

**unesp** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

**FELIPE RAFAEL GOMIDES MOREIRA**

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS DA  
UNESP FEG - GUARATINGUETÁ

GUARATINGUETÁ

2012

Felipe Rafael Gomides Moreira

SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS DA  
UNESP FEG - GUARATINGUETÁ

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

GUARATINGUETÁ

2012

M83  
8s

Moreira, Felipe Rafael Gomides

Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica no Campus da Unesp  
feg – Guaratinguetá / Felipe Rafael Gomides Moreira – Guaratinguetá :  
[s.n], 2012.

67 f : il.

Bibliografia: f. 64-67

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade  
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012.

Orientador: Prof. Dr. Durval Luiz Silva Ricciulli

1. Energia solar I. Título

CDU 620.91

**SISTEMA FOTOVOLTAICO INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA NO CAMPUS DA  
UNESP FEG - GUARATINGUETÁ**

**FELIPE RAFAEL GOMIDES MOREIRA**

**ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO**  
**EM ENGENHARIA ELÉTRICA****

**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. DURVAL LUIZ SILVA RICCIULLI**  
Orientador/UNESP Guaratinguetá



**Prof. Dr. FERNANDO RIBEIRO FILADELFO**  
UNESP Guaratinguetá



**Eng. MARCELO HENRIQUE GOMIDES MOREIRA**  
Empresa ALSTOM

Dezembro de 2012

## **DEDICATÓRIA**

de modo especial aos meus pais, Clovis e Angela, que sempre me apoiaram nesta caminhada, aos meus irmãos, aos amigos, à minha segunda família República Palace II e à minha companheira Yasmine.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, fonte da vida e da graça, por ter me inserido em uma família maravilhosa, por me permitir viver intensamente e por ter me proporcionado inteligência e capacidade para trilhar este caminho.

Aos meus pais, Clovis e Angela, e meus irmãos, Marcelo e Michelle, que sempre incentivaram meus estudos e apoiaram minhas decisões para que eu pudesse aproveitar as oportunidades que surgiram em minha vida, mesmo que, para isso, precisassem enfrentar algumas dificuldades.

À minha companheira Yasmine, por todo o amor, carinho, dedicação e empenho nas horas em que tudo parecia impossível.

Ao professor Durval Luiz Silva Ricciulli por me dar a oportunidade de desenvolver este trabalho.

A todos da empresa Ambev, em Jacarei, que de uma forma ou de outra contribuíram nesta longa caminhada.

Aos meus amigos de Faculdade pelo companheirismo, motivação e união em todos os momentos.

Aos meus amigos de intercâmbio por toda a vivência, conhecimento e aprendizado adquiridos.

À minha segunda família, os irmãos da República Palace II, por toda a convivência e crescimento que me proporcionaram.

A todos que torceram e continuarão torcendo pelo meu sucesso nas diversas etapas da minha vida.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

MOREIRA, F. R G. **Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica no campus da UNESP FEG – Guaratinguetá..** 2012. 67 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica– Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

## **RESUMO**

A energia solar pode ser considerada a maior fonte de energia disponível na Terra e tem atraído, nas últimas décadas, a atenção e interesse para a sua utilização racional. O uso das fontes de energia de forma sustentável é imprescindível para a sobrevivência das próximas gerações, devido à escassez dos recursos naturais e sua exploração de forma desordenada. Os estudos relacionados às aplicações de fontes renováveis se tornam, então, pertinentes, dada a sua grande importância no que se diz respeito à utilização consciente dos recursos oferecidos pela natureza, obtendo o menor impacto possível sobre a mesma. O presente trabalho apresenta a avaliação do potencial de geração e a viabilidade de implantação de um sistema solar fotovoltaico interligado à rede elétrica e conectado às coberturas de algumas edificações da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG, para atender a demanda de consumo de energia elétrica do campus, bem como a tentativa de injetar uma possível geração de energia elétrica excedente na rede elétrica local, aumentando a capacidade da rede e reduzindo os picos de carga.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Solar. Energia Fotovoltaica. Sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica. Geração de energia.

MOREIRA, F. R. G. **Photovoltaic system interconnected to the grid in the campus of UNESP FEG – Guaratinguetá.** 2012. 67 f. Monograph (Graduation in Electrical Engineering)– Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

### **ABSTRACT**

Solar energy can be considered the largest source of energy available on earth and has attracted in recent decades, attention and interest for its rational use. The use of energy sources in a sustainable manner is essential to the survival of future generations, due to the scarcity of natural resources and their exploitation in a disorderly way. Studies related to the applications of renewable sources becomes then relevant, given its great importance as regards the conscious use of resources provided by nature, with the least possible impact on it. The present study presents an evaluation of generation potential and feasibility of implementing a solar photovoltaic connected to the grid and connected to the roofs of some buildings of the Faculty of Engineering of Guaratinguetá - FEG, to supply the demand of electric energy consumption on campus and attempting to inject a possible surplus power generation in local power grid, increasing network capacity and reducing peak loads.

**KEY-WORDS:** Solar Energy. Photovoltaics Energy. Photovoltaic System interconnected to the grid. Power Generation

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Oferta mundial de energia por fonte em 1975 .....                                                                                      | 18 |
| Figura 2 - Oferta mundial de energia no ano de 2007 .....                                                                                        | 18 |
| Figura 3- Matriz elétrica brasileira em 2011 .....                                                                                               | 19 |
| Figura 4- Matriz elétrica brasileira em 2010 .....                                                                                               | 19 |
| Figura 5 - Participação da energia renovável na matriz energética brasileira .....                                                               | 20 |
| Figura 6 - Mapa de Radiação solar no plano inclinado média anual.....                                                                            | 23 |
| Figura 7- Ilustração de uma célula fotovoltaica .....                                                                                            | 24 |
| Figura 8 - Conjunto de placas fotovoltaicas. ....                                                                                                | 25 |
| Figura 9 - Módulo de silício policristalino à esquerda (Kyocera®) e silício monocristalino à direita (LG®). ....                                 | 26 |
| Figura 10 - Classificação dos sistemas fotovoltaicos .....                                                                                       | 26 |
| Figura 11- Modelo de um sistema autônomo .....                                                                                                   | 27 |
| Figura 12 - Modelo de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica local. ....                                                            | 28 |
| Figura 13 - Vista aérea da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. ....                                                                        | 32 |
| Figura 14 - Divisão de área construída da Faculdade.....                                                                                         | 33 |
| Figura 15 – Fachadas dos prédios: A – Blocos I, II, III e IV. B – Biblioteca. C – Moradia. D – Civil Cotec. E – Mecânica Cotec. F – Ginásio..... | 33 |
| Figura 16–Temperatura média mínima e máxima de cada mês do ano. ....                                                                             | 36 |
| Figura 17 - Gráfico de valores de irradiação solar para a cidade de Guaratinguetá. ....                                                          | 37 |
| Figura 18- Consumo mensal da FEG no ano de 2011.....                                                                                             | 45 |
| Figura 19 - Consumo médio diário para os meses de 2011.....                                                                                      | 45 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Características técnicas dos modelos escolhidos.....                              | 38 |
| Tabela 2 - Ajuste da eficiência dos módulos fotovoltaicos. ....                              | 39 |
| Tabela 3 - Ângulo de inclinação x $G_{POA}$ .....                                            | 39 |
| Tabela 4 - Consumo de energia elétrica da FEG no ano de 2011. ....                           | 44 |
| Tabela 5 - Área disponível de cobertura dos prédios .....                                    | 46 |
| Tabela 6 - Irradiação média diária em kWh/m <sup>2</sup> .....                               | 47 |
| Tabela 7 - Quantidade de módulos necessários para cada tecnologia fotovoltaica.....          | 47 |
| Tabela 8 - Porcentagem de área disponível ocupada pelos módulos. ....                        | 48 |
| Tabela 9 - Potência em kWp gerada pelos Blocos I,II e III.....                               | 49 |
| Tabela 10 - Potência em kWp gerada pelo Bloco IV. ....                                       | 49 |
| Tabela 11 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Biblioteca.....                            | 49 |
| Tabela 12 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Civil. ....                                | 50 |
| Tabela 13 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Mecânica Cotec. ....                       | 50 |
| Tabela 14 - Potência em kWp gerada pelo Ginásio.....                                         | 51 |
| Tabela 15 - Potência total gerada pelo modelo de p-Si .....                                  | 51 |
| Tabela 16 - Total de energia gerada mês a mês pelo sistema.....                              | 52 |
| Tabela 17 - Geração excedente de energia elétrica. ....                                      | 53 |
| Tabela 18 - Custo do projeto para cada tecnologia fotovoltaica estudada. ....                | 54 |
| Tabela 19 - Receita anual da geração fotovoltaica para o sistema <i>net-metering</i> .....   | 54 |
| Tabela 20 - Saldo devedor para a tecnologia c-Si para o modelo <i>net-metering</i> .....     | 55 |
| Tabela 21 - Saldo devedor para a tecnologia p-Si para o modelo <i>net-metering</i> .....     | 56 |
| Tabela 22 - Receita anual da geração fotovoltaica para o sistema <i>feed-in tariff</i> ..... | 57 |
| Tabela 23 - Saldo devedor para a tecnologia c-Si para o modelo <i>feed-in tariff</i> . ....  | 58 |
| Tabela 24 - Saldo devedor para a tecnologia p-Si para o modelo <i>feed-in tariff</i> .....   | 59 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas  
**ANEEL** - Agência Nacional de Energia Elétrica  
**a-Si** - Silício - amorfo  
**BEN** - Balanço Energético Nacional  
**c-Si** - Silício monocristalino  
**CEFET- MG** - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais  
**CRESESB** - Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica no Brasil  
**EPE** - Empresa de Pesquisa Energética  
**E<sub>G</sub>** - Energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico  
**G<sub>POA</sub>** – Ganho por Radiação Solar  
**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
**IEA** - *International Energy Agency*  
**kV** - Quilo Volt  
**kWh** - Quilo Watt hora  
**kWp** - Quilo Watt pico  
**MME** - Ministério de Minas e Energia  
**OCDE** Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico  
**P<sub>CC</sub>** – Potência em corrente contínua  
**PNE** - Plano Nacional de Energia  
**PROINFA** - Fontes Alternativas de Energia Elétrica  
**p-Si** - Silício policristalino  
**SWERA** - *Solar and Wind - Energy Resources Assessment*  
**TIR** - Taxa Interna de Retorno  
**UFRGS** - Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
**UFSC** - Universidade Federal de Santa Catarina  
**Wp** - Watt pico

## SUMÁRIO

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                             | <b>14</b> |
| 1.1 Objetivos.....                                                                    | 15        |
| 1.2 Estrutura do trabalho .....                                                       | 16        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                                  | <b>17</b> |
| 2.1 Cenário energético no mundo.....                                                  | 17        |
| 2.2 Cenário energético no Brasil .....                                                | 18        |
| 2.3 Impactos sociais e ambientais.....                                                | 21        |
| 2.4 Energia solar .....                                                               | 22        |
| 2.5 Tecnologias fotovoltaicas mais utilizadas .....                                   | 24        |
| 2.5.1 Silício monocristalino (c-Si) e silício policristalino (p-Si) .....             | 25        |
| 2.6 Sistemas de conversão fotovoltaica .....                                          | 26        |
| 2.6.1 Sistemas autônomos.....                                                         | 27        |
| 2.6.2 Sistemas interligados à rede elétrica.....                                      | 27        |
| 2.7 Sistemas tarifários .....                                                         | 29        |
| 2.7.1 Sistema tarifário brasileiro .....                                              | 29        |
| 2.7.2 Sistema <i>Net metering</i> .....                                               | 30        |
| 2.7.3 Sistema <i>Feed-in tariff</i> .....                                             | 30        |
| <b>3 METODOLOGIA.....</b>                                                             | <b>31</b> |
| 3.1 Introdução .....                                                                  | 31        |
| 3.2 Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG.....                     | 31        |
| 3.3 Coleta e levantamento dos dados .....                                             | 34        |
| 3.3.1 Consumo de energia dos prédios.....                                             | 35        |
| 3.3.2 Áreas dos prédios utilizadas .....                                              | 35        |
| 3.4 Características climáticas da cidade de Guaratinguetá.....                        | 36        |
| 3.5 Inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos.....                            | 37        |
| 3.6 Tecnologias fotovoltaicas utilizadas .....                                        | 37        |
| 3.7 Geração fotovoltaica do sistema hipotético .....                                  | 39        |
| 3.8 Viabilidade econômica do sistema.....                                             | 41        |
| <b>4 RESULTADOS .....</b>                                                             | <b>43</b> |
| 4.1 Introdução .....                                                                  | 43        |
| 4.2. Sistema fotovoltaico para suprir 100% do consumo de energia elétrica do campus   | 43        |
| 4.2.1 Estudo do consumo de energia elétrica da instituição. ....                      | 43        |
| 4.2.2 Área de cobertura dos prédios .....                                             | 46        |
| 4.2.3 Cálculo da energia fotovoltaica gerada. ....                                    | 46        |
| 4.3 Simulação do sistema fotovoltaico aproveitando toda a área útil dos prédios. .... | 48        |

|                                                                                                       |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.3.1 Avaliação da geração fotovoltaica considerando 100% da área disponível dos prédios. ....</b> | <b>48</b> |
| <b>4.3.1.1 Análise dos Blocos I, II e III. ....</b>                                                   | <b>48</b> |
| <b>4.3.2 Cálculo da energia fotovoltaica gerada. ....</b>                                             | <b>52</b> |
| <b>4.3.3 Avaliação da viabilidade econômica do sistema proposto. ....</b>                             | <b>53</b> |
| <b>4.3.4 Comparação dos resultados com trabalhos realizados anteriormente.....</b>                    | <b>60</b> |
| <b>5 CONCLUSÕES.....</b>                                                                              | <b>61</b> |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                                                                              | <b>64</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

O mundo contemporâneo possui uma grande necessidade de explorar novas tecnologias utilizando-se de fontes de energia renováveis, pois existe um grande desafio de atender ao crescimento acelerado do consumo global de energia sem por em risco o meio ambiente.

Existem muitas formas de geração de energia elétrica, porém as formas não renováveis são as mais utilizadas hoje em dia, sendo de suma importância os estudos relacionados à geração distribuída<sup>1</sup> por meio de soluções em que se utilizem os meios renováveis, de modo a representarem um aumento na flexibilidade e na capacidade de expansão do setor energético nacional.

Segundo Salamoni (2004), uma das tecnologias renováveis mais promissoras e recentes de geração de energia é a geração solar fotovoltaica, que vem sendo cada vez mais utilizada pelos países industrializados. Ela parte do princípio de ser uma fonte silenciosa, estática, não poluente e sem nenhuma depleção de materiais, que converte diretamente a energia do sol em energia elétrica. Em alguns países europeus, como a Alemanha, esses sistemas já estão em utilização há cerca de 30 anos, apresentando durabilidade e confiabilidade de geração (SANTOS 2009).

A maior parte da energia produzida no mundo é perdida devido à baixa eficiência dos equipamentos que a consomem. Pode-se citar que dez por cento de toda energia elétrica do mundo é perdida somente nos sistemas de distribuição e transmissão (IEA, 2006).

Recentemente, os sistemas solares fotovoltaicos têm sido utilizados de forma integrada à rede elétrica pública. O sistema integrado junto ao ponto de consumo se apoia na rede, auxiliando na redução do pico de demanda, diminuindo a dependência das fontes convencionais de energia. Além disto, dado o caráter complementar da geração hidrelétrica e solar, a geração solar em grande escala poderia contribuir significativamente para melhor balancear a grande dependência do setor elétrico brasileiro em uma fonte geradora dominante e sazonal como é a geração hidrelétrica.

Normalmente, os sistemas e arranjos fotovoltaicos são instalados nos telhados e nas coberturas das edificações, mas podem funcionar como elemento arquitetônico na cobertura

<sup>1</sup>Geração distribuída é uma expressão usada para designar a geração elétrica realizada junto ou próxima do consumidor independente da potência, tecnologia e fonte de energia.

de paredes, fachadas ou janelas; podendo servir como substituição de vidros, mármore ou outros elementos decorativos, diminuindo, assim, o custo final da instalação.

Segundo Salamoni (2004), os painéis fotovoltaicos interligados à rede elétrica local podem ser integrados a qualquer edificação, tendo como único requisito uma orientação solar favorável, sendo que a orientação ideal são as superfícies voltadas para o norte geográfico, no hemisfério sul, pois permitem uma maior captação da energia gerada pelo sol.

No Brasil, há uma legislação em vigor que rege a produção, transmissão e distribuição da energia elétrica oriunda de sistemas solares fotovoltaicos integrados à edificação urbana e interligados a rede elétrica convencional. O registro de implementação, ampliação ou repotenciação de centrais geradoras termelétricas, eólicas, fotovoltaicas e de outras fontes alternativas de energia, com potência igual ou inferior a 5000 kW, deverá ser solicitado a ANEEL mediante requerimento, acompanhado de ficha técnica preenchida. (ANEEL, 1999).

Políticas tarifárias que concedem preços diferenciados à energia de origem fotovoltaica que é entregue à rede e que oferecem subsídios financeiros para o uso desta tecnologia foram concebidas em países como o Japão, a Alemanha e os EUA, em que este sistema já é empregado (RODRIGUEZ, 2002).

Porém, no Brasil ainda não há um sistema tarifário que contemple e incentive o uso de quaisquer tecnologias utilizando combustíveis renováveis, o que torna o custo de sua implantação elevado.

Portanto, faz-se necessário rever alguns conceitos dos pontos de vista técnico, comercial e de regulamentação para que sejam colocadas em prática as buscas pelos ganhos ambientais, sustentáveis e renováveis de se ter a instalação de um sistema de geração próximo aos locais de consumo sem as perdas oriundas da geração de energia elétrica convencional (TAKENAKA, 2010).

## **1.1 Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é aplicar uma metodologia visando demonstrar a contribuição energética que um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica local, objeto deste estudo de caso, teria no fornecimento de energia elétrica ao campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, bem como indicar a viabilidade econômica na implantação do sistema nas coberturas de algumas edificações da Faculdade.

A ideia principal é realizar simulações que visem a geração de energia em uma quantidade suficiente para abastecer todo o consumo da Faculdade e, posteriormente, entregar toda a produção excedente à rede elétrica local, para que tal sobra seja negociada junto à concessionária que faz a distribuição de energia na cidade de Guaratinguetá.

Ainda, tem-se o propósito de se difundir a utilização de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, contribuindo para a diversificação da matriz energética nacional.

## **1.2 Estrutura do trabalho**

O trabalho de graduação está estruturado em cinco capítulos, os quais detalham a seqüência da pesquisa realizada.

O primeiro capítulo traz uma breve introdução do tema pesquisado, apresenta o objeto e as justificativas de estudo.

A revisão bibliográfica, no segundo capítulo, abrange e focaliza, dentro de um universo amplo de informação e referências bibliográficas de diferentes pesquisadores, os assuntos mais pertinentes ao campo do estudo proposto.

O terceiro capítulo apresenta uma descrição detalhada da metodologia a ser utilizada na avaliação da geração de energia solar fotovoltaica e destaca os procedimentos necessários para atingir os objetivos.

No quarto capítulo são expostos os resultados obtidos e apresentadas as discussões sobre os mesmos.

Finalmente, as conclusões são apresentadas no quinto capítulo, assim como as sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Cenário energético no mundo

Segundo Salamoni (2004), a demanda mundial de energia vem crescendo continuamente e isto acontece porque as populações e suas necessidades vêm crescendo e mais indústrias, serviços e empregos são gerados. Ainda, uma parcela desta demanda é gerada pelo desperdício de energia. Com base nisso, os países estão buscando estratégias que aumentem, cada vez mais, a eficiência energética das concessionárias.

O crescente consumo de energia elétrica na atualidade impulsiona o desenvolvimento de diferentes formas de aproveitamento energético ao redor do mundo. Tal demanda por eletricidade vem sendo suprida, em sua maior parte, por fontes fósseis de energia, que além de serem finitas, acabam por degradar o meio ambiente.

Segundo Reis et al.(2005), as fontes de energias não renováveis são aquelas passíveis de esgotamento por serem utilizadas em velocidade acima do período necessário para sua acumulação na natureza. Podem-se citar os derivados de petróleo, o carvão, o gás natural, entre outros. Ainda, essas fontes de energia também são as responsáveis pela degradação ambiental causada nas suas extrações e, também, pelos problemas ambientais gerados em sua utilização. Já as energias renováveis são aquelas que tem renovação dentro da escala de tempo humana, destacando-se a energia solar, eólica, hidrelétrica, biomassa e geotérmica (SANTOS, 2009).

A principal questão para o uso das energias renováveis é a diminuição da emissão dos gases responsáveis pelo efeito estufa, mas sem um mecanismo que taxe essas emissões não há como guiar o mercado energético (BP, 2007).

Segundo Santos (2009), como as fontes de energias renováveis ainda possuem um custo elevado em comparação com as fontes convencionais, as taxas sobre a poluição dos combustíveis fósseis criariam um patamar de preço onde ambas as fontes seriam competitivas.

Constata-se que de 1975 a 2007 houve uma modificação na partição energética, no que se diz respeito ao aumento, particularmente, na oferta de energética nuclear, passando de 0,9% para 5,9% do total, assim como a oferta do gás natural que passou de 16% para 20,9%, contrapondo a desaceleração da oferta do petróleo de 46,1% para 34% e da energia oriunda de fontes renováveis de 10,6% para 9,8% (MME, 2009). A Figura 1 apresenta o gráfico da

distribuição da oferta mundial no ano de 1975, enquanto que a Figura 2 mostra a distribuição da oferta mundial no ano de 2007.

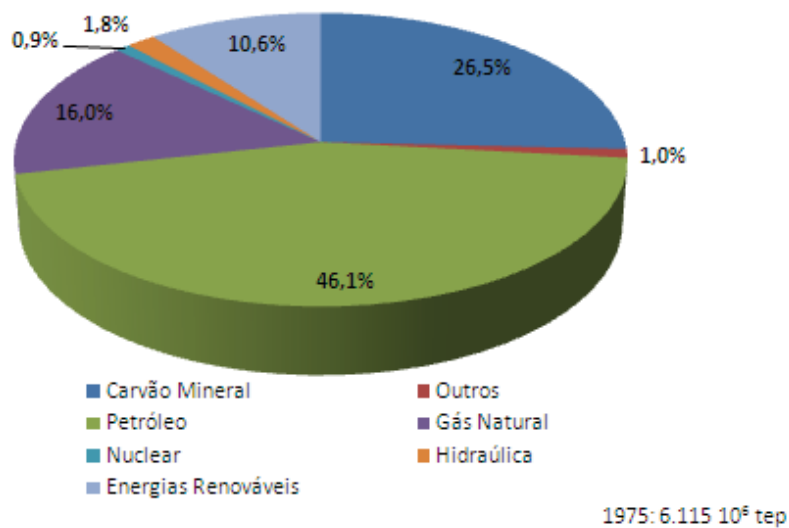


Figura 1- Oferta mundial de energia por fonte em 1975 (MME, 2009)

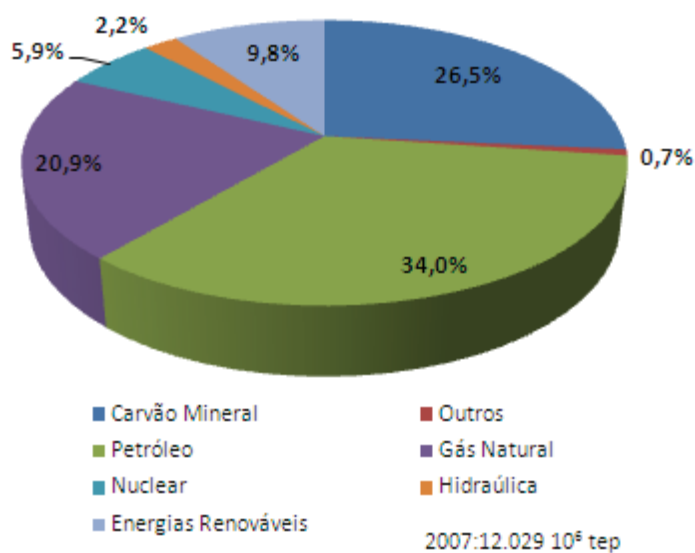


Figura 2 - Oferta mundial de energia no ano de 2007 (MME, 2009)

## 2.2 Cenário energético no Brasil

Ao longo das últimas décadas o Brasil apresentou um considerável desenvolvimento econômico que se refletiu no aumento da demanda de energia, seguindo os processos de

industrialização e uma notável expansão demográfica, juntamente com uma taxa de urbanização acelerada (TAKENAKA, 2010).

O Brasil é um país cuja matriz energética possui um grande percentual de fontes de energia renováveis, sendo que sua participação na produção de eletricidade se ampliou em 2,5 pontos percentuais em 2011, atingindo 88,8%, ou seja, 467 TWh, contra 439 TWh no ano de 2010. Ainda, o ano de 2011 apresentou condições hidrológicas muito favoráveis, o que assegurou um crescimento de 6,1% na produção hidroelétrica (BEN, 2012). Contudo, a diversificação da matriz energética brasileira é baixa, dando pouco espaço para as energias alternativas, como mostram a Figura 3 e a Figura 4.

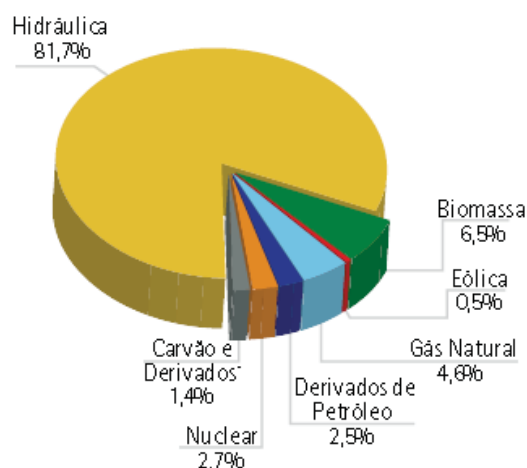


Figura 3- Matriz elétrica brasileira em 2011 (BEN, 2012)

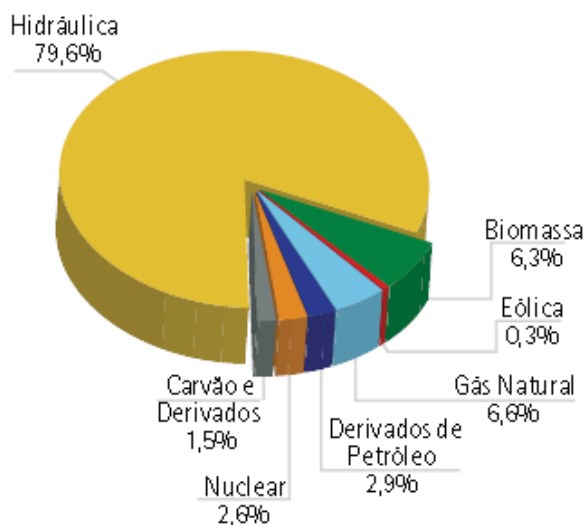


Figura 4- Matriz elétrica brasileira em 2010 (BEN, 2012)

Em 2011, a participação de renováveis na Matriz Energética brasileira se manteve entre as mais elevadas do mundo, com uma pequena redução devido à menor oferta do etanol, conforme mostra a Figura 5 (BEN, 2012).

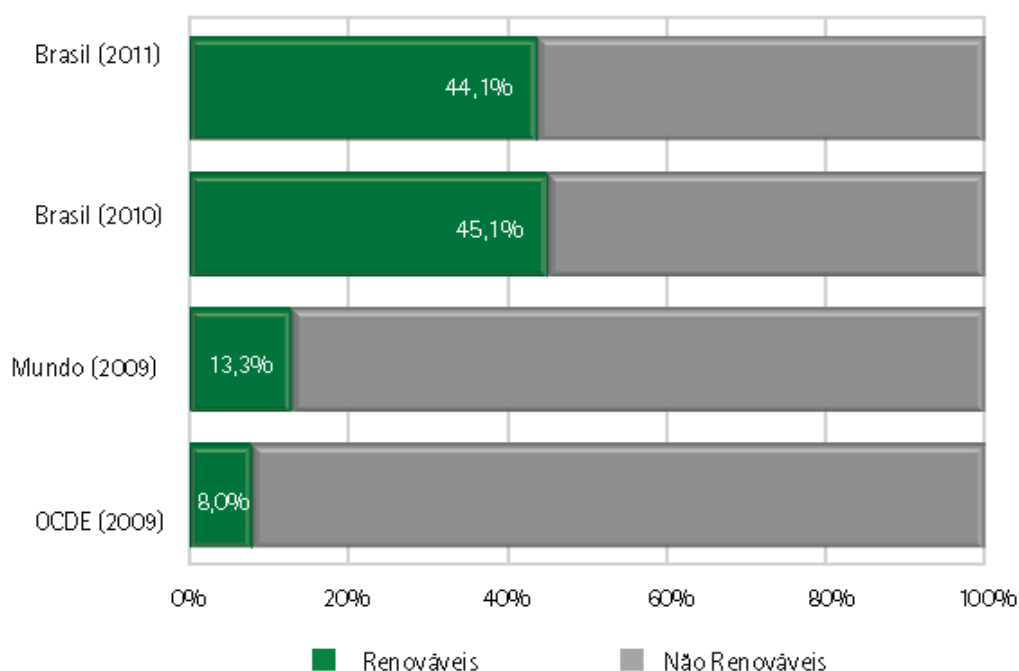


Figura 5 - Participação da energia renovável na matriz energética brasileira (BEN, 2012)

O Brasil possui um dos mais elevados índices mundiais de disponibilidade de energia solar, por ser localizado numa faixa de latitude na qual a incidência de radiação solar é muito superior à verificada em países desenvolvidos da Europa, Estados Unidos e Japão, onde já existem programas para utilização direta da energia solar. (SALAMONI et al., 2004).

No Brasil, os sistemas conectados à rede elétrica estão atualmente sendo bastante estudados por serem instalações que convertem energia produzida por um meio renovável em energia elétrica e também por apoiarem o sistema interligado no atendimento da carga em momentos diurnos de alta demanda. Porém, a sua ampla implementação esbarra em conceitos técnicos, de regulamentação e econômicos e, por isso, sua construção tem sido realizada apenas em centros de pesquisas e Faculdades, onde há um comprometimento com a proteção ambiental e com a economia dos recursos naturais, visando uma melhoria na qualidade de vida atual e futura.

## 2.3 Impactos sociais e ambientais

Segundo Takenaka (2010), desde a Revolução Industrial há um crescimento rápido e mal planejado da produção e do consumo energético que gerou impactos ambientais e sociais consideráveis. Ainda segundo a autora, os maiores impactos gerados são o aquecimento global, o efeito estufa, a destruição da camada de ozônio, a chuva ácida e as mudanças climáticas.

Segundo o Relatório do Brasil para conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (1991), constatou-se que houve um aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera de 25% com relação à era pré-industrial.

A matriz energética brasileira mostra que a grande maioria da energia elétrica é oriunda de usinas hidrelétricas. Então, a contribuição do país para o efeito estufa é proveniente do desmatamento e da utilização dos derivados de petróleo, indicando que o consumo de energia elétrica traz, de certa forma, algum tipo de dano ambiental, principalmente na sua exploração (SALAMONI, 2004).

Ainda, para a construção de uma usina hidrelétrica é necessário acumular a água de um rio construindo uma barragem que formará um reservatório. Quando se constrói uma barragem inundam-se áreas extensas que destroem florestas localizadas e um ecossistema constituído de animais e plantas. Muitas árvores são derrubadas ou submersas e vários animais silvestres morrem, por não haver a possibilidade de resgatá-los. As inundações produzidas alteram o ambiente e com isso prejudicam muitas espécies de seres vivos interferindo, por exemplo, na migração e reprodução de peixes por causa da alteração do funcionamento dos rios, o que reflete diretamente no equilíbrio da natureza.

Problemas sociais são criados, pois cidades podem ser inundadas destruindo a história de uma comunidade que viveu naquele local. As famílias geralmente são indenizadas e transferidas para outro lugar, causando transtorno para a vida das pessoas. Outro problema é o risco de rompimento de barragens podendo causar sérias inundações. Em suma, esse acaba sendo o preço que a sociedade pode vir a pagar para ter os benefícios que a energia elétrica proporciona.

Os sistemas solares fotovoltaicos integrados à edificação e interligados à rede elétrica estariam auxiliando na redução deste grande impacto ambiental, causado pela devastação de áreas para a implementação de grandes obras de geração de energia. (SALAMONI, 2004).

Segundo estudos de Hamakawa (2002), alguns países desenvolvidos tem demonstrado que, em longo prazo, a prevenção da poluição através da diminuição de resíduos e de uma

produção com tecnologias mais limpas e eficientes, é mais sensata, tanto na relação custo benefício, como também para o próprio meio ambiente, se comparado com tecnologias tradicionais.

Isto apenas comprova que há a necessidade em se criar incentivos e estímulos por parte do governo brasileiro com relação ao uso de fontes renováveis para a produção de energia elétrica, de modo que o meio ambiente e a população não sofram mudanças nocivas futuramente.

## **2.4 Energia solar**

Segundo Rütther (2004) a Terra recebe anualmente  $1,5 \times 10^{18}$  kWh de energia solar, o que corresponde a 10.000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outras formas de energia (térmica, elétrica, etc.).

A energia solar é uma forma limpa de geração de energia que vem nos últimos anos ganhando muito espaço na mídia e ciência, devido a sua ampla possibilidade de uso e, principalmente, abundância, proporcionando grande potencial a ser explorado.

No entanto, o Brasil apresenta um alto índice de geração de energia proveniente de usinas hidrelétricas e, por isso, a energia solar não tem muito destaque nas implantações nacionais, apesar de ser um local extremamente favorável para o seu desenvolvimento, devido a sua posição geográfica, seu relevo, sua área e localização que contribuem para um alto grau de incidência solar. (ABE, 2011).

O grande inconveniente dessa forma de energia é o alto preço de implantação, que a torna inacessível em certos momentos, mas atualmente novas formas de se baratear o seu custo estão sendo pesquisadas e desenvolvidas.

Através das pesquisas do Projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) (PEREIRA et al., 2006) têm-se os mapas solarimétricos do país, indicado na Figura 6. Este mapa apresenta os valores médios da estimativa do total diário de irradiação solar anual, que atingem um corpo em inclinação igual à latitude do local estudado (SANTOS 2009).

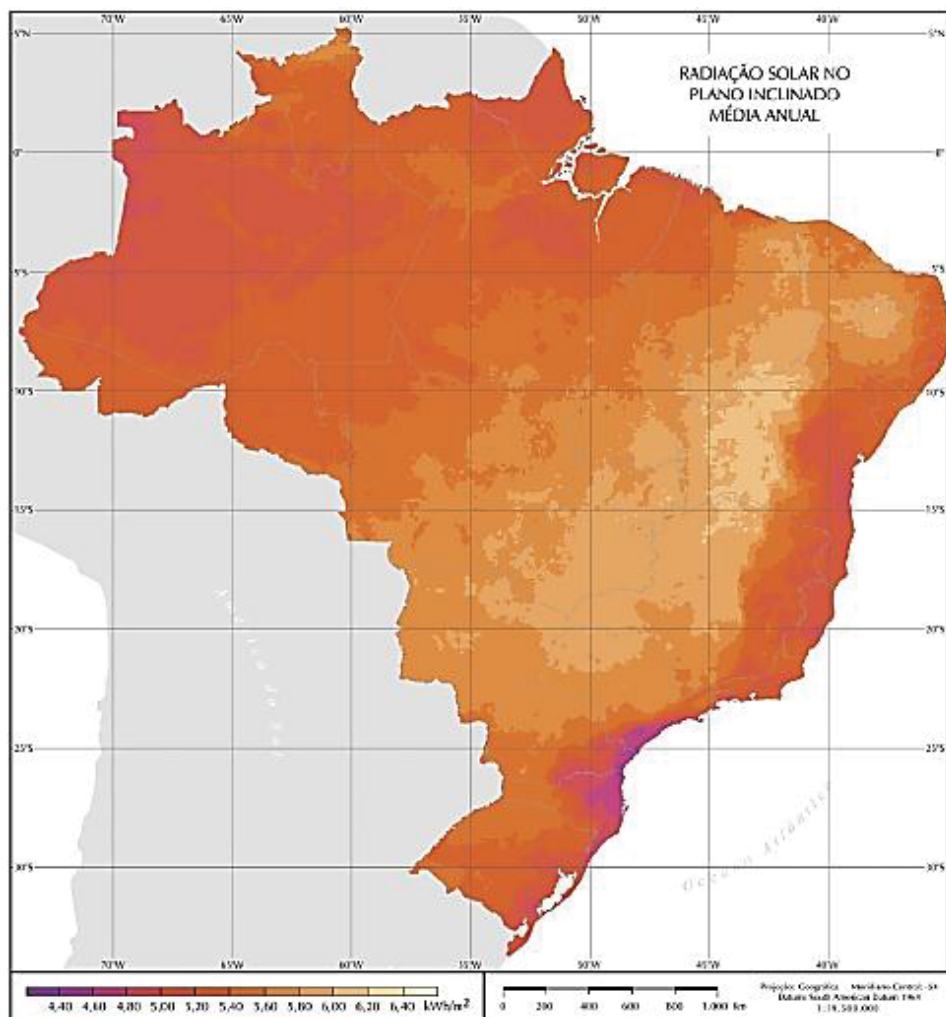


Figura 6 - Mapa de Radiação solar no plano inclinado média anual (PEREIRA et al., 2006)

A partir deste mapa, pode-se observar que para Guaratinguetá, cidade objeto deste estudo, a média de irradiação é cerca de  $5,5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  a  $22^\circ$  de inclinação. Isto indica que os trabalhos propostos nesse local teriam um excelente desempenho, pois os níveis de irradiação no local são considerados satisfatórios e favorecem a utilização da tecnologia solar de geração de energia limpa e renovável.

A geração fotovoltaica representa uma solução sustentável, uma vez que o material ativo na maioria dos módulos é o silício que, conforme Hammond (1998), é o segundo elemento mais abundante na superfície terrestre.

A energia solar fotovoltaica é obtida a partir do efeito fotovoltaico que se dá pela interação da radiação solar com um material semicondutor, ocorrendo a liberação e movimentação de elétrons por este material, causando uma diferença de potencial

(BECQUEREL, 1839). Ainda, segundo R  ther (2004)   uma energia obtida de maneira est tica e silenciosa, pois não existem quaisquer movimentac es mecânicas, necessitando, portanto, manuten es mínimas.

## 2.5 Tecnologias fotovoltaicas mais utilizadas

Normalmente, as células fotovoltaicas, também chamadas de células solares, apresentam rendimento médio de 16%. Mas existem células fabricadas com arseniato de gálio que podem chegar a rendimentos de até 28% e que, devido ao seu alto custo, são utilizadas somente em aplica es espaciais. (ABE, 2011)

A primeira gera o de células fotovoltaicas foi produzida a partir de silício cristalino. Tais células consistem de uma lâmina de silício, na qual   formada uma jun o p-n diodo, capaz de gerar energia elétrica captada pela luz solar. Essa gera o constitui a tecnologia dominante no mercado de energia solar, representando 80% do mercado de células fotovoltaicas (MAYCOCK, 2003).

Atualmente, existem células solares baseadas em filmes finos de semicondutores que possuem pior rendimento quando comparadas as células de silício cristalino. Porém, o seu custo   muito menor, sendo assim, viável de certa forma. A Figura 7 ilustra as partes de uma célula fotovoltaica.

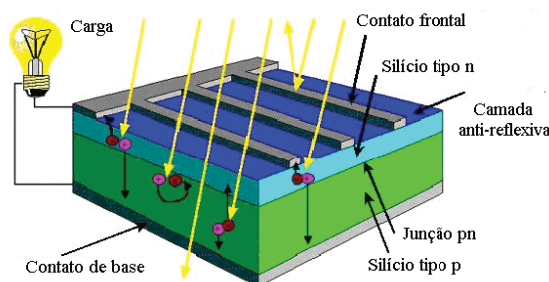


Figura 7- Ilustra o de uma célula fotovoltaica (CRESESB, 2006)

A Figura 8 apresenta um conjunto de células fotovoltaicas, denominadas placa fotovoltaica e, em sua grande maioria, são instaladas em residências, comércios e na área rural.



Figura 8 - Conjunto de placas fotovoltaicas.

Com o crescimento do mercado fotovoltaico no mundo, há uma grande necessidade em se utilizar matérias que atendam às exigências físicas e estruturais das instalações, apresentando formas e tamanhos adequados para a montagem e estética alinhada a um alto padrão de qualidade e confiabilidade, de modo que haja benefícios aos usuários, ao sistema elétrico, ao meio ambiente e à sociedade (PHOTON INTERNACIONAL, 2006).

Algumas vantagens de se utilizar a energia solar fotovoltaica são o baixo custo de manutenção das placas, os painéis solares estão cada vez mais eficientes e mais baratos, tornando-os uma opção economicamente viável. Em países tropicais como o Brasil, a utilização de energia solar é possível em praticamente todo o seu território e em locais longe do centro de produção energética, ajudando a diminuir a demanda nestes.

Em contrapartida, algumas desvantagens indicam que o painel solar exige muita energia para ser fabricado, os preços são elevados se comparados a outras formas de produção de energia e a fonte de energia é extremamente dependente do clima.

### **2.5.1 Silício monocristalino (c-Si) e silício policristalino (p-Si)**

Segundo Rüther (2004), as células de silício monocristalino (c-Si) passam por um processo no qual o monocristal é crescido a partir de um banho de silício de alta pureza (99,99%) em reatores sob atmosfera controlada e com velocidades de crescimento do cristal extremamente lentas. Após esta etapa, o silício é dopado com impurezas do tipo p e tipo n e conectado em série para a obtenção do módulo fotovoltaico. A sua eficiência é da ordem de 15%.

As células de silício policristalino são produzidas por fusão de porções de silício puro em moldes especiais, que são resfriados lentamente até se solidificarem. Neste processo, os átomos não se organizam em um único cristal, mas formam uma estrutura cristalina com superfícies de separação entre os cristais e sua eficiência, em células comerciais é da ordem de 13% (RAMPINELLI, 2007).

A Figura 9 ilustra painéis fabricados com silício monocristalino e com silício policristalino.

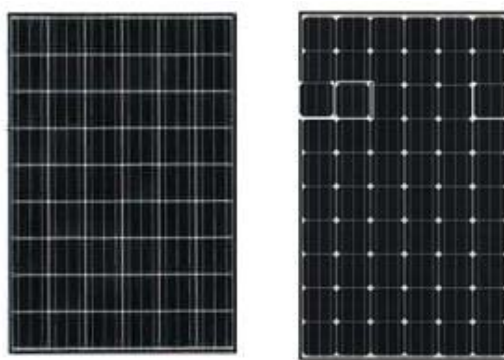


Figura 9 - Módulo de silício policristalino à esquerda (Kyocera®) e silício monocristalino à direita (LG®).

## 2.6 Sistemas de conversão fotovoltaica

Os sistemas fotovoltaicos se dividem, basicamente, em dois grandes grupos: os sistemas autônomos e os sistemas conectados à rede elétrica. A Figura 10 ilustra a classificação dos sistemas de acordo com o tipo de conexão.

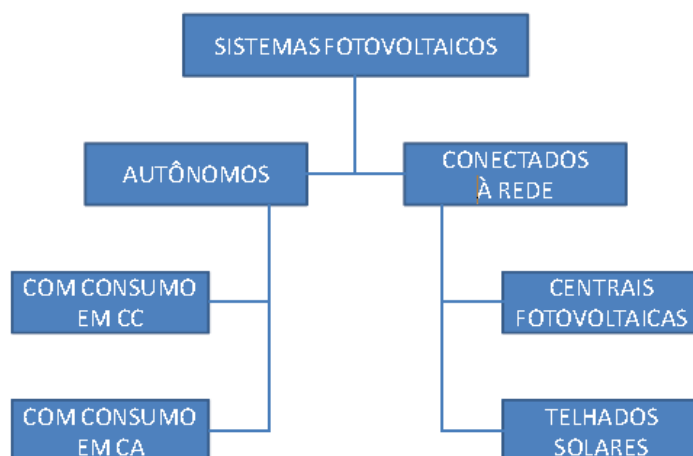


Figura 10 - Classificação dos sistemas fotovoltaicos (PRIEB, 2011).

### 2.6.1 Sistemas autônomos

Os sistemas autônomos são caracterizados pela necessidade de um acumulador de energia, normalmente banco de baterias, no qual a energia gerada pelos módulos é armazenada e distribuída para os pontos de consumo (RÜTHER, 2004).

O sistema de acumulação de energia é o grande responsável pelo alto custo da instalação, representando cerca de 30% do investimento total. Geralmente, a instalação elétrica isolada é usada em sistemas em corrente contínua. Caso o sistema opere em corrente alternada, é necessária a utilização de um inversor CC/CA, como mostra a Figura 11 (TAKENAKA, 2010).

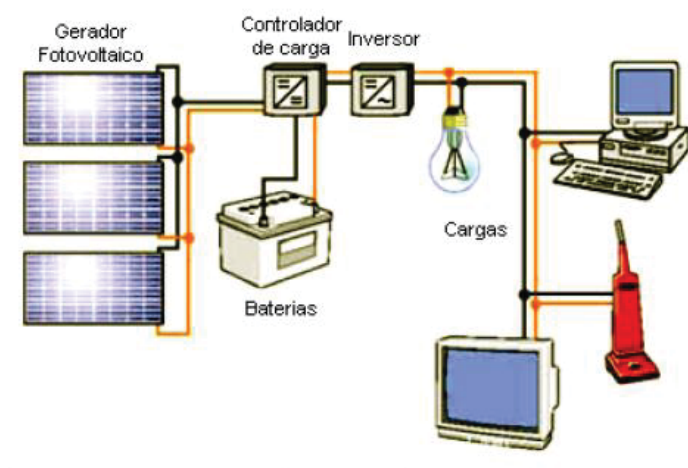


Figura 11- Modelo de um sistema autônomo (PRIEB, 2011).

### 2.6.2 Sistemas interligados à rede elétrica

Os sistemas interligados à rede elétrica dispensam o uso de acumuladores (banco de baterias), pois atuam como usinas geradoras de energia elétrica em paralelo às grandes centrais geradoras. Podem ser integrados à edificação, substituindo ou se sobrepondo a elementos de revestimento e próximos ao ponto de consumo; ou do tipo central fotovoltaica, sendo esta, distante tipicamente do ponto de consumo (SANTOS 2009).

Segundo Rütther (2004), tais sistemas passam a serem produtores independentes de energia e quando houver consumo de energia elétrica no horário de geração esta é utilizada, podendo ainda criar um excedente a ser repassado à rede se a oferta de energia for maior do

que a demanda. Quando não houver geração de energia fotovoltaica, como por exemplo à noite, a rede é responsável por suprir os usos finais da edificação.

Um sistema fotovoltaico interligado à rede é composto, basicamente, de um gerador fotovoltaico, que transforma a energia solar em energia elétrica, um conversor CC/CA, que é responsável por transformar em corrente alternada a eletricidade produzida em corrente contínua pelo gerador, e componentes complementares como cabos e conectores, além de um sistema de controle muito preciso para garantir a qualidade da energia entregue e desconectar a instalação em caso de falhas, evitando, assim, a possibilidade da equipe de manutenção da concessionária sofrer uma descarga elétrica.

A Figura 12 apresenta um modelo solar fotovoltaico sobreposto à cobertura de uma edificação interligada à rede elétrica. O relógio 1 mede a energia gerada pelo sistema solar fotovoltaico; enquanto que o relógio medidor 2 mede a energia gerada pelo sistema solar que é disponibilizada à rede elétrica e o relógio medidor 3 mede a energia recebida da rede elétrica.

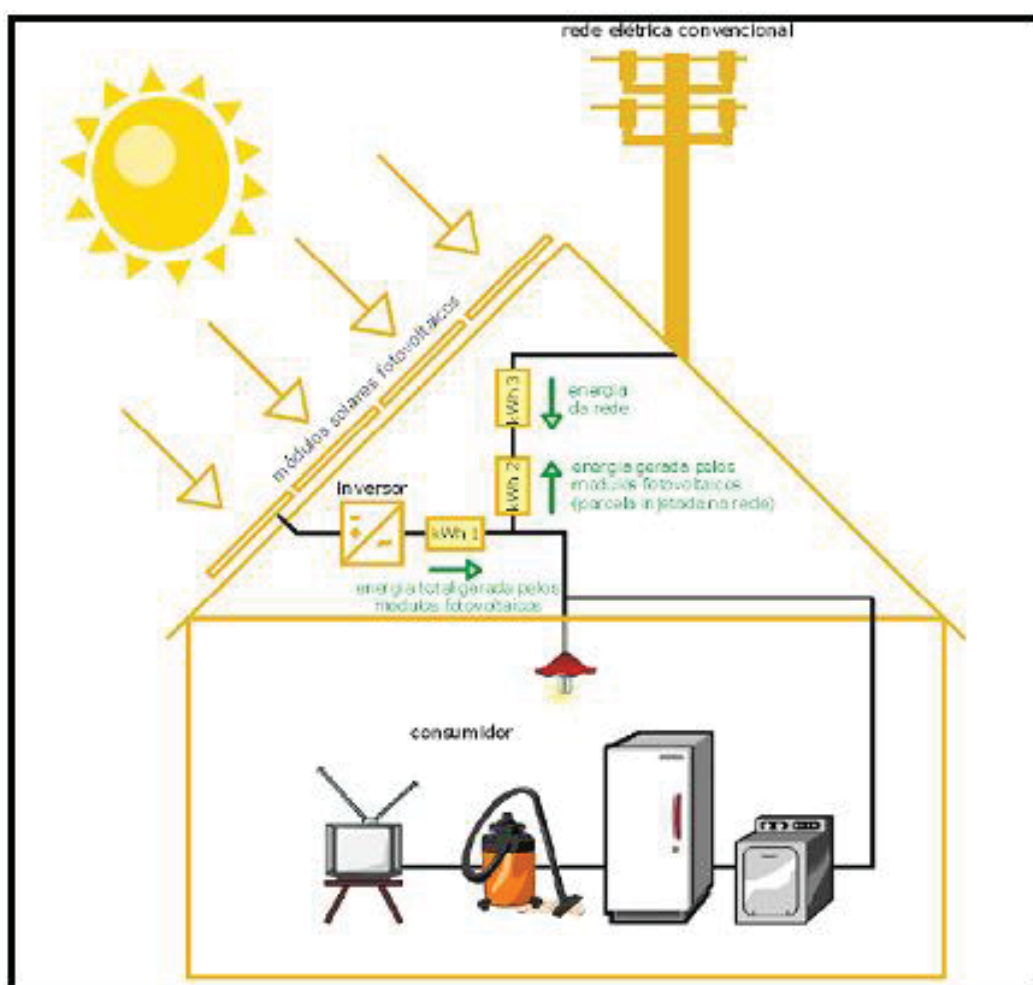


Figura 12 - Modelo de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica local.

## 2.7 Sistemas tarifários

### 2.7.1 Sistema tarifário brasileiro

Os consumidores de energia elétrica pagam, por meio da conta recebida de sua empresa distribuidora de energia elétrica, um valor que corresponde à quantidade de energia elétrica consumida, no mês anterior, estabelecida em quilowatt-hora (kWh) e multiplicada por um valor unitário, denominado tarifa, medido em reais por quilowatt-hora (R\$/kWh), que corresponde ao valor de 1 quilowatt (kW) consumido em uma hora. Ainda, dentro deste preço, embutidos na tarifa, estão os encargos do setor elétrico e os tributos determinados por lei (ANEEL, 2005).

No Brasil, as tarifas de energia elétrica estão estruturadas em dois grandes grupos de consumidores: “grupo A” e “grupo B”. As tarifas do “grupo A” são para consumidores atendidos pela rede de alta tensão, de 2,3 a 230 quilovolts (kV). As tarifas do “grupo B” se destinam às unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3 kV. Cada grupo é, ainda, dividido em subgrupos que são classificados de acordo com a demanda de potência e o consumo (ANEEL, 2005).

Dentro do grupo A existem três modalidades de tarifa. A tarifa convencional é caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia e demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. A tarifa horo-sazonal azul é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de tarifas diferenciadas de demanda de potência de acordo com as horas de utilização do dia. A tarifa horo-sazonal verde é a modalidade de fornecimento estruturada para a aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia e dos períodos do ano, bem como de uma única tarifa de demanda de potência (ANEEL, 2005).

Há ainda a separação entre as horas do dia. Das 18h00min às 21h00min em que o consumo de energia é maior e, conseqüentemente, o preço da tarifa é mais elevado, aplica-se a tarifa de ponta. A tarifa fora de ponta corresponde as demais horas do dia e às 24 horas dos sábados, domingos e feriados.

Com relação ao ano, os períodos são divididos em dois. O período seco, em que há menor incidência de chuva e, devido ao maior custo de produção de energia proveniente de usinas hidrelétricas, a tarifa é maior, e o período úmido em que a tarifa é menor.

### 2.7.2 Sistema *Net metering*

Criado nos EUA, o sistema *Net metering* é um mecanismo de apoio a projetos de energia renováveis que estabeleceu que as companhias de eletricidade deveriam comprar energia de origem renovável seguindo um modelo de preços acordados em contrato. Desta forma os consumidores poderiam conectar suas unidades de geração à rede elétrica local, empregar a energia produzida para atender a sua demanda e vender seu excedente de energia, o qual a companhia seria obrigada a comprar (STARRS, 1996).

O intuito principal deste mecanismo é aumentar os investimentos privados em energias renováveis, estimular o crescimento econômico local, ter uma maior diversificação da mistura de recursos de energia e melhorar o meio ambiente (RODRIGUEZ, 2007).

Neste sistema, é empregado um medidor bidirecional que registra o fluxo de energia nos dois sentidos, ou seja, ele se move no sentido horário quando há o consumo utilizando-se da energia fornecida pela concessionária é maior do que a produção fotovoltaica e para o sentido anti-horário quando o excedente de energia fotovoltaica é injetado na rede.

### 2.7.3 Sistema *Feed-in tariff*

Criado na Europa, o mecanismo *feed-in tariff* é definido pelo governo como o preço que as concessionárias de distribuição devem pagar para cada kWh produzido por tecnologias baseadas em fontes renováveis que é entregue à rede (ACKERMANN et al, 2001).

De modo a estimular o uso de fontes renováveis como forma de geração de energia elétrica, o valor estipulado para a compra da energia fornecida à rede é superior ao que a concessionária encontraria se comprasse essa energia no mercado atacadista de energia (IEA – PVPS, 2001).

Assim, é possível que os usuários possam obter razoáveis retornos no investimento empregado para a instalação do sistema e mesmo que o valor pago não seja tão alto. Tal estímulo se torna muito importante do ponto de vista econômico, pois ajuda a remover as incertezas quando se analisa a viabilidade do projeto (RODRIGUEZ, 2007).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Introdução

A metodologia aplicada a este trabalho baseia-se em, primeiramente, realizar uma coleta e uma análise dos dados de consumo de energia elétrica dos prédios da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá durante o ano de 2011. O levantamento leva em conta a energia consumida pelo ginásio da Faculdade, pelo prédio da moradia lá existente e pelos prédios que formam o campus.

Posteriormente, as plantas arquitetônicas de todos os prédios da Faculdade são analisadas e apenas as edificações que apresentam uma estrutura que facilite os cálculos e simulações do sistema fotovoltaico são escolhidas para o desenvolvimento do projeto.

A partir deste estudo, é obtido o potencial de geração de energia solar fotovoltaica de um sistema conectado à rede elétrica e integrado aos prédios em questão, com base em duas diferentes tecnologias de módulos fotovoltaicos existentes atualmente, compostos por materiais dos mais utilizados pelo mercado mundial.

Algumas características relevantes do local e região de instalação do sistema energético hipotético são também levantadas, de modo a auxiliar no desenvolvimento da análise proposta e na veracidade dos resultados obtidos. Ainda, são utilizados *softwares* desenvolvidos com o propósito de ajudar no projeto hipotético, como por exemplo, o Radiasol, programa de simulação de radiação solar no plano do módulo, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Embora seja um sistema sustentável e forneça energia limpa e renovável, muitas vezes o esquema de módulos fotovoltaicos deixa de ser utilizado por ser uma tecnologia cara e, ainda, por se tratar de um investimento em que há retorno em longo prazo tornando-se, na maioria das vezes, pouco atrativo. Por isso, um estudo da viabilidade econômica da instalação e exequibilidade do sistema é proposto, baseado em dois sistemas tarifários especiais existentes nos Estados Unidos e na Europa.

#### 3.2 Campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá – FEG

O campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá (FEG), situado na região norte da cidade de Guaratinguetá, é composto por 14 edificações, que apresentam uma área física

de 175.789 m<sup>2</sup> e 14.638,38 m<sup>2</sup> de área construída. A maior parte da área construída está no complexo central, que conta com quatro pavilhões e, nos cinco blocos de ensino (ARRUDA, 2012).

A Figura 13 apresenta a vista aérea de todo o campus. Através da imagem mostrada abaixo, tem-se uma boa noção da densidade habitacional ao redor dos prédios escolhidos neste estudo e, ainda, pode-se notar a inexistência de áreas de sombreamento que poderiam tornar a geração solar fotovoltaica menos eficiente.



Figura 13 - Vista aérea da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. (ARRUDA, 2012)

A partir do dado de área construída, tem-se a divisão de área construída de todo o campus, mostrada na Figura 14. Neste gráfico, é dada maior ênfase nas áreas dos prédios que são utilizados para a construção e análise do sistema fotovoltaico.

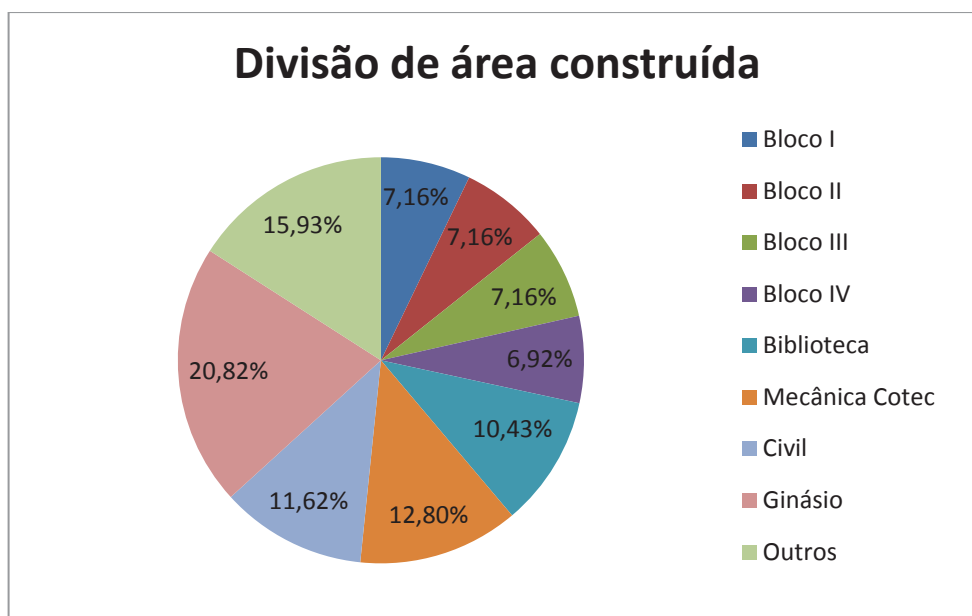


Figura 14 - Divisão de área construída da Faculdade. (ARRUDA, 2012)

Os prédios escolhidos para este estudo possuem localizações e características que favorecem a captação de energia solar, uma vez que não apresentam quaisquer formas de sombreamento para os módulos, além de possuírem telhados com inclinações que não afetariam uma possível instalação das placas. Tais fatores foram determinantes para que o sistema hipotético fosse projetado a fim de se obter a maior eficiência possível e, conseqüentemente, uma considerável redução nos custos. A Figura 15 apresenta as fachadas dos prédios utilizados neste estudo.



Figura 15 – Fachadas dos prédios: A – Blocos I, II, III e IV. B – Biblioteca. C – Moradia. D – Civil Cotec. E – Mecânica Cotec. F – Ginásio

Os Blocos I, II, III e IV são caracterizados por apresentarem os maiores números de salas de aula, laboratórios, além de salas dos professores e um polo computacional, o que os tornam os prédios com o maior número de ocupantes dentre as edificações escolhidas.

O prédio da biblioteca, apesar de ocupar uma área relativamente grande, não apresenta um consumo elevado de energia elétrica, tendo em vista que não existem aparelhos de ar condicionado e que, ainda, apresenta uma fenda retangular em seu centro, facilitando a entrada de luz natural no ambiente.

Os prédios da Civil e da Mecânica do Cotec são compostos por salas de aulas, salas de professores e alguns laboratórios utilizados pelos alunos do Colégio Técnico Industrial de Guaratinguetá e pelos alunos de Engenharia Civil da FEG.

O ginásio é utilizado somente quando há práticas de esportes ou quando há algum tipo de evento do âmbito escolar. Seu consumo de energia elétrica é pura e simplesmente medido pela utilização da iluminação interna.

O prédio da moradia é composto por quartos, cozinhas e banheiros, além de uma área em comum em que há computadores para o uso de seus moradores. Basicamente, o consumo de energia nesta edificação pode ser comparado ao consumo de um prédio residencial de mesmo tamanho, visto que as características são as mesmas. Tal prédio é apresentado neste estudo apenas para se ter ideia da quantidade que o mesmo consome de energia elétrica, não sendo, portanto, utilizado nas simulações para a geração de energia elétrica por meio do sistema fotovoltaico.

### **3.3 Coleta e levantamento dos dados**

Os dados referentes à estrutura arquitetônica e ao consumo de energia elétrica do campus foram, respectivamente, obtidos junto ao Departamento de Engenharia Civil e à Tesouraria da Faculdade.

As simulações da geração de energia solar fotovoltaica, bem como dados necessários para tal geração, foram obtidas a partir da utilização em conjunto do *software* Radiasol, elaborado pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e dos dados do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resources Assessment*).

### **3.3.1 Consumo de energia dos prédios**

Para a análise do consumo de energia elétrica das edificações são levados em conta os consumos mensais durante o ano de 2011, disponibilizados pela administração da Faculdade e registrados nas faturas de energia elétrica da concessionária EDP Bandeirante Energia.

Por se tratar de prédios distintos e com utilizações diferentes, a concessionária faz a cobrança da energia em três contas de faturamento. A primeira conta traz o consumo do prédio da Moradia, em que o gasto de energia é semelhante a um prédio residencial. A segunda fatura engloba apenas o ginásio de esportes e eventos do campus e, finalmente, a terceira conta mostra o consumo de energia dos prédios que compõe o restante da universidade.

Com o propósito de facilitar o estudo proposto, os três consumos foram, então, transformados em apenas um, somando-se os gastos de toda a Faculdade.

Deste modo, o cálculo da geração fotovoltaica do sistema hipotético é obtido a partir do consumo médio mensal de energia no período de janeiro a dezembro do ano de 2011.

### **3.3.2 Áreas dos prédios utilizadas**

As áreas de cobertura das edificações foram obtidas junto ao Departamento de Engenharia Civil da universidade. Os documentos disponibilizados foram, ainda, revisados, de modo a se chegar a valores de áreas o mais próximo do real possível e, conseqüentemente, aumentando a veracidade do sistema hipotético proposto.

Posteriormente, análises das plantas dos prédios foram feitas, levando em consideração fatores que viessem a interferir diretamente na eficiência do estudo. Tais fatores foram a área total disponível para a instalação do sistema de módulos, já desprezando os possíveis sombreamentos que poderiam afetar a geração fotovoltaica e o rendimento do sistema, a inclinação e a orientação das coberturas. (RÜTHER, 2004)

Ainda, levou-se em conta apenas as áreas disponíveis para a implementação do arranjo fotovoltaico, visando a maximização da produção de energia elétrica.

Dois estudos distintos foram levados em consideração para a integração dos módulos às edificações da instituição. Em um primeiro momento, foi verificado e analisado se toda a área disponibilizada para a estrutura fotovoltaica seria o suficiente para atender a demanda de consumo diário baseada no ano de 2011. O outro estudo analisou a implementação do sistema

em 100% das áreas de cobertura disponíveis, de modo a verificar a existência ou não de um possível saldo excedente na geração para que, assim, o mesmo fosse entregue à concessionária de energia elétrica.

### 3.4 Características climáticas da cidade de Guaratinguetá

Em se tratando das características climáticas de Guaratinguetá, pode-se dizer que a cidade é um excelente local para a escolha da implementação do estudo de painéis solares. Considerada a cidade mais quente do Vale do Paraíba, com uma temperatura média de 22°C, o município possui temperaturas elevadas durante praticamente todo o ano, como mostra a Figura 16, em que há a temperatura média mínima e máxima de cada mês do ano.



Figura 16–Temperatura média mínima e máxima de cada mês do ano. (UNICAMP, 2012)

Ainda, segundo Pereira et al. (2006) os índices de irradiação global, difusa e direta da cidade de Guaratinguetá chegam a níveis considerados satisfatórios e que favorecem a utilização da tecnologia solar de geração de energia limpa e renovável.

O município de Guaratinguetá, localizado a uma latitude de 22°48' ao sul e a uma longitude de 45°19' à oeste, possui um valor médio de irradiação solar global horizontal perto de 5,1 kWh/m²/dia, segundo o programa Radasol e mostrado mensalmente na Figura 17.

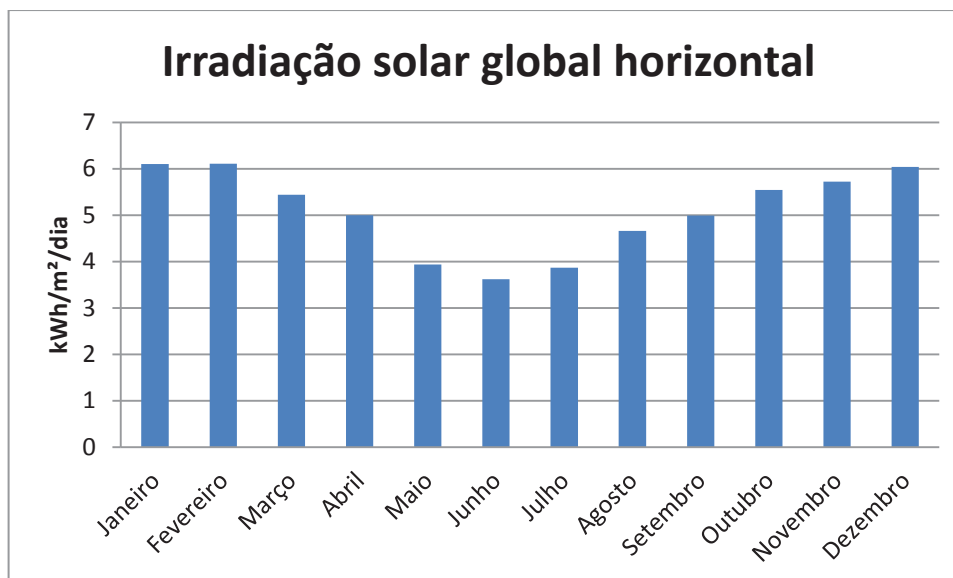


Figura 17 - Gráfico de valores de irradiação solar para a cidade de Guaratinguetá. (Radiasol, 2009)

### 3.5 Inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos

Fatores que influenciam diretamente na captação da energia solar fotovoltaica através de células fotovoltaicas para a transformação em energia elétrica, a inclinação, orientação e disposição dos módulos fotovoltaicos são analisados e escolhidos a fim de se obter o maior rendimento para o sistema proposto.

Primeiramente, é necessário obter a inclinação de todas as coberturas dos prédios envolvidos neste estudo, para saber se há alguma influência no método de instalação da estrutura de painéis solares.

Como não há problemas por parte das inclinações das edificações estudadas, optou-se por instalar os módulos solares com uma inclinação igual à latitude local, uma vez que, deste modo, uma maior geração de energia seria obtida (RÜTHER, 2004). Assim, utilizando uma inclinação de 22°, um desvio azimutal de -12° e um valor de albedo de 34, chega-se, com o auxílio do software Radiasol, ao valor médio de irradiação solar, GPOA, de 5,47 kWh/m²/dia.

### 3.6 Tecnologias fotovoltaicas utilizadas

A escolha das placas fotovoltaicas utilizadas neste estudo se baseou em aproveitar das tecnologias mais aplicadas e já existentes no mercado mundial.

Duas tecnologias foram, então, adotadas para a realização das simulações, sendo que a primeira é fabricada com o silício monocristalino (c-Si) e a segunda é produzida com silício policristalino (p-Si).

Com relação à eficiência dos módulos, o painel feito a partir do silício policristalino apresenta-se menos eficaz do que o outro módulo, uma vez que este último foi projetado para aumentar a captação da energia da luz solar, de um modo mais simples de se instalar e, também, mais barato.

A Tabela 1 apresenta o comparativo entre as duas tecnologias, bem como algumas de suas características técnicas importantes para a simulação.

Tabela 1 - Características técnicas dos modelos escolhidos (Dados dos fabricantes, 2012).

| <b>Tecnologia</b> | <b>Fabricante</b> | <b>Modelo</b> | <b>Eficiência (%)</b> | <b>Potência (W)</b> | <b>Área (m²)</b> |
|-------------------|-------------------|---------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| <b>p-Si</b>       | Kyocera           | KD210GX-LPU   | 13,5                  | 210                 | 1,49             |
| <b>c-Si</b>       | LG                | LG260S1C      | 16,2                  | 260                 | 1,6              |

As eficiências dadas pelo fabricante são protocoladas de modo a atender os padrões de teste normais (STC), ou seja, a uma temperatura de 25°C e um espectro de massa de ar de 1,5 para 1000 W/m². Porém, na prática os painéis solares operam a temperaturas e condições diferentes das normais e, por isso, houve a necessidade de ajustar o coeficiente de operação para uma temperatura de operação dos módulos (NOCT) de 45° graus (Takenaka, 2010).

Segundo Salamoni (2004), a nova eficiência pode ser calculada seguindo a equação 1.

$$E_{ff\ NOCT} = E_{ff\ STC} \left[ \frac{100 - (|TCO_{Eff}| \cdot \Delta T)}{100} \right] \quad (1)$$

Onde:

$E_{ff\ NOCT}$  = Eficiência ajustada para NOCT (%);

$E_{ff\ STC}$  = Eficiência para os padrões normais STC (%);

$TCO_{Eff}$  = coeficiente de temperatura dado pelo fabricante;

$\Delta T$  = Variação de temperatura entre NOCT e STC.

A Tabela 2 apresenta os novos valores das eficiências dos painéis utilizados nos cálculos de geração de energia, levando em consideração uma temperatura de operação de 45°C.

Tabela 2 - Ajuste da eficiência dos módulos fotovoltaicos.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Eficiência STC (%)</b> | <b>TCO EFF (%/°C)</b> | <b>Temperatura NOCT (°C)</b> | <b>Eficiência NOCT (%)</b> |
|-------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>p-Si</b>       | 13,5                      | -0,4                  | 45                           | 12,42                      |
| <b>c-Si</b>       | 16,2                      | -0,42                 | 45                           | 14,84                      |

A partir dos novos dados de eficiência calculados, pode-se chegar à quantidade de módulos necessários para a implantação do sistema hipotético proposto e, conseqüentemente, à avaliação do potencial energético gerado pelo sistema.

### 3.7 Geração fotovoltaica do sistema hipotético

As simulações do potencial de geração de energia elétrica para o sistema hipotético proposto foram realizadas utilizando o Radiasol, programa criado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul no ano de 2002 com o propósito de auxiliar nos cálculos aritméticos complexos usados para a determinação da intensidade da radiação solar em superfícies inclinadas. Ainda, para realizar tais cálculos, o programa leva em conta os elementos do banco de dados formado pelo Projeto SWERA. (Pereira et al., 2006)

A fim de se verificar a influência da inclinação dos módulos no  $G_{POA}$ , foram simulados quatro ângulos diferentes, utilizando um desvio azimutal de -12°. A Tabela 3 mostra a importância de se escolher a melhor inclinação para os painéis fotovoltaicos, sendo que a comprovação de que o melhor ângulo seria o mesmo da latitude do local, como já dito anteriormente, foi provada.

Tabela 3 - Ângulo de inclinação x  $G_{POA}$  (RADIASOL, 2002).

| <b>Ângulo de inclinação</b> | <b>0°</b> | <b>22°</b> | <b>34°</b> | <b>45°</b> |
|-----------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| <b>GPOA(kWh/m²/dia)</b>     | 5,07      | 5,47       | 5,44       | 5,29       |

Segundo Takenaka (2010), a equação da potência a ser instalada ( $P_{cc}$ ) pode ser obtida em função do consumo de energia médio dos prédios, do ganho por irradiação incidente no plano do módulo e, ainda, do rendimento das conexões e do sistema inversor, em que o valor pode estar entre 0,7 e 0,9 e, para o estudo em questão, foi adotado como 0,9. Então, a equação 2 fica:

$$P_{cc} = \frac{E_m}{G_{POA} \cdot R} \quad (2)$$

Sendo que:

$P_{cc}$  = potência necessária em corrente contínua (kW<sub>pcc</sub>);

$E_m$  = consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

$G_{POA}$  = ganho por irradiação solar médio (kWh/m<sup>2</sup>/dia);

$R$  = rendimento das conexões e do sistema inversor.

Segundo Rüther (2004), a equação 3 é utilizada para se obter o potencial da geração fotovoltaica do sistema fictício.

$$E_G = \frac{A \cdot G_{POA} \cdot R \cdot E_{ff}}{100} \quad (3)$$

Onde:

$E_G$  = energia gerada pelo sistema (kWh/dia);

$A$  = área total disponível do sistema (m<sup>2</sup>);

$E_{ff}$  = eficiência de conversão do painel fotovoltaico utilizado (%);

$G_{POA}$  = ganho por irradiação solar médio (kWh/m<sup>2</sup>/dia);

$R$  = rendimento das conexões e do sistema inversor.

### 3.8 Viabilidade econômica do sistema

No Brasil, há uma grande dificuldade do ponto de vista econômico em se utilizar sistemas de geração de energia com placas solares fotovoltaicas, devido ao elevado custo do projeto e as limitações impostas pelo baixo incentivo das autoridades competentes.

Um estudo simplificado foi, então, conduzido com o propósito de avaliar o custo do investimento aplicado na implantação do sistema hipotético. Para a realização dessa análise, foi considerada apenas a simulação em que toda a área disponível das coberturas das edificações foi utilizada para a geração de energia elétrica.

Segundo Takenaka (2010), apenas o valor inicial de aquisição dos sistemas foi considerado, bem como a estimativa do tempo de retorno pelo cálculo do valor presente do investimento e da receita gerada por cada tecnologia fotovoltaica para a produção de energia.

Como no país não há um sistema tarifário que contemple os sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, foram utilizados dois sistemas que são empregados nos EUA e em alguns países da Europa. Trata-se do *net-metering*, em que o preço da energia produzida é equivalente ao preço da energia adquirida junto à concessionária, e o *feed-in tariff*, em que o preço do quilowatt-hora produzido é superior ao preço do comprado junto à concessionária.

Segundo Rüther (2008), a estimativa do tempo de retorno do investimento pode ser feita em um período de 25 anos, levando em consideração, para o sistema *net-metering*, uma taxa interna de retorno (TIR) de 7% e acréscimo da tarifa de 4% ao ano. Já para o sistema *feed-in tariff*, foi considerada uma TIR de 7%, um acréscimo da tarifa de 7% e, ainda, uma tarifa prêmio de duas vezes o valor da tarifa média praticada pela concessionária no ano de 2011. A partir destas definições foi obtido o valor futuro da economia proporcionada pela geração do sistema e do saldo devedor segundo a equação 4. (SANTOS, 2009)

$$F = P.(1 + i)^n \quad (4)$$

Sendo:

F = valor futuro;

P = valor presente;

i = taxa de crescimento (TIR = 0,07; inflação tarifária anual de 0,04 para o modelo *net-metering* e de 0,07 para o modelo *feed-in tariff*)

$n$  = número de anos até o ano futuro (25).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Introdução

O presente capítulo apresenta detalhadamente os resultados obtidos e as discussões geradas em cima da geração de energia solar, a partir dos métodos anteriormente explicados.

Basicamente, realiza-se um levantamento do consumo de energia elétrica da instituição de ensino para o ano de 2011, os prédios analisados neste estudo foram escolhidos e suas respectivas áreas de cobertura disponíveis foram calculadas.

Ainda, por meio do *software* Radasol, as taxas médias mensais de irradiação do local onde a universidade está situada foram medidas e, assim, pode-se fazer estimativas do potencial de geração da energia fotovoltaica.

Primeiramente, constata-se que as áreas de cobertura disponíveis das edificações seriam suficientes para a implantação do sistema proposto, de modo que a demanda de todo o campus fosse suprida. Posteriormente, utiliza-se cem por cento das áreas de cobertura disponíveis para que houvesse uma geração excedente para a rede local. Em ambos os casos, os módulos fotovoltaicos são distribuídos de tal maneira que os mesmos operem com a máxima eficiência possível, gerando, conseqüentemente, mais energia.

Um estudo simplificado da viabilidade econômica do sistema fotovoltaico hipotético proposto é realizado, utilizando-se dois sistemas tarifários existentes em alguns países em que a tecnologia é usualmente empregada e há incentivos econômicos para quem a utiliza, chegando-se a valores em que exista um retorno considerável do investimento realizado para a implementação do projeto.

### 4.2. Sistema fotovoltaico para suprir 100% do consumo de energia elétrica do campus

#### 4.2.1 Estudo do consumo de energia elétrica da instituição.

As tarifas de energia elétrica podem ser divididas em tarifas monômias (as de baixa tensão) e as tarifas binômias (convencional e tarifas horárias Verde e Azul).

A tarifa monômia é a tarifa de fornecimento de energia elétrica constituída por preços aplicáveis unicamente ao consumo de energia elétrica ativa. Já a tarifa binômia é a estrutura

tarifária de fornecimento constituída por preços aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável.

A empresa EDP Bandeirante é a responsável por fornecer a energia elétrica de todo o campus universitário. Por se tratarem de três contas de faturamentos diferentes cobradas pela empresa, como já dito anteriormente, as tarifas realizadas são, também, diferentes entre si.

Apesar de existirem tarifas diferentes, as faturas mostram que a instituição está enquadrada na classificação comercial, em que prevalece a cobrança da tarifa binômia do tipo horo-sazonal Verde.

O consumo mensal de energia elétrica da Faculdade no ano de 2011 é mostrado na Tabela 4, onde é possível observar os meses com os maiores e menores consumos energéticos.

Tabela 4 - Consumo de energia elétrica da FEG no ano de 2011. (EDP Bandeirante, 2011)

| <b>Mês</b>   | <b>Dias</b> | <b>Consumo (kWh)</b> |
|--------------|-------------|----------------------|
| Janeiro      | 31          | 121.642              |
| Fevereiro    | 28          | 91.217               |
| Março        | 31          | 110.646              |
| Abril        | 30          | 130.453              |
| Maio         | 31          | 129.988              |
| Junho        | 30          | 117.934              |
| Julho        | 31          | 104.204              |
| Agosto       | 31          | 97.283               |
| Setembro     | 30          | 118.197              |
| Outubro      | 31          | 125.267              |
| Novembro     | 30          | 121.969              |
| Dezembro     | 31          | 125.220              |
| <b>Total</b> |             | <b>1.394.019</b>     |

Na universidade os meses letivos vão de Março a Dezembro, com um período curto de férias entre o começo de Julho e o começo de Agosto. Portanto, é esperado um consumo de energia maior nos meses de verão, em que os ar-condicionados são utilizados com maior frequência, e nos meses em que há aula nas edificações. Em contrapartida, é esperado um consumo mais brando nos meses de inverno e que não são letivos.

Porém, o que a Tabela 4 mostra é um consumo mais elevado no mês de abril, sendo que este período está dentro do ano letivo e em pleno outono. A Figura 18 ainda apresenta que o mês de menor consumo de energia é o mês de Fevereiro, em que não há aulas e compreende a estação de verão.

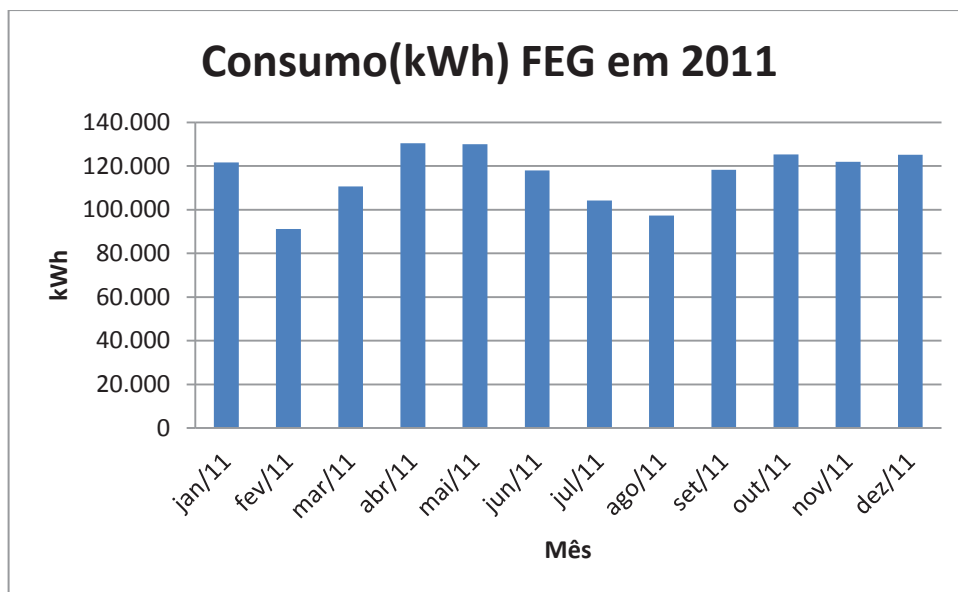


Figura 18- Consumo mensal da FEG no ano de 2011.

Com base nos 365 dias do ano de 2011, são calculados os valores médios diários de cada mês do consumo de energia elétrica da FEG. Com isso, valor médio diário obtido fica em torno de 3.817,41 kWh/dia, como apresenta a Figura 19.

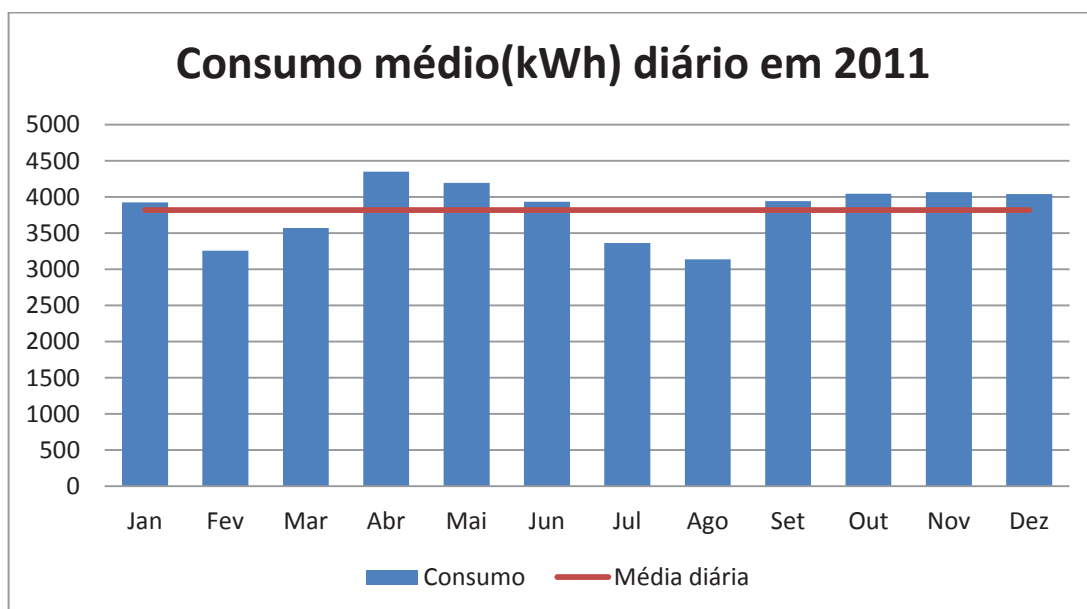


Figura 19 - Consumo médio diário para os meses de 2011

#### 4.2.2 Área de cobertura dos prédios

Para os cálculos das áreas de cobertura das edificações foram levados em consideração apenas os telhados dos prédios escolhidos que não apresentassem quaisquer tipos de obstáculos que pudessem interferir na geração de energia fotovoltaica. Ainda, todas as inclinações das coberturas são verificadas e ficou constatado que, também, não haveria algum tipo de mudança na eficiência do sistema. A Tabela 5 apresenta as áreas disponíveis de cobertura e suas respectivas divisões.

Tabela 5 - Área disponível de cobertura dos prédios

| <b>Prédio</b>  | <b>Largura(m)</b> | <b>Comprimento(m)</b> | <b>Área disponível (m<sup>2</sup>)</b> |
|----------------|-------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Bloco I        | 63,5              | 16,5                  | 945                                    |
| Bloco II       | 63,5              | 16,5                  | 945                                    |
| Bloco III      | 63,5              | 16,5                  | 945                                    |
| Bloco IV       | 63,3              | 16                    | 914                                    |
| Biblioteca     | 47                | 32,5                  | 1.463                                  |
| Mecânica Cotec | 63,5              | 29,5                  | 1.664                                  |
| Civil          | 63                | 27                    | 1.514                                  |
| Ginásio        | 63,5              | 48                    | 2.676                                  |
| <b>Total</b>   |                   |                       | <b>11.066</b>                          |

#### 4.2.3 Cálculo da energia fotovoltaica gerada.

De acordo com o programa Radiasol, tem-se, para a cidade de Guaratinguetá e para uma inclinação dos módulos de 22°, um GPOA médio mensal de 5,47 kWh. A Tabela 6 apresenta os valores médios de irradiação para cada mês, considerando 22° graus de inclinação e -12° de desvio azimutal.

Tabela 6 - Irradiação média diária em kWh/m<sup>2</sup>

| <b>Mês</b>   | <b>Irradiação (kWh/m<sup>2</sup>/dia)</b> |
|--------------|-------------------------------------------|
| Janeiro      | 5,71                                      |
| Fevereiro    | 6,07                                      |
| Março        | 5,81                                      |
| Abril        | 5,78                                      |
| Maio         | 4,86                                      |
| Junho        | 4,68                                      |
| Julho        | 4,9                                       |
| Agosto       | 5,52                                      |
| Setembro     | 5,53                                      |
| Outubro      | 5,66                                      |
| Novembro     | 5,48                                      |
| Dezembro     | 5,6                                       |
| <b>Média</b> | <b>5,47</b>                               |

Para os cálculos da geração de energia do sistema hipotético proposto, foram consideradas as duas tecnologias fotovoltaicas, apresentadas no capítulo anterior, com suas respectivas características. Utilizando as equações já demonstradas de  $P_{CC}$  e  $E_G$ , considerando um consumo médio de 3817.41 kWh/dia, um  $G_{POA}$  médio de 5,47 kWh/m<sup>2</sup>/dia e um rendimento de 0,9, chega-se a um valor de potência em corrente contínua de 775,42 kW<sub>pcc</sub>. A Tabela 7 apresenta a quantidade de módulos necessários para a instalação da potência em corrente contínua calculada.

Tabela 7 - Quantidade de módulos necessários para cada tecnologia fotovoltaica.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Quantidade de módulos</b> | <b>Potência Instalada (kWp)</b> |
|-------------------|------------------------------|---------------------------------|
| p-Si              | 3.692                        | 775,42                          |
| c-SI              | 2.982                        | 775,42                          |

Toda a área disponível e utilizada para este estudo é escolhida de tal maneira que não haja interferência na estrutura das edificações, a fim de se obter um sistema o mais adequado do ponto de vista arquitetônico.

A Tabela 8 mostra a porcentagem de área disponível necessária para suprir o consumo médio de energia elétrica da Faculdade, levando em conta a quantidade de módulos a serem instalados e as áreas dos respectivos módulos fotovoltaicos.

Tabela 8 - Porcentagem de área disponível ocupada pelos módulos.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Área de ocupação (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Área disponível ocupada (%)</b> |
|-------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|
| p-Si              | 5.501,08                                | 49,7                               |
| c-Si              | 4.771,20                                | 43,1                               |

Para a tecnologia de p-Si chega-se a um valor de área necessário para a implementação do sistema de aproximadamente 50% de toda a área disponível dos prédios, enquanto que para a tecnologia c-Si este valor é de quase 45% de toda a área acessível.

Pode-se, então, concluir que o sistema fotovoltaico hipotético proposto supriria de forma incontestável toda a demanda de energia elétrica do campus, a partir das áreas de cobertura disponíveis das edificações escolhidas para esta simulação.

### **4.3 Simulação do sistema fotovoltaico aproveitando toda a área útil dos prédios.**

#### **4.3.1 Avaliação da geração fotovoltaica considerando 100% da área disponível dos prédios.**

Supondo que o sistema proposto seja interligado à rede elétrica pública local, uma análise é realizada de modo que toda a área útil das edificações envolvidas no projeto seja utilizada para a simulação da geração de energia elétrica, obtendo, desta maneira, um excedente de potência que seria entregue à concessionária. Tal excedente seria obtido por ambas as tecnologias fotovoltaicas utilizadas neste estudo, uma vez que, para ambas, menos da metade da área útil das coberturas dos prédios são necessárias para suprir a demanda total de energia elétrica do campus, conforme já provado anteriormente.

Para cada prédio e tecnologia fotovoltaica é calculada a quantidade de potência instalada (kWp), a área que o sistema ocuparia nas coberturas e as quantidades de módulos necessárias para a instalação da estrutura hipotética, sendo que as superfícies dos módulos estariam voltadas para o norte geográfico, com inclinação de 22° (Takenaka,2010).

##### **4.3.1.1 Análise dos Blocos I, II e III.**

Os estudos dos Blocos I, II e III são feitos somente para um dos prédios, uma vez que os três possuem dimensões e características iguais. Então, a Tabela 9 apresenta os valores para as

edificações em que se verifica um valor de potência gerada 15,41% maior para a tecnologia c-Si, devido às características de seu painel.

Tabela 9 - Potência em kWp gerada pelos Blocos I,II e III

| <b>Bloco I ,II,III</b>           |                     |                     |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b>            | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos                | 634                 | 591                 |
| Área utilizada (m <sup>2</sup> ) | 944,66              | 945,6               |
| Potência (kWp)                   | 133,14              | 153,66              |

#### 4.3.1.2 Análise do Bloco IV.

O estudo do Bloco IV é feito separado dos outros blocos, pois este apresenta características arquitetônicas um pouco diferente dos demais. A Tabela 10 mostra os valores calculados, em que a tecnologia c-Si se apresenta 15,12% mais eficiente na geração de potência.

Tabela 10 - Potência em kWp gerada pelo Bloco IV.

| <b>Bloco IV</b>                  |                     |                     |
|----------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b>            | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos                | 613                 | 570                 |
| Área utilizada (m <sup>2</sup> ) | 913,37              | 912                 |
| Potência (kWp)                   | 128,73              | 148,2               |

#### 4.3.1.3 Análise do prédio da Biblioteca

A Tabela 11 apresenta o levantamento dos módulos e da potência para o prédio da Biblioteca, em que a tecnologia de c-Si se mostrou 15,24% mais eficiente.

Tabela 11 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Biblioteca.

| <b>Biblioteca</b>               |                     |                     |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b>           | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos               | 982                 | 914                 |
| Área utilizada(m <sup>2</sup> ) | 1463,18             | 1462,4              |
| Potência(kWp)                   | 206,22              | 237,64              |

#### 4.3.1.4 Análise do prédio da Civil.

A Tabela 12 apresenta o levantamento dos módulos e da potência para o prédio da Civil, em que a tecnologia de c-Si se mostrou 15,28% melhor.

Tabela 12 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Civil.

| <b>Civil Cotec</b>    |                     |                     |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b> | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos     | 1016                | 946                 |
| Área utilizada (m²)   | 1513,84             | 1513,6              |
| Potência (kWp)        | 213,36              | 245,96              |

#### 4.3.1.5 Análise do prédio da Mecânica Cotec.

A Tabela 13 apresenta o levantamento dos módulos e da potência para o prédio da Mecânica Cotec, em que a tecnologia de c-Si se mostrou 15,27% mais eficiente.

Tabela 13 - Potência em kWp gerada pelo prédio da Mecânica Cotec.

| <b>Mecânica Cotec</b> |                     |                     |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b> | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos     | 1117                | 1040                |
| Área utilizada (m²)   | 1664,33             | 1664                |
| Potência (kWp)        | 234,57              | 270,4               |

#### 4.3.1.6 Análise do Ginásio.

Finalmente, a Tabela 14 apresenta o levantamento dos módulos e da potência para o Ginásio, em que a tecnologia de c-Si se mostrou 15,33% mais eficiente comparada a tecnologia p-Si.

Tabela 14 - Potência em kWp gerada pelo Ginásio.

| <b>Ginásio</b>        |                     |                     |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| <b>Inclinação 22°</b> | <b>Sistema p-Si</b> | <b>Sistema c-Si</b> |
| Número de módulos     | 1796                | 1673                |
| Área utilizada (m²)   | 2676,04             | 2676,8              |
| Potência (kWp)        | 377,16              | 434,98              |

#### 4.3.1.7 Potência total gerada por tecnologia fotovoltaica.

A Tabela 15 apresenta os valores da potência total gerada por cada tecnologia fotovoltaica utilizada.

Tabela 15 - Potência total gerada pelo modelo de p-Si

| <b>Tecnologia</b> | <b>Prédio</b> | <b>Potência (kWp)</b> |
|-------------------|---------------|-----------------------|
| <b>p-Si</b>       | Bloco I       | 133,14                |
|                   | Bloco II      | 133,14                |
|                   | Bloco III     | 133,14                |
|                   | Bloco IV      | 128,73                |
|                   | Mecânica      | 234,57                |
|                   | Biblioteca    | 206,22                |
|                   | Civil         | 213,36                |
|                   | Ginásio       | 377,16                |
|                   | <b>Total</b>  | <b>1.559,46</b>       |
| <b>c-Si</b>       | Bloco I       | 153,66                |
|                   | Bloco II      | 153,66                |
|                   | Bloco III     | 153,66                |
|                   | Bloco IV      | 148,2                 |
|                   | Mecânica      | 270,4                 |
|                   | Biblioteca    | 237,64                |
|                   | Civil         | 245,96                |
|                   | Ginásio       | 434,98                |
|                   | <b>Total</b>  | <b>1.798,16</b>       |

Verifica-se que o modelo de c-Si apresentou uma geração de potência de 15,31% maior do que o modelo de p-Si. Porém, como o valor da potência necessária para suprir o consumo de energia da Faculdade no ano de 2011 foi de 775,42 kWp, constata-se que ambas as tecnologias, além de fornecerem a demanda necessária para o consumo, gerariam um excedente que poderia ser comercializado junto à concessionária de energia elétrica.

### 4.3.2 Cálculo da energia fotovoltaica gerada.

O cálculo da energia fotovoltaica gerada pelo sistema de placas solares é feito a partir das equações apresentadas no capítulo anterior, levando em consideração os dados levantados e obtidos para a implementação do sistema.

Mês a mês foram avaliados os potenciais de geração do arranjo fotovoltaico para ambos os sistemas estudados e verifica-se que haverá meses com maior geração de energia devido a uma maior incidência solar captada pelas placas do conjunto. A Tabela 16 apresenta os valores gerados obtidos pela equação de  $E_G$  na simulação do objeto de estudo.

Tabela 16 - Total de energia gerada mês a mês pelo sistema.

| <b>Mês</b>          | <b>Consumo<br/>(kWh)</b> | <b>Sistema p-Si<br/>(kWh)</b> | <b>Sistema c-Si<br/>(kWh)</b> |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Janeiro/11</b>   | 121.641,64               | 218.928,91                    | 261.592,79                    |
| <b>Fevereiro/11</b> | 91.217,41                | 210.209,36                    | 251.174,00                    |
| <b>Março/11</b>     | 110.646,01               | 222.763,04                    | 266.174,10                    |
| <b>Abril/11</b>     | 130.452,70               | 214.464,00                    | 256.257,78                    |
| <b>Mai/11</b>       | 129.988,13               | 186.338,79                    | 222.651,66                    |
| <b>Junho/11</b>     | 117.933,54               | 173.649,06                    | 207.489,00                    |
| <b>Julho/11</b>     | 104.203,73               | 187.872,45                    | 224.484,18                    |
| <b>Agosto/11</b>    | 97.283,48                | 211.644,06                    | 252.888,30                    |
| <b>Setembro/11</b>  | 118.196,65               | 205.187,88                    | 245.173,97                    |
| <b>Outubro/11</b>   | 125.266,83               | 217.011,85                    | 259.302,13                    |
| <b>Novembro/11</b>  | 121.968,94               | 203.332,66                    | 242.957,20                    |
| <b>Dezembro/11</b>  | 125.220,17               | 214.711,37                    | 256.553,35                    |
| <b>Total</b>        | <b>1.394.019,22</b>      | <b>2.466.113,43</b>           | <b>2.946.698,45</b>           |

A partir do cálculo da geração de energia elétrica proveniente das placas fotovoltaicas é possível fazer uma correlação com o consumo mensal de energia elétrica da Faculdade, verificando, portanto, a quantidade de energia excedente de cada mês que o sistema conseguiria ceder à rede elétrica local e à concessionária que administra o sistema. A Tabela 17 mostra os valores mensais excedentes.

Tabela 17 - Geração excedente de energia elétrica.

| <b>Mês</b>          | <b>Energia excedente<br/>Sistema p-Si (kWh)</b> | <b>Energia excedente<br/>Sistema c-Si(kWh)</b> |
|---------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Janeiro/11</b>   | 97.287,27                                       | 139.951,15                                     |
| <b>Fevereiro/11</b> | 118.991,94                                      | 159.956,59                                     |
| <b>Março/11</b>     | 112.117,04                                      | 155.528,09                                     |
| <b>Abril/11</b>     | 84.011,31                                       | 125.805,08                                     |
| <b>Mai/11</b>       | 56.350,67                                       | 92.663,53                                      |
| <b>Junho/11</b>     | 55.715,51                                       | 89.555,45                                      |
| <b>Julho/11</b>     | 83.668,72                                       | 120.280,45                                     |
| <b>Agosto/11</b>    | 114.360,58                                      | 155.604,82                                     |
| <b>Setembro/11</b>  | 86.991,23                                       | 126.977,31                                     |
| <b>Outubro/11</b>   | 91.745,02                                       | 134.035,30                                     |
| <b>Novembro/11</b>  | 81.363,72                                       | 120.988,26                                     |
| <b>Dezembro/11</b>  | 89.491,20                                       | 131.333,18                                     |
| <b>Total</b>        | <b>1.072.094,21</b>                             | <b>1.552.679,23</b>                            |

O excedente de energia gerado é tão significativo que, para o sistema utilizando a tecnologia p-Si, este corresponde a 76,91% da energia total anual consumida pelos prédios da Faculdade, enquanto que para o sistema utilizando a tecnologia c-Si, a sobra é igual a 111,38% da energia consumida.

Há uma considerável parcela de energia excedente gerada pelo conjunto e toda esta sobra poderia ser negociada com a concessionária de energia local, de modo que o campus se tornasse uma mini usina geradora de energia interligada à rede local.

#### **4.3.3 Avaliação da viabilidade econômica do sistema proposto.**

A avaliação da viabilidade econômica de se por em prática o sistema interligado proposto tem como objetivo principal verificar se é interessante do ponto de vista financeiro realizar a implantação de todo o conjunto fotovoltaico nos telhados das edificações do campus.

Segundo Takenaka (2010), o custo do kWp pode ser considerado igual para qualquer tecnologia fotovoltaica envolvida no projeto uma vez que as mesmas são comercializadas por potência e não por eficiência.

Segundo Rüther et al. (2008), o custo do kWp gira em torno de 4.500,00 euros, considerando neste montante os custos e componentes da instalação. Segundo a cotação do dia 02/09/2012 o euro estava estipulado em R\$2,50. Então, cada kWp instalado corresponde, em média, a R\$11.250,00. A Tabela 18 apresenta os custos dos projetos para os sistemas fotovoltaicos estudados.

Tabela 18 - Custo do projeto para cada tecnologia fotovoltaica estudada.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Fabricante</b> | <b>Potência (kWp)</b> | <b>Custo do sistema (R\$)</b> |
|-------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------|
| <b>p-Si</b>       | Kyocera           | 1.559,46              | 17.543.925,00                 |
| <b>c-Si</b>       | LG                | 1.798,16              | 20.229.300,00                 |

De acordo com as contas de energia elétrica do campus da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá o valor da tarifa média cobrada pela concessionária no ano de 2011 corresponde a R\$ 0,31430053 por kWh.

#### 4.3.3.1 Avaliação segundo o modelo Net-metering.

Para a avaliação da viabilidade econômica do sistema é, primeiramente, utilizado o modelo *net-metering*, já existente em países da Europa e nos EUA. Este modelo baseia-se em considerar o preço do kWh gerado pelo sistema fotovoltaico igual ao valor do kWh entregue pela concessionária.

Segundo Rüther et al. (2008), o tempo de retorno do investimento pode ser estimado em 7% ao ano para os cenários de reajuste tarifário da energia de 4% ao ano, em um período de 25 anos. A Tabela 19 mostra os valores da receita anual gerada pelo sistema por cada tecnologia fotovoltaica.

Tabela 19 - Receita anual da geração fotovoltaica para o sistema *net-metering*.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Geração média anual (kWh)</b> | <b>Receita anual do sistema (R\$)</b> |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Sistema p-Si      | 2.466.113,43                     | 775.100,76                            |
| Sistema c-Si      | 2.946.698,45                     | 926.148,88                            |

A quantia corrigida para o sistema fotovoltaico, com o valor do tempo de retorno do investimento estipulado e para o período de 25 anos é de R\$ 95.218.471,18 para a tecnologia p-Si e de R\$ 109.793.163,11 para a tecnologia c-Si. Segundo Takenaka (2011), este valor pode ser decrescido pelo valor da receita gerada corrigida até o valor final de 25 anos.

A Tabela 20 apresenta o saldo final devedor no período estipulado para o sistema fotovoltaico hipotético utilizando a tecnologia c-Si.

Tabela 20 - Saldo devedor para a tecnologia c-Si para o modelo *net-metering*.

| <b>Tempo (anos)</b> | <b>Receita (R\$)</b> | <b>Valor final (R\$)</b> | <b>Saldo devedor (R\$)</b> |
|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                   | 0                    | 0                        | 109.793.163,11             |
| 1                   | 926.148,88           | 4.697.767,00             | 105.095.396,11             |
| 2                   | 963.194,84           | 4.566.053,90             | 100.529.342,20             |
| 3                   | 1.001.722,63         | 4.438.033,70             | 96.091.308,50              |
| 4                   | 1.041.791,54         | 4.313.602,85             | 91.777.705,65              |
| 5                   | 1.083.463,20         | 4.192.660,71             | 87.585.044,94              |
| 6                   | 1.126.801,73         | 4.075.109,48             | 83.509.935,46              |
| 7                   | 1.171.873,80         | 3.960.854,07             | 79.549.081,38              |
| 8                   | 1.218.748,75         | 3.849.802,09             | 75.699.279,29              |
| 9                   | 1.267.498,70         | 3.741.863,71             | 71.957.415,58              |
| 10                  | 1.318.198,65         | 3.636.951,65             | 68.320.463,93              |
| 11                  | 1.370.926,59         | 3.534.981,04             | 64.785.482,89              |
| 12                  | 1.425.763,66         | 3.435.869,42             | 61.349.613,47              |
| 13                  | 1.482.794,20         | 3.339.536,63             | 58.010.076,84              |
| 14                  | 1.542.105,97         | 3.245.904,77             | 54.764.172,07              |
| 15                  | 1.603.790,21         | 3.154.898,09             | 51.609.273,98              |
| 16                  | 1.667.941,82         | 3.066.443,00             | 48.542.830,98              |
| 17                  | 1.734.659,49         | 2.980.467,97             | 45.562.363,01              |
| 18                  | 1.804.045,87         | 2.896.903,44             | 42.665.459,57              |
| 19                  | 1.876.207,71         | 2.815.681,85             | 39.849.777,71              |
| 20                  | 1.951.256,02         | 2.736.737,50             | 37.113.040,21              |
| 21                  | 2.029.306,26         | 2.660.006,54             | 34.453.033,67              |
| 22                  | 2.110.478,51         | 2.585.426,92             | 31.867.606,75              |
| 23                  | 2.194.897,65         | 2.512.938,32             | 29.354.668,43              |
| 24                  | 2.282.693,55         | 2.442.482,10             | 26.912.186,33              |
| <b>25</b>           | <b>2.374.001,29</b>  | <b>2.374.001,29</b>      | <b>24.538.185,04</b>       |

De acordo com os dados apresentados pela tabela acima, após 25 anos o saldo devedor ainda será de R\$ 24.538.185,04. Isto comprova que, para a tecnologia c-Si, o sistema tarifário *net-metering* não traz quaisquer benefícios financeiros ao investidor do projeto fotovoltaico interligado à rede elétrica.

A Tabela 21 apresenta o saldo final devedor no período estipulado para o sistema fotovoltaico hipotético utilizando a tecnologia p-Si.

Tabela 21 - Saldo devedor para a tecnologia p-Si para o modelo *net-metering*.

| <b>Tempo (anos)</b> | <b>Receita (R\$)</b> | <b>Valor final (R\$)</b> | <b>Saldo devedor (R\$)</b> |
|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                   | 0                    | 0                        | 95.218.471,18              |
| 1                   | 775.100,76           | 3.931.595,47             | 91.286.875,71              |
| 2                   | 806.104,79           | 3.821.363,82             | 87.465.511,88              |
| 3                   | 838.348,98           | 3.714.222,78             | 83.751.289,10              |
| 4                   | 871.882,94           | 3.610.085,70             | 80.141.203,41              |
| 5                   | 906.758,26           | 3.508.868,34             | 76.632.335,07              |
| 6                   | 943.028,59           | 3.410.488,85             | 73.221.846,21              |
| 7                   | 980.749,73           | 3.314.867,67             | 69.906.978,54              |
| 8                   | 1.019.979,72         | 3.221.927,46             | 66.685.051,09              |
| 9                   | 1.060.778,91         | 3.131.593,04             | 63.553.458,05              |
| 10                  | 1.103.210,07         | 3.043.791,37             | 60.509.666,68              |
| 11                  | 1.147.338,47         | 2.958.451,42             | 57.551.215,26              |
| 12                  | 1.193.232,01         | 2.875.504,19             | 54.675.711,07              |
| 13                  | 1.240.961,29         | 2.794.882,57             | 51.880.828,50              |
| 14                  | 1.290.599,74         | 2.716.521,38             | 49.164.307,12              |
| 15                  | 1.342.223,73         | 2.640.357,23             | 46.523.949,89              |
| 16                  | 1.395.912,68         | 2.566.328,52             | 43.957.621,37              |
| 17                  | 1.451.749,18         | 2.494.375,38             | 41.463.245,99              |
| 18                  | 1.509.819,15         | 2.424.439,63             | 39.038.806,36              |
| 19                  | 1.570.211,92         | 2.356.464,68             | 36.682.341,68              |
| 20                  | 1.633.020,39         | 2.290.395,58             | 34.391.946,10              |
| 21                  | 1.698.341,21         | 2.226.178,88             | 32.165.767,22              |
| 22                  | 1.766.274,86         | 2.163.762,65             | 30.002.004,56              |
| 23                  | 1.836.925,85         | 2.103.096,41             | 27.898.908,16              |
| 24                  | 1.910.402,89         | 2.044.131,09             | 25.854.777,07              |
| <b>25</b>           | <b>1.986.819,00</b>  | <b>1.986.819,00</b>      | <b>23.867.958,06</b>       |

Do mesmo modo, para a tecnologia p-Si o sistema tarifário empregado não traz resultados satisfatórios para o investidor, uma vez que, após 25 anos, o saldo devedor ainda será de R\$ 23.867.958,06.

Fica constatado, então, que para as duas tecnologias empregadas neste estudo o sistema já existente em países em que o uso de sistemas fotovoltaicos interligados à rede é comum, o sistema tarifário *net-metering* não é economicamente viável para o investidor.

#### 4.3.3.2 Avaliação segundo o modelo Feed-in tariff.

A segunda avaliação é realizada seguindo o modelo *feed-in tariff*, já existente em países como a Alemanha e Espanha. Este modelo baseia-se em considerar o preço do kWh gerado pelo sistema fotovoltaico maior do que o valor do kWh entregue pela concessionária.

Neste estudo o valor do kWh gerado pago pela empresa de energia elétrica é adotado como sendo duas vezes o valor da tarifa do kWh entregue pela concessionária, mesmo que em outros países este número possa ser ainda maior.

Segundo Takenaka (2011), para o sistema *feed-in tariff*, pode-se adotar o tempo de retorno do investimento como 7% ao ano para os cenários de reajuste tarifário da energia de 7% ao ano, em um período de 25 anos. A Tabela 22 mostra os valores da receita anual gerada pelo sistema por cada tecnologia fotovoltaica.

Tabela 22 - Receita anual da geração fotovoltaica para o sistema *feed-in tariff*.

| <b>Tecnologia</b> | <b>Geração média anual (kWh)</b> | <b>Receita anual do sistema (R\$)</b> |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| p-Si              | 2.466.113,429                    | 1.550.201,52                          |
| c-Si              | 2.946.698,449                    | 1.852.297,77                          |

O montante corrigido para o sistema fotovoltaico é calculado da mesma forma que fora realizado anteriormente para o modelo *net-metering*, resultando em uma quantia de R\$ 95.218.471,18 para a tecnologia p-Si e de R\$ 109.793.163,11 para a tecnologia c-Si.

A Tabela 23 apresenta o saldo final devedor no período estipulado para o sistema fotovoltaico hipotético utilizando a tecnologia c-Si.

Tabela 23 - Saldo devedor para a tecnologia c-Si para o modelo *feed-in tariff*.

| <b>Tempo(anos)</b> | <b>Receita(R\$)</b> | <b>Valor final(R\$)</b> | <b>Saldo devedor(R\$)</b> |
|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|
| 0                  | 0                   | 0                       | 109.793.163,11            |
| 1                  | 1.852.297,77        | 9.395.534,00            | 100.397.629,11            |
| 2                  | 1.981.958,61        | 9.395.534,00            | 91.002.095,11             |
| 3                  | 2.120.695,72        | 9.395.534,00            | 81.606.561,12             |
| 4                  | 2.269.144,42        | 9.395.534,00            | 72.211.027,12             |
| 5                  | 2.427.984,53        | 9.395.534,00            | 62.815.493,13             |
| 6                  | 2.597.943,44        | 9.395.534,00            | 53.419.959,13             |
| 7                  | 2.779.799,48        | 9.395.534,00            | 44.024.425,13             |
| 8                  | 2.974.385,45        | 9.395.534,00            | 34.628.891,14             |
| 9                  | 3.182.592,43        | 9.395.534,00            | 25.233.357,14             |
| 10                 | 3.405.373,90        | 9.395.534,00            | 15.837.823,14             |
| 11                 | 3.643.750,07        | 9.395.534,00            | 6.442.289,15              |
| <b>12</b>          | <b>3.898.812,58</b> | <b>9.395.534,00</b>     | <b>-2.953.244,85</b>      |
| 13                 | 4.171.729,46        | 9.395.534,00            | -12.348.778,85            |
| 14                 | 4.463.750,52        | 9.395.534,00            | -21.744.312,84            |
| 15                 | 4.776.213,06        | 9.395.534,00            | -31.139.846,84            |
| 16                 | 5.110.547,97        | 9.395.534,00            | -40.535.380,83            |
| 17                 | 5.468.286,33        | 9.395.534,00            | -49.930.914,83            |
| 18                 | 5.851.066,37        | 9.395.534,00            | -59.326.448,83            |
| 19                 | 6.260.641,02        | 9.395.534,00            | -68.721.982,82            |
| 20                 | 6.698.885,89        | 9.395.534,00            | -78.117.516,82            |
| 21                 | 7.167.807,90        | 9.395.534,00            | -87.513.050,82            |
| 22                 | 7.669.554,45        | 9.395.534,00            | -96.908.584,81            |
| 23                 | 8.206.423,27        | 9.395.534,00            | -106.304.118,81           |
| 24                 | 8.780.872,89        | 9.395.534,00            | -115.699.652,81           |
| 25                 | 9.395.534,00        | 9.395.534,00            | -125.095.186,80           |

Verifica-se que para o modelo *feed-in tariff* o sistema fotovoltaico utilizando a tecnologia c-Si teria, após doze anos de implantação, o completo retorno do investimento inicial corrigido em 25 anos. Vale ressaltar que ao final do 25º ano o ganho seria de R\$ 125.095.186,80, comprovando que o sistema, se corretamente empregado, traria um ganho considerável ao investidor.

A Tabela 24 apresenta o saldo final devedor no período estipulado para o sistema fotovoltaico hipotético utilizando a tecnologia p-Si.

Tabela 24 - Saldo devedor para a tecnologia p-Si para o modelo *feed-in tariff*.

| <b>Tempo (anos)</b> | <b>Receita (R\$)</b> | <b>Valor final (R\$)</b> | <b>Saldo devedor (R\$)</b> |
|---------------------|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| 0                   | 0                    | 0                        | 95.218.471,18              |
| 1                   | 1.550.201,52         | 7.863.190,95             | 87.355.280,23              |
| 2                   | 1.658.715,62         | 7.863.190,95             | 79.492.089,29              |
| 3                   | 1.774.825,72         | 7.863.190,95             | 71.628.898,34              |
| 4                   | 1.899.063,52         | 7.863.190,95             | 63.765.707,40              |
| 5                   | 2.031.997,96         | 7.863.190,95             | 55.902.516,45              |
| 6                   | 2.174.237,82         | 7.863.190,95             | 48.039.325,51              |
| 7                   | 2.326.434,47         | 7.863.190,95             | 40.176.134,56              |
| 8                   | 2.489.284,88         | 7.863.190,95             | 32.312.943,61              |
| 9                   | 2.663.534,82         | 7.863.190,95             | 24.449.752,67              |
| 10                  | 2.849.982,26         | 7.863.190,95             | 16.586.561,72              |
| 11                  | 3.049.481,02         | 7.863.190,95             | 8.723.370,78               |
| 12                  | 3.262.944,69         | 7.863.190,95             | 860.179,83                 |
| <b>13</b>           | <b>3.491.350,82</b>  | <b>7.863.190,95</b>      | <b>-7.003.011,12</b>       |
| 14                  | 3.735.745,38         | 7.863.190,95             | -14.866.202,06             |
| 15                  | 3.997.247,55         | 7.863.190,95             | -22.729.393,01             |
| 16                  | 4.277.054,88         | 7.863.190,95             | -30.592.583,95             |
| 17                  | 4.576.448,72         | 7.863.190,95             | -38.455.774,90             |
| 18                  | 4.896.800,13         | 7.863.190,95             | -46.318.965,85             |
| 19                  | 5.239.576,14         | 7.863.190,95             | -54.182.156,79             |
| 20                  | 5.606.346,47         | 7.863.190,95             | -62.045.347,74             |
| 21                  | 5.998.790,72         | 7.863.190,95             | -69.908.538,68             |
| 22                  | 6.418.706,07         | 7.863.190,95             | -77.771.729,63             |
| 23                  | 6.868.015,50         | 7.863.190,95             | -85.634.920,58             |
| 24                  | 7.348.776,59         | 7.863.190,95             | -93.498.111,52             |
| 25                  | 7.863.190,95         | 7.863.190,95             | -101.361.302,47            |

Utilizando a tecnologia p-Si com o modelo *feed-in tariff*, o investidor teria um retorno já no 13º ano após a implantação do projeto. Ao final do 25º ano, o ganho seria de R\$ 101.361.302,47.

Portanto, fica evidente que o sistema tarifário *feed-in tariff* passa a ser interessante para o investidor, uma vez que o retorno do investimento é obtido, independente da tecnologia fotovoltaica utilizada.

#### 4.3.4 Comparação dos resultados com trabalhos realizados anteriormente

Um estudo bastante similar a este foi realizado no campus do CEFET – MG, em Belo Horizonte, com o intuito de descobrir se a implantação de um sistema fotovoltaico interligado à rede elétrica seria viável dos pontos de vista de geração de energia elétrica e econômico.

Os resultados deste estudo foram bastante parecidos com os resultados encontrados para o presente trabalho, uma vez que praticamente todas as considerações de tecnologias fotovoltaicas utilizadas, atribuições dos sistemas tarifários (*net-metering* e *feed-in tariff*), utilizações das equações de geração de energia elétrica e *softwares* foram as mesmas.

Além de suprir 100% da demanda do CEFET - MG, o sistema hipotético geraria também um excedente de energia elétrica que seria negociada junto à concessionária local, CEMIG, de modo que houvesse um auxílio no fornecimento de energia elétrica local, bem como na forma de geração distribuída.

Do ponto de vista econômico, utilizando-se do modelo *net-metering* para quaisquer tecnologias utilizadas no estudo o sistema não seria viável, já que ao final do período de 25 anos sobraria, ainda, um saldo devedor para o investidor. Utilizando-se do sistema *feed-in tariff*, para as três tecnologias utilizadas no estudo, o tempo de retorno do investimento ficaria em 5 anos, sendo que ao final dos 25 anos o investidor receberia uma quantidade considerável em relação ao que fora investido.

Em ambos os trabalhos fica evidente a necessidade de haver um modelo que incentive a utilização de fontes renováveis como forma de geração de energia elétrica, tendo em vista que atualmente não existem quaisquer formas de apoio ou suporte por parte do governo e das concessionárias e não há um sistema tarifário sólido que contemple o uso de tais combustíveis que não apresentam riscos ao meio ambiente e à sociedade.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho aborda de forma objetiva a simulação de um sistema de painéis fotovoltaicos instalado em prédios da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá e interligado à rede elétrica local, com a finalidade de fornecer energia elétrica excedente à concessionária local. São avaliados os potenciais de geração energética para este modelo hipotético proposto, bem como a sua viabilidade econômica.

Realizou-se um estudo do histórico de consumo de energia do campus no ano de 2011, de modo que fosse possível traçar um padrão de consumo da mesma para que os cálculos tivessem um embasamento real. Ainda, realizou-se um levantamento das plantas arquitetônicas da Faculdade para que fossem escolhidos os melhores locais para a implantação do sistema fotovoltaico, considerando apenas as coberturas das edificações.

A cidade de Guaratinguetá é um excelente local para se pensar na construção de projetos que visam a utilização de energia solar como um meio alternativo, renovável e limpo de energia, uma vez que apresenta altos índices de irradiação solar por causa de sua localização geográfica.

A maioria dos países que já utilizam projetos enérgicos solares interligados à rede fazem a implementação do sistema utilizando dois tipos de tecnologias fotovoltaicas existentes no mercado: silício monocristalino (c-Si) e silício policristalino (p-Si), pois, além de serem mais acessíveis do ponto de vista econômico, possuem uma eficiência mais elevada em relação ao restante.

A partir do consumo de energia elétrica do campus foi possível saber se, com a área disponível das coberturas das edificações escolhidas, desprezando os possíveis focos de sombreamento, o sistema seria capaz de gerar energia suficiente para abastecer toda a demanda anual da Faculdade. Então, foi constatado que, utilizando-se ambas as tecnologias, seria necessário construir o arranjo fotovoltaico com menos da metade da área disponível.

Este foi um ponto importante levantado no estudo, pois com essa afirmação ficou comprovado que seria possível oferecer, ou ainda, negociar a energia elétrica gerada excedente junto à concessionária local. Assim, uma simulação foi realizada visando mensurar a quantidade do restante da energia que seria entregue a rede local. Obteve-se, assim, para a tecnologia de silício monocristalino uma considerável geração excedente de mais de duas vezes o consumo de todo o campus.

Portanto, ficou comprovado que, do ponto de vista da geração, o sistema fotovoltaico proposto seria completamente viável, uma vez que suportaria todo o suprimento de energia

elétrica da Faculdade e ainda produziria um saldo positivo para a utilização de outros consumidores locais.

Há no Brasil um problema relacionado ao sistema tarifário de energia nacional que não contempla os casos em que há a utilização de energia renovável como forma de fornecimento à rede elétrica pública local. Foram admitidos neste trabalho dois modelos tarifários utilizados em países da Europa e nos EUA, onde existe o incentivo tarifário e tributário por parte do governo para os produtores que utilizam a energia renovável como forma de produção de energia elétrica.

No modelo *net-metering*, em que a tarifa paga pela concessionária por kWh produzido é igual a tarifa cobrada pela mesma na venda de cada kWh, ficou constatado que, apesar do incentivo econômico, não haveria um retorno do dinheiro empregado pelo investidor, ficando um saldo devedor após um período de 25 anos para ambas as tecnologias fotovoltaicas simuladas.

Já no modelo *feed-in tariff*, em que a tarifa paga por kWh excedente pode ser maior do que a tarifa cobrada pela concessionária, foi possível obter um retorno do investimento no décimo segundo ano, chegando a valores consideráveis ao final do período de 25 anos.

O Brasil encontra-se em um período de desenvolvimento econômico robusto em processo de mudanças na sua estrutura econômica e de produção de energia. Fica evidente que, somente a partir do momento em que se começar a ter um sistema tarifário que estimule por meio de tarifas e incentivos subsidiados pelo governo o uso de tecnologias renováveis para a obtenção de energia elétrica, o cenário energético brasileiro sofrerá uma mudança benéfica com relação à geração distribuída, aumentando, assim, as alternativas complementares no abastecimento de energia elétrica.

O estudo de avaliação de potencial de energia fotovoltaica realizado neste trabalho visa desenvolver um sistema de placas fotovoltaicas interligadas à rede elétrica em uma edificação pública, os prédios da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, que tem características climáticas e construtivas que favorecem a implantação do projeto. Ressalta-se, que tal implementação pode ser realizada em qualquer edificação do Brasil que possua as características necessárias para o uso da energia solar como forma de geração de energia elétrica.

Sugere-se que haja um levantamento de dados mais abrangente dos dados de consumo da edificação estudada, de modo que o seja criado um padrão de utilização da energia elétrica. E ainda, um levantamento de um banco de dados de irradiação solar do local estudado, de

modo que seja possível a realização de uma análise ampla, bem como de implantações a longo prazo.

A avaliação da viabilidade econômica pode ser mais aprofundada, visando um levantamento mais específico de cada componente que integra o sistema fotovoltaico.

Para que se torne uma realidade no Brasil, a geração distribuída por meio de sistemas fotovoltaicos interligados à rede devem ser avaliados dos pontos de vista de regulamentação e tarifário, para que sejam estabelecidos os contratos entre os produtores de energia e a concessionária local.

## REFERÊNCIAS

ABE, R. S. **ESTUDOS E APLICAÇÕES DA CÉLULA FOTOVOLTAICA DSC**. Guaratinguetá. 2011

ACKERMANN, T; ANDERSSON, G; SÖDER, L. **Overview of government and a market driven programs for promotion of renewable power generation**. Renewable Energy 22: 197- 204. 2001.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz de Energia Elétrica**, 2005, 2007, 2009. Disponível em: [www.aneel.gov.br](http://www.aneel.gov.br). Acesso em: 12/09/2012

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 112, de 18 de maio de 1999**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Outubro de 2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução nº 414/2010**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em 10/09/2012.

Agência Nacional de Energia Elétrica. **TARIFAS DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA. BRASÍLIA. 2005**

ARRUDA, J. R. Disponível em <http://www2.feg.unesp.br/#!/colegio-tecnico-novo/historico/> Acesso em 03/09/2012.

BECQUEREL, A. E. **Mémoiresur les effetsélectriquesproduits sous l'influence des rayons solaires**.In: Compte rendudesséances de l'Académiedessciences. V.9, p 561 – 567, 1839.

BEN. **Resultados preliminares. Balanço Energético Nacional**. 2012: ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012 a.

BP. **BP Statistical Review of World Energy June 2007**. BP Company. Londres, 2007.

BRASIL. Secretaria de imprensa, Presidência da República. **RELATÓRIO DO BRASIL PARA CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, 1991.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro. 2006p.

HAMAKAWA, Y. **Solar PV Energy Conversion and the 21st Century's Civilization. Solar Energy Materials & Solar Cells**, n. 74, p. 13-23, 2002.

HAMMOND, C. R. **The Elements Handbook of Chemistry and Physics.**, ED. D.R. Lide, USA, CRC Press, 1998.

IEA – PVPS – International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. **“Added Values of Photovoltaic Power Systems”**. Report IEA – PVPS 1-09: 2001. 33p

IEA, International Energy Agency. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org). Acesso em: 20/10/2012.

MAYCOCK, P. D. **PV News Annual Survey of PV Module Production**. PV News, Vol.22 (3), 2003.

MME. Ministério das Minas de Energia. Balanço Energético Nacional 2009. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 02/11/2012.

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas brasileiro de energia solar**: INPE. São José dos Campos, 2006.

PHOTON-INTERNATIONAL. **PV Market Survey**. The Photovoltaic Magazine Aachen, Germany, 2006.

PRIEB, C. W. M. **DETERMINAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE SEGUIMENTO DE MÁXIMA POTÊNCIA DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE DE DISTRIBUIÇÃO**. Porto Alegre. 2011.

RAMPINELLI, G. A. **ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES ELÉTRICA EM UMA ASSOCIAÇÃO DE MÓDULOS DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE**. Porto Alegre. 2007.

REIS, L. B. D; FADIGAS, E. A. A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. Ed. Manole. 2005.

RODRIGUEZ, C. R. C. **Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: O Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede.** Campinas. 2002

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: O Potencial da Geração Solar Fotovoltaica Integrada a Edificações Urbanas e Interligada à Rede Elétrica Pública no Brasil.** Editora da UFSC. LABSOLAR Florianópolis, 2004.

RÜTHER, R. et al. **Programa de telhados solares fotovoltaicos conectados à rede elétrica pública no Brasil.** ANTAC. Entac. Fortaleza-CE. 2008a.

SALAMONI, I. T. et al. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados a Edificação e Interligados a Rede Elétrica em Centros Urbanos no Brasil: Dois Estudos de Caso.** In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo. Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável & X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo : ENTAC, 2004. v. 1. p. 432-446.

SALAMONI, I. T. **METODOLOGIA PARA CÁLCULO DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA EM ÁREAS URBANAS APLICADA A FLORIANÓPOLIS E BELO HORIZONTE** Florianópolis – SC. 2004

SANTOS, I. P. **INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS E SUA CONTRIBUIÇÃO EM UM ALIMENTADOR DE ENERGIA DE ZONA URBANA MISTA** Florianópolis. 2009

SANTOS, I. P. **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residências e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista.** Dissertação. UFSC. 2009

STARRS, J; WENGER, J. **Policies to Support a distributed energy system.** Renewable Energy Policy Project. 1998.

TAKENAKA, F. O. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA COBERTURA DAS EDIFICAÇÕES DO CAMPUS I - CEFET – MG, INTERLIGADO À REDE ELÉTRICA.** Florianópolis. 2010.

UNICAMP. **Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura.** Disponível em: <[http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_211.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_211.html)>. Acesso em 05/09/2012.

WIKIPEDIA (org.), **Célula Solar**. Disponível  
<[http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_solar](http://pt.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_solar)>. Acesso em 24/11/2012.

em