidade do sistema fotovoltaico a ser instalado, a área que seria ocupada por esse sistema e as emissões de  $\text{CO}_2$  que seriam evitadas. A segunda calcula o consumo total anual e o divide em duas partes: o consumo da rede elétrica e a geração fotovoltaica, como pode ser visto na Tabela 3. Para os dados desse projeto o resultado da simulação solar foi:

### Sistema Fotovoltaico (FV):

Tabela 3 – Resultado da simulação 1 – Fonte: América do Sol

Capacidade do seu sistema (potência)	1,2 kWp
Área ocupada pelo seu sistema - módulos de silício policristalino	8 a 10 m <sup>2</sup>
Radiação sobre os módulos	17.200 kWh
Rendimento anual	1252 kWh/kWp
Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas	438 kg/ano
<b>Consumo total anual</b>	
Consumo da rede elétrica	3,00 MWh
Geração fotovoltaica	1,50 MWh
Economia anual devido ao sistema	R\$ 810,00

Com base nos dados de consumo elétrico informados e na radiação solar do local, um sistema fotovoltaico de cerca de 1,2 kWp de potência instalada atenderia a necessidade energética.

Para os dados de irradiação anual da localidade o simulador solar utilizou o Atlas Solarimétrico do Brasil, fornecido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL / Eletrobras. Para cada mês há uma irradiação diferente, logo uma geração fotovoltaica mensal diferente. Como o medidor será bidirecional poderá ser feito o controle da energia. Os créditos podem ser usados em até 36 meses.

A estimativa de área confirma o já foi abordado em um capítulo anterior (aproximadamente 7 m<sup>2</sup> para cada 1 kWp instalado). Com potência de 1,2 kWp a área seria aproximadamente 8,4 m<sup>2</sup>, ficando assim entre os valores gerados pelo simulador (8 a 10 m<sup>2</sup>). Como a área livre para ocupação do sistema é de 30 m<sup>2</sup>, o sistema é viável em questão de espaço.

O sistema proposto - 1,2 kWp - geraria em média 125 kWh/mês ou 1,50 MWh/ano, quantidade essa de eletricidade que não precisará mais ser paga a

distribuidora. Também seria evitada a emissão de 438 quilogramas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por ano.

Sabendo que a demanda elétrica é de aproximadamente 250 kWh/mês ou 3,0 MWh/ano, o consumo da rede elétrica seria, coincidentemente, o mesmo valor da geração fotovoltaica – 1,5 MWh/ano. Somando a energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico com a da rede elétrica, haveria 100% do abastecimento.

O consumo mínimo mensal da rede elétrica (custo de disponibilidade) que deve ser pago mensalmente a distribuidora para conexão trifásica seria de 100 kWh/mês ou 1,2 MWh/ano. Esse valor está coerente com o do simulador que prevê 1,5 MWh/ano.

Como já dito anteriormente, o resultado do simulador deve ser feito apenas depois de considerar as condições da vizinhança do local estabelecido para instalar o sistema como sombreamentos dos módulos devidos a árvores ou edificações próximas, por exemplo. Se houver sombra deve haver uma revisão da produção elétrica.

É importante ressaltar que se houver necessidade de aumento do consumo mensal, existe a possibilidade de ampliação do sistema, desde haja espaço para a extensão dele.

## 5.5 Projeto e regularização junto à concessionária (Ampla)

Para a etapa de “projeto e regularização junto à concessionária” é necessário contratar uma empresa que preste esse serviço. Há ainda a possibilidade de contratar um engenheiro elétrico para fazer o projeto elétrico e o próprio solicitante abrir solicitação de conexão na concessionária, mas não é recomendado pois esse serviço ainda é muito recente no Brasil e para um leigo no assunto, sem uma empresa à frente, será mais demorado. Para esse estudo de caso será suposta a contratação de uma empresa para o projeto e regularização junto à concessionária, assim como a instalação e a conexão à rede.

A empresa deve ser qualificada para projetar, instalar e conectar à rede um sistema fotovoltaico cumprindo as regras da Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, o Módulo 3, Seção 3.7, do PRODIST e as normas técnicas da ABNT aplicáveis.

Inicialmente deve-se inspecionar minuciosamente o local onde será instalado o microgerador para verificar se algo pode dificultar a instalação e, então, elaborar o projeto. Em seguida o microgerador deve ser projetado a partir do pré-dimensionamento realizado com o simulador solar.

A etapa seguinte é a solicitação do acesso à rede, encaminhando a documentação necessária e o projeto das instalações de conexão (incluindo um memorial descritivo, localização, arranjo físico e diagramas).

### 5.5.1 Procedimento de acesso

Os procedimentos de acesso estão detalhados no Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Consistem nas várias etapas necessárias para a obtenção de acesso ao sistema de distribuição. Para a viabilização do acesso ao sistema elétrico da Ampla, é necessário o cumprimento das etapas de solicitação de acesso e parecer de acesso. Essas etapas são apresentadas de forma sucinta na Figura 29 a seguir:

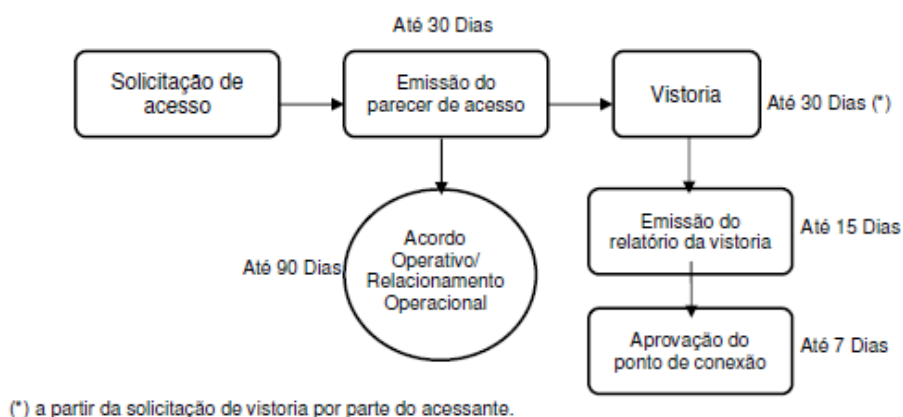


Figura 29 – Etapas de acesso de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição da

Ao receber a solicitação de acesso, a distribuidora deve emitir um parecer com a definição das condições de acesso. Se não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, a emissão deve ser feita até 30 dias após o recebimento.

A assinatura de acordo operacional deve ser feita até 90 dias depois da emissão do parecer de acesso. A vistoria deve ser feita até 30 dias a partir da solicitação por parte do acessante e a entrega do relatório de vistoria até 15 dias.

Após essa etapa o acessante tem o tempo que ele definir para se adequar ao relatório de vistoria e a distribuidora tem até 7 dias a partir disso para aprovação do ponto de conexão, liberando-o para sua efetiva conexão.

## 5.6 Materiais e equipamentos

A mesma empresa que realizou o projeto e a regularização junto à concessionária pode definir os materiais e equipamentos necessários para o projeto. A compra pode ser feita pela própria empresa, mediante a cotação dos produtos, ou pelo próprio consumidor.

Para esse projeto foram definidos os seguintes materiais e equipamentos:

- Inversor grid-tie 1200 W
- 5 painéis fotovoltaicos de 240 W cada
- Suporte para 5 painéis fotovoltaicos de 240 W (instalação em solo)
- Material elétrico
- Medidor bidirecional ou unidirecional

Para instalações em baixa tensão, como é o caso desse projeto, a medição bidirecional também pode ser realizada por meio de dois medidores unidirecionais: um para aferir a energia elétrica ativa consumida e outro para a gerada [PRODIST, 2012].

### 5.7 Instalação do sistema

A instalação de todos materiais e equipamentos deve ser realizada por uma empresa com experiência comprovada nessa área. É importante o consumidor se informar antes sobre a empresa, solicitando referências de outros trabalhos na área de geração elétrica. Esse é um mercado bastante recente no Brasil, por isso são poucas as empresas que prestam esse serviço.

No caso desse projeto a instalação é mais barata pois não há grandes dificuldades de acesso a laje onde serão instalados os painéis, além da laje ser plana e não precisar de reforço estrutural.

### 5.8 Orçamento

Para fins de orçamento foram contactadas duas empresas: “Green Technology Desenvolvimento Ambiental” e “Recriar Tecnologias e Engenharia”. A primeira desenvolve o projeto inteiro, desde a simulação até instalação, passando pelo projeto, regularização junto à concessionária, materiais e equipamentos. A segunda dá opção de fazer um serviço isolado ou todos.

Visando reduzir ao máximo o custo total, foi solicitado o orçamento da “Recriar Tecnologias e Engenharia”, já que a simulação da capacidade e área já foram feitos pelo simulador solar e os materiais e equipamentos podem ser comprados separadamente. Os custos aqui apresentados são aproximados. Como a maior parte dos materiais e equipamentos utilizados são importados, os valores variam de acordo com a variação do dólar. Os valores que seguem são relativos a Agosto de 2013.

- Projeto elétrico de acordo com a norma da concessionária e abertura de solicitação de conexão e regularização na concessionária (Recriar Tecnologias e Engenharia): R\$ 4000,00
- Materiais e equipamentos: R\$ 12500,00
- Inversor grid-tie 1200 W: R\$ 4000,00
- 5 painéis fotovoltaicos (células de silício poli-cristalino) de 240 W cada :  
5 x R\$ 1000 = R\$ 5000,00
- Suporte para os 5 painéis fotovoltaicos (instalação em solo): R\$ 2000,00
- Material elétrico: R\$ 1000,00
- Medidor bidirecional ou unidirecional: R\$ 500,00
- Instalação de todos os materiais e equipamentos: R\$ 3000,00

Valor total aproximado: R\$ 19500,00

### 5.9 Tempo de retorno de investimento

Os cálculos aqui feitos serão baseados no valor atual da tarifa da Ampla para residências (R\$ 0,54/ kWh) e no valor aproximado de investimento (R\$ 19500,00). Como foi apresentado na simulação, a economia anual com esse sistema seria de R\$ 810,00. Será considerado que o sistema terá vida útil de 25 anos para fins de cálculos. O valores serão ajustados com o rendimento anual da poupança em 2012: aproximadamente 6% [Jornal O Globo, 2012]. Deixando-se de pagar R\$ 810 reais anuais, haveria uma poupança de R\$ 44.440,25 em 25 anos como pode ser visto na Tabela 3 que segue.

Tabela 3 – Cálculo de valor futuro com aporte mensal de R\$ 810,00 e rendimento de

6% ao ano por 25 anos – Fonte: autor

Ano	Quantidade de anos que o dinheiro renderia	Valor futuro em 2037 (R\$)
2013	24	3279,64
2014	23	3094,00
2015	22	2918,87
2016	21	2753,65
2017	20	2597,78
2018	19	2450,74
2019	18	2312,01
2020	17	2181,15
2021	16	2057,68
2022	15	1941,21
2023	14	1831,33
2024	13	1727,67
2025	12	1629,88
2026	11	1537,62
2027	10	1450,59
2028	9	1368,48
2029	8	1291,02
2030	7	1217,94
2031	6	1149,00
2032	5	1083,96
2033	4	1022,61
2034	3	964,72
2035	2	910,12
2036	1	858,60
2037	0	810,00
Total		44440,25

O investimento feito no sistema de 1,2 kWp – R\$ 19.500,00 – valeria, de acordo com o mesmo rendimento (6% ao ano), R\$ 83.691,48.

Comparando os dois valores, R\$ 44.440,25 e R\$ 83.691,48, chega-se a conclusão de que para essa potência instalada não haveria retorno financeiro.

Aumentando o consumo médio mensal na simulação de 250 kWh para 400 kWh, teria-se a seguinte proposta (Tabela 5):



Tabela 5 – Resultado da simulação 2 – Fonte: América do Sol

Capacidade do seu sistema (potência)	2,5 kWp
Área ocupada pelo seu sistema - módulos de silício policristalino	16 a 21 m <sup>2</sup>
Radiação sobre os módulos	35.979 kWh
Rendimento anual	1252 kWh/kWp
Emissões de CO <sub>2</sub> evitadas	912 kg/ano
<b>Consumo total anual</b>	
	4,80 MWh
Consumo da rede elétrica	1,67 MWh
Geração fotovoltaica	3,13 MWh
Economia anual devido ao sistema	R\$ 1690,00

Para esse sistema o valor do investimento segundo a mesma empresa seria de R\$ 26.000,00. Em 25 anos, considerando o mesmo raciocínio feito anteriormente, o valor futuro desse investimento seria R\$ 115.588,63 e o valor que seria poupado em relação ao consumo de energia elétrica, no total seria de R\$ 92721,03 (utilizando a mesma base de cálculo do sistema de 1,2 kWp).

Dessa forma, nota-se que ao aumentar a potência do sistema, o investimento vale cada vez mais a pena. No entanto deve-se observar a questão do espaço e tomar cuidado para não haver superdimensionamento do sistema, já que no Brasil ainda não é possível vender a energia elétrica que se produz.

## 6. Considerações finais

Baseado na análise dos capítulos anteriores e sabendo que o desenvolvimento sustentável deve atender as necessidades do homem sem esgotar os recursos naturais, incorporando aspectos sociais, econômicos e ecológicos, o cenário de microgeração de energia elétrica em residências através de painéis fotovoltaicos conectados à rede ainda não é totalmente favorável.

Isso porque, mesmo com a nova Resolução da Aneel (482/2012), não se mostrou economicamente viável para microgeração de 1,2 kWp e 2,5 kWp, mas pelo aspecto social e ecológico é uma boa opção porque o sistema não polui durante seu uso, reduz as emissões de CO<sub>2</sub>, reduz a dependência energética da sociedade face aos combustíveis fósseis, reduz as perdas por transmissão e distribuição de energia, assim como o investimento em linhas de transmissão e distribuição, entre outros. Deve-se levar em conta a satisfação do consumidor em gerar sua própria energia.

Ainda sobre a viabilidade financeira existe um cenário de incertezas porque a maior parte dos materiais e equipamentos é importada e a variação do dólar tem sido alta, no entanto há previsão de fabricação nacional para os próximos anos, o que reduziria bastante os custos. Outro ponto positivo é que o projeto elétrico e a regularização junto à concessionária tem a tendência de ficarem mais baratos. Acredita-se que o custo ainda é elevado por ser muito recente, requerendo assim mais pesquisa e trabalho.

Para garantir o sucesso desse sistema e torná-lo acessível a grande parte da população ainda serão necessários outros fatores além da Resolução 482/2012 da Aneel como subsídios do governo, políticas que incentivem o consumidor a buscá-lo, linhas de financiamento, incentivos fiscais, parcerias público-privadas, mobilização do setor de energia elétrica, entre outros. Apesar da ainda tímida mudança no Brasil, acredita-se

que, no futuro, ele possa se tornar um potencial consumidor desse sistema se incorporar essas mudanças, já que a energia solar é viável em praticamente todo território.

## Referências Bibliográficas

EGAN, John (Coord.). The Egan Review: skills for sustainable communities. London: Office of the Deputy Prime Minister (ODPM), April, 2004. 108p.

Instalação de sistema de produção de energia solar fotovoltaica para autoconsumo, Como Construir, Técnica, 2012. Disponível em:

<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/188/artigo273352-2.asp>>

Acesso em 18/05/2013

Painél solar fotovoltaico. Disponível em:

<<http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/271/202/>>.

Acesso em 24/07/2013.

Cartilha Educativa, Eletricidade Solar – Instituto Ideal, 2013; pg. 7

Tecnologias no mercado, America do Sol, 2013. Disponível em :

<<http://www.americadosol.org/tecnologias-no-mercado-3/>>.

Acesso em 14/05/2013.

Perguntas frequentes, Neosolar. Disponível em:

<<http://www.neosolar.com.br/aprenda/perguntas-frequentes#perg02>>

Acesso em 17/06/2013.

Borges, C.A., O significado de desempenho nas edificações. Disponível em:

<<http://revista.construcaomercado.com.br/negocios-incorporacao-construcao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nas-edificacoes-161144-1.asp>>.

Acesso em 13/05/2013.

Gibson, E.J., Coord., Working with the performance approach in building. Rotterdam. CIB W060. 1982 (CIB state of the Art Report n. 64)

Casa Eficiente, Condicionantes de projeto. Disponível em:

<<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=11>>

Acesso em 27/07/2013

Procel Edifica: edificações, Relatório de Resultados Procel, 2013 – ano base 2012

Selo Casa Azul – Boas Práticas para Habitação Mais Sustentável - Guia Caixa, 2010

Empreendimentos LEED - GBC Brasil. Disponível em:

<<http://www.gbcbrasil.org.br/?p=empreendimentos-leed>>

Acesso em: 28/07/2013

Solidificação de silício, IPT, 2012

Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=567](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=567)>

Acesso em 02/08/2013

Primeira fábrica de painéis fotovoltaicos do Brasil, Rotas Estratégicas, 2011.

Disponível em:

<<http://rotaenergia.wordpress.com/2011/12/16/primeira-fabrica-de-paineis-fotovoltaicos-do-brasil/>>

Acesso em 02/08/2013

Custos, América do Sol. Disponível em: <<http://www.americadosol.org/custos/>>

Acesso em 03/08/2013

Solar PV Industry, Renewable 2010 Global Status Report – REN21, 2010.

Disponível em:

<[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21\\_GSR\\_2010\\_full\\_revised%20Sept2010.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/activities/gsr/REN21_GSR_2010_full_revised%20Sept2010.pdf)>

Acesso em 24/07/2013

Energia Fotovoltaica, Satvez. Disponível em:

<[http://www.satvez.pt/web/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5&Itemid=9](http://www.satvez.pt/web/index.php?option=com_content&view=article&id=5&Itemid=9)>

Acesso em 04/08/2013

Compare Solar Panels Before You Buy, Whole Solar. Disponível em:

<[http://www.wholesolar.com/solar-panels.html#sharp\\_solar\\_panels](http://www.wholesolar.com/solar-panels.html#sharp_solar_panels)>

Acesso em 05/08/2013

Sistemas conectados à rede, Grupo de trabalho de energia solar, CEPEL - CRESESB  
2004

ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras,  
Aneel, 2012. Disponível em:

<[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5457&id\\_area=90](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5457&id_area=90)>

Acesso em 05/08/2013

Economia, Jornal O Globo, 2012. Disponível em:

<<http://oglobo.globo.com/economia/poupanca-fecha-2012-com-pior-rendimento-em-45-anos-7156230>>

Acesso em 17/08/2013