

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA – CAMPUS ARARANGUÁ**

**HÉLITON MARCON ROCHA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA  
DE ENERGIA**

**ARARANGUÁ**

**2015**

HÉLITON MARCON ROCHA

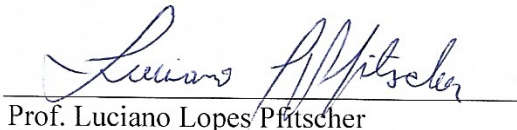
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE ENERGIA


Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina-Campus Araranguá

Aprovado em: 03/12/2015

Banca examinadora:

  
Prof. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)

  
Prof. Luciano Lopes Pfitscher

  
Prof. Leonardo Elzeire Bremermann

**ESTUDO DE CASO: DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DE VIABILIDADE  
ECONÔMICA DE UMA PLANTA FV PARA ATENDER A DEMANDA  
ENERGÉTICA DE UM ENGENHO DE ARROZ CONSIDERANDO ASPECTOS DE  
TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

**Héilton Marcon Rocha\***

**RESUMO**

A energia solar fotovoltaica vem, a cada ano, consolidando-se como uma promissora fonte de geração de energia renovável. O presente trabalho tem como objetivo dimensionar um sistema de minigeração fotovoltaica para o Engenho de Arroz Cereais Célia, localizado na cidade de Meleiro – Santa Catarina, e estudar diferentes cenários e proposições para analisar o período de retorno do investimento. Dentre os cenários e proposições avaliadas foram levadas em consideração as normativas e regulamentações vigentes da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), da Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) e da Cooperativa de Distribuição de Energia (CERSUL). A ANEEL é o órgão responsável pela regulamentação da energia elétrica no Brasil e a CELESC, assim como a CERSUL, são agentes de distribuição de energia elétrica no Estado de Santa Catarina. Então, a partir dos valores de tarifação aplicados à CELESC, será possível ter uma análise econômica do desenvolvimento do setor fotovoltaico no Brasil, mais especificamente na região sul do estado de Santa Catarina e se será necessário algum tipo de motivação ou apoio governamental no setor para que a energia solar fotovoltaica se torne mais competitiva e atrativa dentre as demais fontes de geração de energia encontradas no país.

Palavras chave: Energia solar fotovoltaica. Energia elétrica. Tarifação de energia elétrica.

## **1 INTRODUÇÃO**

Dentre as fontes de geração de energia elétrica, a energia solar fotovoltaica se destaca devido à sua utilização poder atender a demanda localmente. Ou seja, o sistema pode ser

---

\* Graduando do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900-000. E-mail: almeida.hmr@hotmail.com

instalado diretamente no local onde a energia elétrica será consumida. Este fato acaba se tornando um ponto positivo tanto para pequenos quanto para grandes consumidores que desejam investir em energia renovável e utilizar do chamado “marketing verde” para buscar novos ramos de mercado.

Devido à tecnologia empregada na geração fotovoltaica ser mais recente, em comparação com as outras fontes (termoelétricas, hidrelétricas), o investimento nesta área ainda se encontra elevado. Contudo, com os incentivos necessários este setor tende a mudar e se tornar competitivo com relação aos outros meios de geração de energia elétrica. Outro ponto que deve ser levado em consideração são as Normativas estabelecidas pela ANEEL, assim como os Requisitos das distribuidoras de energia elétrica, quando se trata de novas fontes geradoras que serão ligadas a rede de distribuição de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

A partir desta realidade do Setor Elétrico Brasileiro, este trabalho tem por objetivo realizar o estudo da implementação de um Parque Fotovoltaico para abastecer parcialmente a demanda de um engenho de arroz da região sul de Santa Catarina. E assim, dissertar sobre os resultados encontrados a partir da análise de diferentes cenários e propor possíveis mudanças que venham ser interessantes para aumentar o investimento na área da geração fotovoltaica.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Inicialmente, apresenta-se os principais tópicos teóricos relacionados à energia solar fotovoltaica e a atual regulamentação do setor elétrico brasileiro para a finalidade de micro e minigeração conectados ao sistema de distribuição de energia elétrica.

### **2.1 Energia solar fotovoltaica**

O sol é caracterizado como a fonte primária mais abundante de energia para o nosso planeta. Pode-se dizer que, com exceção da energia nuclear, todas as outras fontes de energia, sendo ela renovável ou não, são somente diferentes formas de energia solar, visto que todas elas necessitam da energia radiante do sol para existir (VICHI; MANSOR, 2009).

A energia solar fotovoltaica utiliza o Efeito Fotovoltaico para a geração de eletricidade. Este efeito é um processo físico-químico onde há a criação de tensão ou corrente elétrica num material após a sua exposição à luz (fótons) (RÜTHER, 2004). Este fenômeno ocorre nas células fotovoltaicas, que são constituídas de material semicondutor (principalmente o silício), e sofrem um processo chamado de “dopagem” para aumentar a eficiência da geração de energia

elétrica (CASTRO, 2002). A célula é o menor elemento do sistema fotovoltaico, e um conjunto de células forma o que se chama de módulo fotovoltaico. Um conjunto de módulos ligados em série forma uma *string*, e um conjunto de *strings* ligadas em paralelo formam um arranjo. Tanto as células dentro de um módulo, quanto as *strings* dentro de um arranjo podem ser ligadas em série e/ou paralelo de forma a obter o nível de tensão e corrente desejado (PINHO; GALDINO, 2014). A Figura 1 mostra a estrutura e o funcionamento de uma célula fotovoltaica após o processo de dopagem, onde a radiação solar incidente na célula irá gerar uma corrente elétrica contínua que através da conexão entre os contatos metálicos frontal e posterior irá suprir a carga.

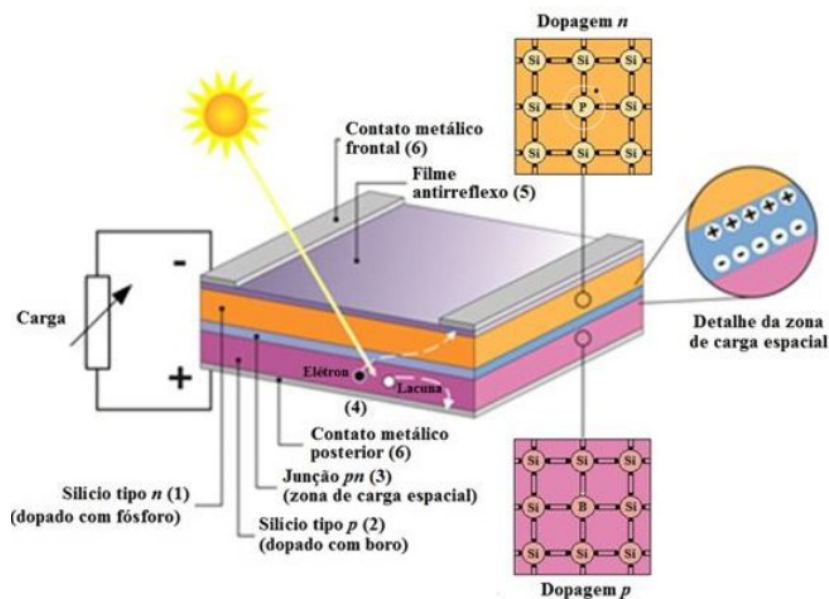


Figura 1 - Estrutura Básica de uma Célula Fotovoltaica (PINHO; GALDINO, 2014).

## 2.2 Grupos e modalidades tarifárias

O primeiro passo para definir o faturamento do fornecimento e/ou prestação de serviço de uma distribuidora de energia elétrica é o enquadramento da Unidade Consumidora (UC) em grupos tarifários, o Grupo A ou o Grupo B, que serão descritos a seguir (ELETROBRAS, 2011):

- 1) Grupo A - composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição. Pode ser subdividido em (ANEEL, 2010):

- a) Subgrupo A1- tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
  - b) Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
  - c) Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
  - d) Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
  - e) Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
  - f) Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e enquadradas neste Grupo em caráter opcional.
- 2) Grupo B - composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou, ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV e faturadas neste Grupo por opção, desde que atendidos os critérios definidos na legislação. Pode ser subdividido em (ANEEL, 2010):
- a) Subgrupo B1 – residencial;
  - b) Subgrupo B2 – rural;
  - c) Subgrupo B3 – demais classes;
  - d) Subgrupo B4 – iluminação pública.

O segundo passo é definir a estrutura tarifária, que é o conjunto de tarifas aplicáveis aos componentes de consumo de energia elétrica e/ou demanda de potência ativa, de acordo com a modalidade de fornecimento (ELETROBRAS, 2011). No Brasil, utilizam-se cinco tipos de estruturas (ou modalidades) tarifárias (ANEEL, 2010):

- a) Modalidade tarifária convencional monômnia: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica, independentemente das horas de utilização do dia;
- b) Modalidade tarifária horária branca: aplicada às unidades consumidoras do grupo B, exceto para o subgrupo B4 e para as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1,

caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica para horário de ponta<sup>1</sup> e fora de ponta<sup>2</sup>;

- c) Modalidade tarifária convencional binômia: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia;
- d) Modalidade tarifária horária verde: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, para horário de ponta e fora de ponta, e uma única tarifa de demanda de potência independentemente das horas de utilização do dia;
- e) Modalidade tarifária horária azul: aplicada às unidades consumidoras do grupo A, caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, para horário de ponta e fora de ponta.

A Tarifa de Energia (TE) é formada por duas parcelas e deve cobrir os custos ilustrados na Figura 2.

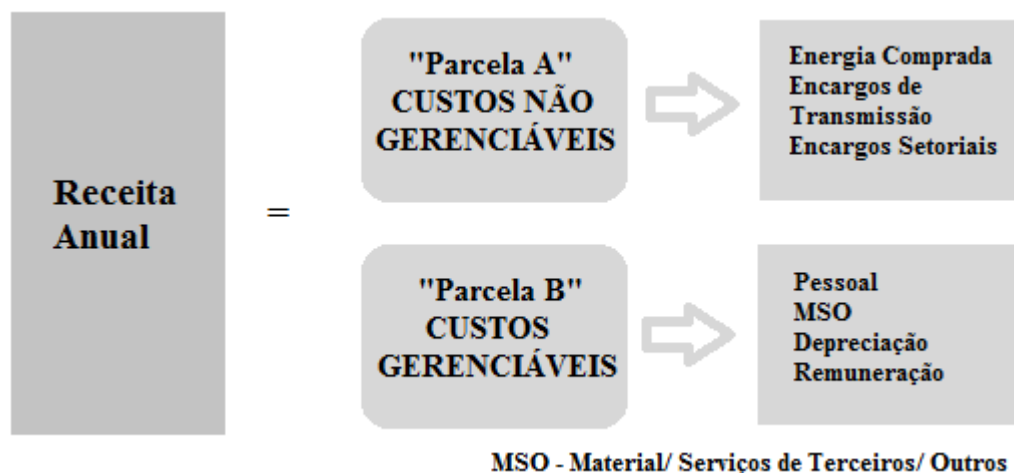


Figura 2 - Custos que a Tarifa de Energia Elétrica deve suprir (CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A., 2015b).

<sup>1</sup> Horário de Ponta - período composto por 3 (três) horas diárias consecutivas definidas pela distribuidora considerando a curva de carga de seu sistema elétrico, aprovado pela ANEEL para toda a área de concessão, com exceção feita aos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi e outros feriados nacionais (consultar Resolução Normativa 414 – ANEEL).

<sup>2</sup> Horário Fora de Ponta - período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.

### 2.3 Geração distribuída e normas regulamentadoras

A geração distribuída é caracterizada pela geração de energia elétrica junto ao ponto de consumo. Desde que entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e fornecer o excedente de geração para a rede de distribuição. Esta Resolução estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012a).

Os sistemas de microgeração são descritos como centrais geradoras de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilizem fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Já os sistemas de minigeração são aqueles com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW, seguindo os mesmos critérios dispostos para a microgeração (ANEEL, 2012a).

Quando a energia gerada for superior à consumida, ou quando o sistema de geração está gerando sem o consumo imediato da energia, este excedente de energia elétrica será jogado na rede de distribuição local e pode, posteriormente, ser compensado por meio da tarifa à unidade consumidora. A compensação é feita por meio de créditos na fatura de energia elétrica da mesma unidade consumidora (UC) ou na fatura de energia de outra UC, desde que possuam o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) (ANEEL, 2012a).

Além da Resolução Normativa ANEEL nº 482, existem outros documentos que devem ser seguidos na instalação de sistema de geração distribuída. Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica. O PRODIST conta com um total de nove (9) módulos que cobrem todos os tópicos relacionados ao sistema de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2015b). Dentro do Módulo 3 do PRODIST, a Seção 3.7 trata do Acesso de Micro e Minigeração Distribuída à rede de distribuição e deve ser respeitada pelos projetistas dos sistemas de geração. Nesta seção, o item 2.5.2 estabelece que compete à distribuidora a realização de todos os estudos para a integração de micro e minigeração distribuída, sem ônus ao acessante, devendo informar à central geradora os dados necessários à elaboração dos estudos que devem ser apresentados quando da solicitação de acesso.(ANEEL, 2012b).



Outro documento importante a ser considerado é o Manual de Procedimentos da CELESC, que trata sobre os Requisitos para a Conexão de Micro ou Minigeradores de Energia ao Sistema Elétrico da CELESC Distribuição. Neste manual está descrito todo o processo que deve ser seguido para a requisição e viabilização do acesso da micro e minigeração ao sistema elétrico da CELESC Distribuição e o processo de conexão do sistema à rede. Também especifica todos os pontos que são de responsabilidade do acessante e da CELESC para que a implementação do sistema seja aceita e esteja dentro dos padrões da ANEEL (CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A., 2014). A Figura 3 mostra as etapas que devem ser seguidas junto à CELESC para regularização do sistema de micro ou minigeração.

Etapa 1: Solicitação de Acesso	Etapa 2: Parecer Técnico de Acesso	Etapa 3: Implementação da Conexão	Etapa 4: Aprovação do Ponto de Conexão
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acessante formaliza à Celesc a Solicitação de Acesso ao sistema como micro/mini gerador e encaminha as informações necessárias (subitem 5.1)</li> <li>• Caso falem informações, o acessante terá 60 dias para reapresentar a documentação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celesc emitirá o Parecer Técnico de Acesso da instalação em até 30 dias.</li> <li>• Caso haja necessidade de reforços/obras no sistema, o prazo será de até 60 dias.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acessante encaminha à Celesc a Solicitação de Vistoria.</li> <li>• Celesc efetua vistoria nas instalações, em até 30 dias da solicitação.</li> <li>• Celesc emite Relatório de Vistoria, em até 15 dias após a vistoria.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acessante efetua as adequações pertinentes e comunica à Celesc.</li> <li>• Após a constatação das adequações, a Celesc aprova a operação da micro/mini geração em até 7 dias.</li> </ul>

Figura 3 - Etapas para Viabilização de Acesso (CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A., 2014).

O presente trabalho se trata de um sistema de minigeração distribuída que utiliza a energia solar fotovoltaica como fonte de geração. A energia solar fotovoltaica se encaixa em todos os itens descritos anteriormente, contudo ainda deve-se seguir as normativas nacionais designadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) direcionadas a este tipo de geração. Portanto, algumas normativas da ABNT pertinentes à energia solar fotovoltaica são apresentadas a seguir:

- NBR 11704 Sistemas Fotovoltaicos – Classificação: é responsável por classificar os sistemas de conversão fotovoltaica de energia solar em energia elétrica (ABNT, 2008).
- NBR IEC 62116 Procedimentos de Ensaio de Anti-Ilhamento para Inversores de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: fornece procedimentos de ensaio

para avaliar o desempenho das medidas de prevenção de ilhamento de inversores em sistemas conectados à rede elétrica (ABNT, 2012).

- NBR 16149 Sistemas Fotovoltaicos – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição: estabelece recomendações para interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica e seus requisitos (ABNT, 2013a).
- NBR 16150 Sistemas Fotovoltaicos – Características da Interface de Conexão com a Rede Elétrica de Distribuição – Procedimento de Ensaio de Conformidade: especifica os procedimentos de ensaio para verificar se os equipamentos na interface da conexão entre o sistema fotovoltaico e a rede estão em conformidade com a NBR 16149 (ABNT, 2013b).
- NBR 16274 Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede – Requisitos Mínimos para Documentação, Ensaio de Comissionamento, Inspeção e Avaliação de Desempenho: estabelece as informações e documentações mínimas que devem ser compiladas após a instalação do sistema fotovoltaico, os ensaios de comissionamento e os critérios de inspeção que avaliam a segurança da instalação e a correta operação do sistema (ABNT, 2014).

### **3 METODOLOGIA**

Neste tópico serão descritos os procedimentos estabelecidos para a realização da pesquisa.

#### **3.1 Dados de consumo de energia elétrica**

A empresa para a qual será realizada o estudo é Arroz e Cereais Célia, localizada na cidade de Meleiro – Santa Catarina. É uma empresa do ramo alimentício, que recebe e faz o tratamento de arroz para o consumo humano. O engenheiro após contatado e informado sobre os objetivos e diretrizes para a realização do projeto, disponibilizou todo o material necessário para os estudos. Como o projeto está diretamente ligado ao consumo de energia elétrica da empresa, o primeiro passo foi obter as faturas de energia elétrica completas do ano de 2010 até o ano de 2014. Estes dados possibilitaram a avaliação do histórico do consumo mensal além do conhecimento do Grupo Tarifário e da Modalidade Tarifária nos quais o engenheiro está enquadrado. Portanto, com as informações obtidas, foi possível construir um ano médio de

consumo e dimensionar um parque fotovoltaico que atenda parcialmente a demanda de energia elétrica consumida da rede de distribuição.

### 3.2 Simulação do parque fotovoltaico

Para o dimensionamento do parque fotovoltaico foi utilizado o Software *SAM*, desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, o laboratório nacional do Departamento de Energia dos Estados Unidos. Este software apresenta um banco de dados solarimétrico próprio, além de um completo banco de dados das tecnologias de módulos fotovoltaicos e inversores.

Durante o processo de dimensionamento foram feitas diversas simulações com diferentes tecnologias e potências de módulos, inversores e diferentes valores de ângulo de inclinação dos painéis. Os dados solarimétricos utilizados foram da cidade de Florianópolis, sendo a cidade mais próxima de Meleiro a possuir banco de dados disponibilizado pelo software. A Figura 4 apresenta uma média anual da radiação solar global diária do Brasil. E a partir dela pode-se notar que praticamente todo o estado de Santa Catarina possui uma mesma média anual. Portanto, a escolha da base de dados da cidade de Florianópolis não influencia em grande escala a geração de energia na cidade de Meleiro. Dentre as diversas opções de simulação criadas escolheu-se aquela que indicou uma maior geração de energia anual por um menor número de módulos e inversores.

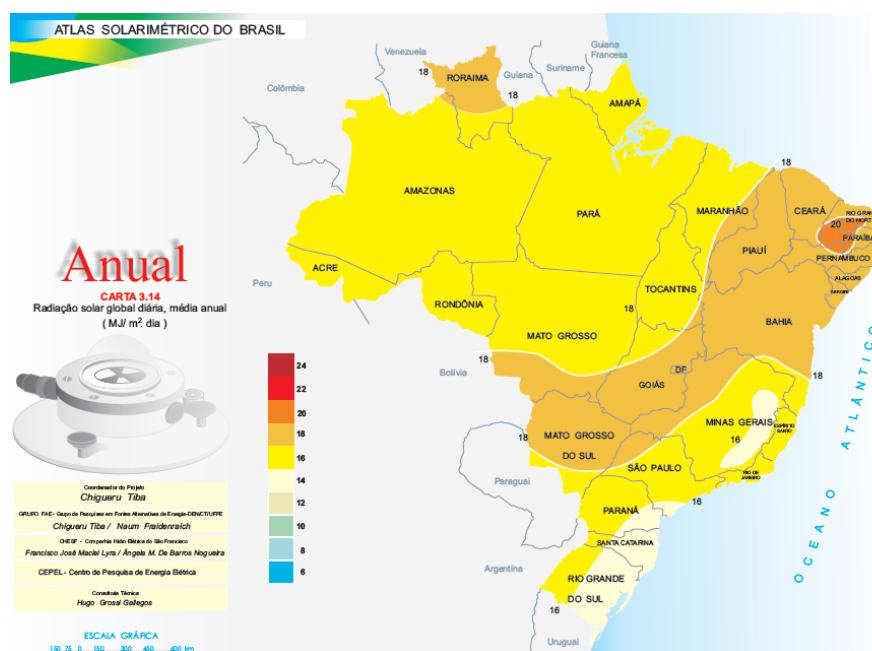


Figura 4 - Média Anual Brasileira da Radiação Solar Global Diária (TIBA et al., 2000).

O estudo realizado dentro dos 5 anos de dados disponibilizados pela empresa foi o que determinou a potência do parque fotovoltaico. A parcela de energia consumida levada em consideração no dimensionamento foi a energia consumida no horário de ponta, que apresenta uma parcela de aproximadamente 10% do consumo total de energia elétrica da empresa. A energia de ponta é aquela consumida entre os horários das 18:00 horas e 21:00 horas diárias. Portanto, o parque foi dimensionado para gerar um valor de energia próximo ao total que é consumido no horário de ponta sendo responsável por suprir cerca de 10% do que a empresa estaria consumindo.

### **3.3 Construção dos cenários**

O sistema de minigeração fotovoltaico dimensionado para a empresa Cereais Célia será analisado a partir de dois cenários. O primeiro cenário - Cenário Real - levará em consideração as normativas e regulamentações vigentes previstas pela ANEEL, ABNT e CELESC. E o segundo cenário - Cenário Hipotético - serão propostas algumas modificações nas regulamentações com o objetivo de incentivar a implantação de sistemas de geração distribuída de energia elétrica com base em energias renováveis. O objetivo de construir dois cenários é avaliar a diferença no período de retorno de investimento em ambos os casos e também os prós e contras que essas mudanças podem acarretar para as distribuidoras.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os tópicos seguintes apresentarão os valores de tarifação da CELESC, os resultados obtidos pela simulação do parque fotovoltaico através software *SAM*, assim como a análise do parque dentro dos cenários criados e seus respectivos períodos de retorno de investimento.

### **4.1 Tarifação CELESC**

A empresa Arroz e Cereais Célia recebe a energia elétrica da distribuidora em tensão de 13,8 kV, o que a classifica dentro do Grupo Tarifário A - Subgrupo A4. A sua Modalidade Tarifária é a Horária Verde. Apesar da distribuidora de energia elétrica da cidade de Meleiro ser a CERSUL, os dados utilizados no presente trabalho serão da CELESC. O motivo disto se dá devido ao Governo Federal estar diminuindo gradualmente os subsídios às Cooperativas de Distribuição de Energia Elétrica. Portanto, segundo informações da CERSUL, até o ano de

2019 os valores das tarifas de energia da Cooperativa serão iguais aos valores das tarifas da CELESC. Ou seja, através desta justificativa e de que a vida útil de um sistema fotovoltaico gira em torno de 25 anos, a maior parte da vida útil do parque estará dentro dos valores de tarifação da CELESC. Atualmente, os valores das tarifas das Cooperativas são mais baixos devido a estes subsídios governamentais.

As tarifas de energia elétrica da CELESC são estabelecidas através das Resoluções Homologatórias feitas pela ANEEL. A Tabela 1 traz os valores atuais da tarifa da CELESC para o grupo, subgrupo e modalidade tarifária da empresa descritos anteriormente.

Tabela 1 - Valores da Tarifa para Modalidade Horária Verde.

<b>Subgrupo</b>	<b>Classificação</b>	<b>Componentes</b>	<b>Demanda [R\$/kW]</b>	<b>Energia [R\$/kWh]</b>
		NA	9,11	0,00
A4	Todas as Classes	Ponta	0,00	1,08370
		Fora de Ponta	0,00	0,32193

Fonte: CELESC Distribuição S.A, 2015a.

O valor da tarifação é um dos pontos chaves durante o estudo de viabilidade econômica. Independentemente de o parque consumir a energia elétrica gerada ou injetá-la na rede, a economia monetária a ser reduzida na fatura de energia elétrica da empresa estará diretamente ligada à tarifa que está sendo cobrada pela distribuidora.

## 4.2 Parque fotovoltaico

O parque proposto tem potência de 200 kWp, característica que o classifica como um sistema de minigeração, contando com um total de 728 módulos de silício monocristalino do modelo Yingli Energy YL270C – 30b e 14 inversores Fronius Symo 10 kW, com uma área total ocupada de 1.800m<sup>2</sup>. Onde a potência de 200 kWp foi definida para gerar aproximadamente 10% da energia elétrica anual consumida pela empresa. Os módulos terão um ângulo de inclinação com a horizontal de 27°, valor próximo a latitude da cidade de Meleiro, e serão orientados para o norte geográfico. A disposição dos módulos e inversores para a construção do parque é: 56 *strings* com 13 módulos cada, divididas entre os 14 inversores. Ou seja, 4 *strings* por inversor. A Figura 5 apresenta o modelo de apenas um arranjo do Parque em questão.

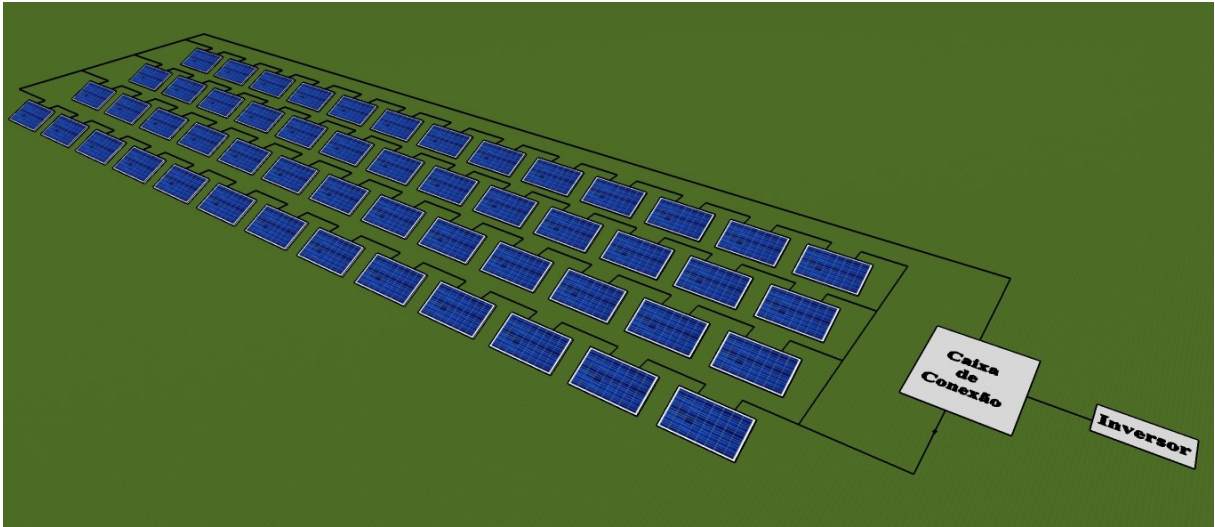


Figura 5 - Arranjo do Parque Fotovoltaico Dimensionado (AUTOR, 2015).

A Figura 6 apresenta a previsão da energia anual gerada pelo parque ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema fotovoltaico. Conforme dados do fabricante do módulo Yingli, deve-se levar em consideração uma degradação de 0,5% ao ano do painel. Portanto, a cada ano a energia anual gerada será inferior à do ano anterior. A energia prevista para o primeiro ano foi de 289,58 MWh.

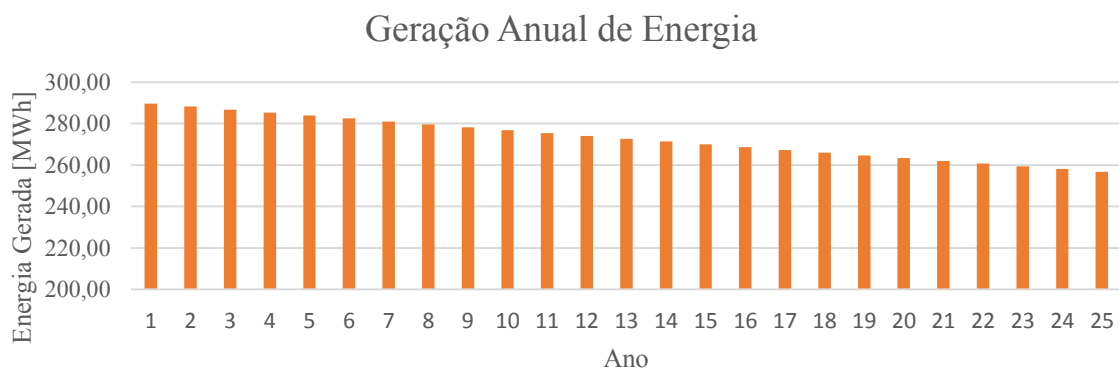


Figura 6 - Energia Gerada pela Usina Fotovoltaica dentro da sua vida útil (AUTOR, 2015).

O software também fornece alguns parâmetros que definem o comportamento e o desempenho de um sistema fotovoltaico conectado à rede. O indicador *Performance Ratio* (PR) – Equação 1 - relaciona o desempenho real do sistema com o desempenho máximo teórico possível. Portanto, este índice representa o grau de aproveitamento da instalação.

$$PR[\%] = \frac{E_{fv}}{I_{rT} * E_{fSTC}} * 100\% \quad (1)$$

Onde:

$E_{fv}$  [kWh/mês ou kWh/ano]: é a energia produzida pelo sistema, injetada na rede e/ou consumida pela carga, durante o período de tempo de avaliação (mês ou ano);

$I_{rT}$  [kWh/mês ou kWh/ano]: é a irradiação incidente na área do painel fotovoltaico e no plano de instalação do mesmo;

$E_{fSTC}$  [%]: é a eficiência nominal dos módulos fotovoltaicos nas Condições Padrão de Ensaio – irradiância solar de 1000 W/m<sup>2</sup>, temperatura de célula de 25°C, massa de ar de 1,5 e incidência normal dos raios solares no módulo.

O indicador *First Year*, também chamado de *Final Yield* ( $Y_f$ ) – Equação 2 - expressa a energia que foi entregue a rede (ou a carga) em kWh por unidade de potência pico instalada em kWp. Este índice representa o número de horas que o sistema deve operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia entregue no período. Geralmente, este índice é calculado para um período anual e é usado como uma forma de comparar sistemas de diferentes potências.

$$Y_f = \frac{E_{fv}}{P_N} \quad (2)$$

Onde:

$P_N$  [kW]: potência nominal do sistema.

O Fator de Capacidade (FC) – Equação 3, representa o nível de atividade da usina fotovoltaica, é definido pela energia efetivamente produzida na usina dividida pela energia que seria produzida caso a usina trabalhasse em sua potência nominal durante todo o período de tempo considerado.

$$FC[\%] = \frac{E_{fv}}{P_N * T} * 100\% \quad (3)$$

Onde:

T [horas]: representa o período de tempo considerado, normalmente um ano ou 8.760 horas.

O parque fotovoltaico em questão apresenta um PR igual a 82%, um  $Y_f$  igual a 1.473h e um FC igual a 16,8%. Através da Tabela 2 pode-se comparar, respectivamente, o *Performance Ratio*, o *Final Yield* e o Fator de Capacidade encontrados com os apresentados por R  ther et al. (2006); Viana et al. (2007); Dias (2006); Zomer (2014); Macedo (2006); Urbanetz Junior, Casagrande Junior e Tiepolo (2014); Lisita Júnior (2005); Oliveira (2002) e Viana et al. (2012).

Tabela 2 - Fator de Capacidade em SFCR instalados no Brasil.

<b>Instala��o</b>	<b>PR [%]</b>	<b><math>Y_f</math> [h]</b>	<b>FC [%]</b>
UFSC – Prédio de Engenharia Mecânica (2,0 kWp)	80	1.259	14,0
UFSC – Centro de Cultura e Eventos (10,24 kWp)	91	1.365	16,0
UFRGS – Laboratório de Energia Solar (4,8 kWp)	80	1.205	13,8
USP – Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (0,75 kWp)	81,4	1.429	16,8
IEE – USP – Prédio da Administra��o (12,3 kWp)	71	1.090	12,5
UTFPR – Escritório Verde	70	1.172	13,5

Fonte: AUTOR, 2015.

Dentre os índices citados na Tabela 2 e os apresentados pelo parque fotovoltaico dimensionado neste trabalho, tem-se que o Fator de Capacidade e o *Final Yield* se encontram como os mais elevados e o *Performance Ratio* apresenta um valor acima da média.

### 4.3 Orçamento do parque fotovoltaico

O orçamento foi realizado com a empresa Neosolar, localizada na cidade de São Paulo, especialista em Energia Solar Fotovoltaica e em projetos e instala  o de sistemas conectados à rede com compensa  o de energia. A empresa forneceu um orçamento com módulos multicristalinos Yingli Energy YL250P - 29b e inversores Fronius Symo 17,5 kW. Tanto os módulos quanto os inversores são das mesmas marcas utilizadas no parque dimensionado, porém, com características diferentes. Como os módulos do orçamento possuem uma potência menor (250 W) do que os utilizados no dimensionamento do parque (270 W), o número de módulos seria de 800 contra 728 módulos apresentados neste trabalho. E com os inversores seria o contrário, o inversor possui uma potência superior (17,5 kW), levando uma diminui  o do número de inversores de 14 para 10. Ou seja, no dimensionamento foram utilizados 728 módulos monocristalinos da Yingli Energy YL270P – 30b e 14 inversores Fronius Symo 10 kW; e o orçamento foi feito para 800 módulos Yingli Energy YL250P – 29b e 10 inversores Fronius Symo 17,5 kW.



Tendo em vista esta divergência entre dimensionamento e orçamento, porém, observando que o parque foi orçado para a mesma potência (200 kWp), somente com tecnologias diferentes, considera-se que o custo do Wp em Reais (R\$) seja constante e semelhante para os dois casos. Desta forma, o orçamento realizado pela Neosolar não traria uma divergência tão grande em questão de valor monetário, o que não afetaria significativamente a futura análise de período de retorno de investimento do sistema dimensionado para a empresa Arroz e Cerais Célia.

O parque, então, foi orçado em um valor de R\$ 1.576.045,98. Neste valor, além dos módulos e inversores, também estão inclusos:

- Material elétrico necessário para a instalação do sistema;
- Serviço de instalação do sistema;
- Projeto elétrico e regularização do sistema junto a distribuidora de energia local;
- Sistema de monitoramento dos dados de produção de energia.

Dentro dos materiais elétricos encontram-se: cabos e eletrodutos CC e CA com até 20 metros, dispositivos de proteção contra surtos (DPS), disjuntores CC e CA, chave seccionadora CC, conectores, parafusos e miscelâneas de instalação. Não está no orçamento material adicional que não está previsto nas normas da ANEEL e da distribuidora de energia, as estruturas para fixação dos módulos no solo e o frete desde São Paulo até o local da instalação.

Além do valor total do orçamento, ainda deve-se levar em consideração os custos de operação e manutenção do sistema e outros custos adicionais que venham a ser necessários. Pinho e Galdino (2014) diz que é estabelecido cerca de 20% do valor do investimento para custos com O&M dentro dos 25 anos de vida útil do sistema. Para os custos adicionais, como as estruturas de suporte dos módulos ao solo e outros materiais que venham a ser necessários, será estabelecido 10% do valor do orçamento, também durante toda a vida útil do sistema. A Tabela 3 apresenta o custo total do Sistema considerando todos os valores abordados.

Tabela 3 - Valores Referentes ao Investimento no Sistema Fotovoltaico.

<b>Descrição</b>	<b>Valor [R\$]</b>
Orçamento	1.576.045,98
Operação e Manutenção (O&M) – 20%	315.209,20
Adicionais – 10%	157.604,60
<b>Total Investido</b>	<b>2.048.859,77</b>

Fonte: AUTOR, 2015.

#### **4.4 Projeção para valores da tarifa de energia elétrica**

O segundo passo em direção ao estudo de viabilidade econômica é fazer uma projeção para o valor da tarifação ao longo do período de vida útil do sistema, visto que o valor das tarifas tende a variar ao longo dos anos. Para a Projeção atrelam-se os valores da tarifa da CELESC, dados na Tabela 1, à índices econômicos. Portanto, neste trabalho, serão consideradas duas Projeções.

##### **4.4.1 Projeção 1**

A Projeção 1 será feita com o índice da Inflação retirado do Histórico de Metas para a Inflação no Brasil feito pelo Banco Central do Brasil. A Inflação é a medida do crescimento dos preços de um conjunto de bens e serviços durante um período de tempo. A Figura 8 apresenta por meio de um gráfico os valores disponibilizados pelo Banco Central do Brasil desde o ano de 1999, onde os valores da inflação para os anos de 2015, 2016 e 2017 são a meta prevista da inflação para estes respectivos anos.



Figura 8 - Inflação no Brasil. Fonte: (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2015).

O valor a ser considerado na Projeção 1 será a média da inflação ao longo destes 19 anos de dados disponíveis. A média encontrada foi de 6,29% e assim, a cada ano, foi estabelecido que o valor da tarifa de energia aumentaria em 6,29%, tanto para tarifa de ponta quanto para a fora de ponta. Iniciando a Projeção com os valores da CELESC, Tabela 1, ao longo dos 25 anos de vida útil do sistema as tarifas de energia se comportariam como as apresentadas pela Tabela 4.

Tabela 4 - Valores das Tarifas de Ponta e Fora de Ponta para a Projeção 1.

Ano	Tarifa Fora de Ponta [R\$/kWh]	Tarifa na Ponta [R\$/kWh]
1	0,34218	1,15186
2	0,36370	1,22432
3	0,38658	1,30133
4	0,41090	1,38318
5	0,43674	1,47018
6	0,46421	1,56266
7	0,49341	1,66095
8	0,52445	1,76542
9	0,55743	1,87647
10	0,59250	1,99450
11	0,62976	2,11995
12	0,66938	2,25329
13	0,71148	2,39503
14	0,75623	2,54567
15	0,80380	2,70580
16	0,85436	2,87599
17	0,90810	3,05689
18	0,96522	3,24917
19	1,02593	3,45354
20	1,09046	3,67077
21	1,15905	3,90166

Continua

		Conclusão
22	1,23195	4,14708
23	1,30944	4,40793
24	1,39181	4,68519
25	1,47935	4,97988

Fonte: AUTOR, 2015.

#### 4.4.2 Projeção 2

A Projeção 2 tem a mesma ideia da primeira Projeção, mudando apenas o índice a ela atrelado. Na segunda Projeção leva-se em consideração os Atos Regulatórios feitos pela ANEEL. Nestes Atos Regulatórios são apresentados os Reajustes Tarifários delegados pela ANEEL para as Distribuidoras de Energia. Então, pesquisou-se os valores de reajuste impostos para a CELESC desde 1997 até o ano de 2015. A Figura 9 ilustra estes valores por meio de um gráfico.

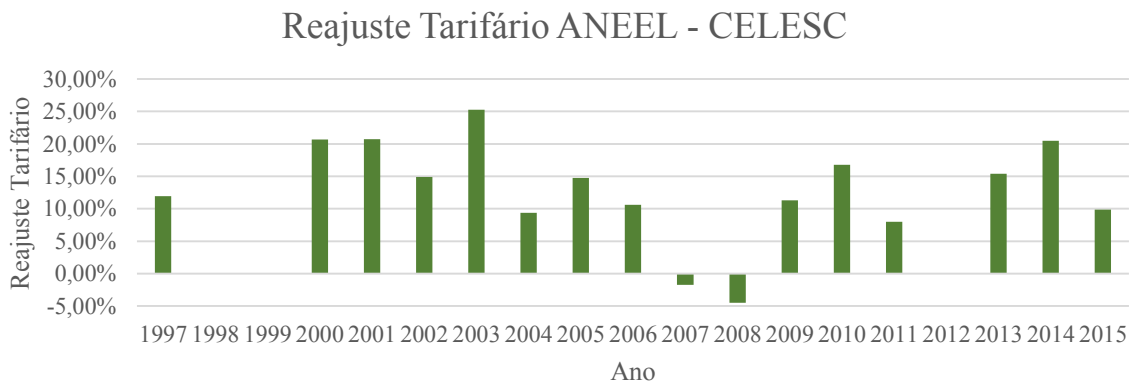


Figura 9 - Reajuste Tarifário Delegado pela ANEEL para CELESC (ANEEL, 2015a).

Percebe-se que para este índice há anos que não possuem reajustes e outros que possuem reajustes negativos, ou seja, houve uma diminuição do valor da tarifa de energia. Da mesma forma que na Projeção 1, toma-se a média dos valores apresentados na Figura 9, que é de 10,72%. Novamente, utilizando os valores da tarifa da CELESC, Tabela 1, a Projeção 2 se comportaria conforme a Tabela 5.

Tabela 5 - Valores das Tarifas de Ponta e Fora de Ponta para a Projeção 2.

Ano	Tarifa Fora de Ponta [R\$/kWh]	Tarifa na Ponta [R\$/kWh]
1	0,35644	1,19987
2	0,39465	1,32850
3	0,43696	1,47091
4	0,48380	1,62860
5	0,53566	1,80318
6	0,59309	1,99648
7	0,65667	2,21051
8	0,72706	2,44747
9	0,80500	2,70984
10	0,89130	3,00034
11	0,98684	3,32197
12	1,09263	3,67809
13	1,20976	4,07238
14	1,33945	4,50894
15	1,48304	4,99229
16	1,64202	5,52747
17	1,81805	6,12001
18	2,01294	6,77608
19	2,22873	7,50247
20	2,46765	8,30674
21	2,73218	9,19722
22	3,02507	10,18316
23	3,34936	11,27480
24	3,70841	12,48346
25	4,10595	13,82169

Fonte: AUTOR, 2015.

Ambas as Projeções, principalmente a Projeção 2, oferecem valores de tarifa que hoje parecem ser bastante altos. Contudo, não há como prever a situação econômica do país futuramente para fazer uma avaliação mais precisa destes índices.

#### 4.5 Cenário real

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados pertinentes à geração de energia elétrica do Parque Fotovoltaico dentro das normas vigentes.

##### 4.5.1 Descrição do cenário real

O Cenário Real será analisado de acordo com as normativas apresentadas anteriormente no item 2.3, principalmente em relação a Resolução Normativa ANEEL nº 482 por ela

regulamentar o sistema de compensação de energia elétrica, e ao Manual de Procedimentos da CELESC. A RN ANEEL nº 482 normativa diz que:

para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 36 (trinta e seis) meses.

E no que diz respeito ao valor que será creditado na fatura de energia elétrica da unidade consumidora:

em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora, conforme definição da RN ANEEL nº 414.

Portanto, tendo em vista que o horário de ponta da CELESC é definido das 18:00 horas até as 21:00 horas e que neste horário a geração de energia solar fotovoltaica é mínima, a energia gerada será quase que totalmente consumida fora do horário de ponta – que possui um valor de tarifação inferior ao do horário de ponta. Este efeito irá refletir no período do retorno do investimento durante o estudo de viabilidade econômica.

#### 4.5.2 Geração de energia elétrica

Como mencionado no item 4.2, a energia total gerada no primeiro ano de funcionamento do parque foi de 289,58 MWh. Contudo, para que a análise econômica seja feita adequadamente dentro da premissa de que a energia será compensada pelo posto tarifário do horário em que foi gerada, é necessário a distinção entre o que foi gerado no horário fora de ponta e o que foi gerado no horário de ponta. A Tabela 6 apresenta os valores, previstos para geração dentro e fora do horário de ponta, além do total de energia gerada por ano dentro do período de vida útil previsto, considerando um percentual de 0,5% de perda na eficiência do sistema ao ano.

Tabela 6 - Energia Gerada Pelo Sistema no Horário de Ponta e Fora de Ponta.

<b>Ano</b>	<b>Fora de Ponta [MWh]</b>	<b>Ponta [MWh]</b>	<b>Total [MWh]</b>
1	289,15	0,43	289,58
2	287,70	0,43	288,13
3	286,27	0,43	286,69
4	284,83	0,42	285,26
5	283,41	0,42	283,83
6	281,99	0,42	282,41
7	280,58	0,42	281,00
8	279,18	0,42	279,60
9	277,78	0,41	278,20
10	276,40	0,41	276,81
11	275,01	0,41	275,42
12	273,64	0,41	274,05
13	272,27	0,40	272,68
14	270,91	0,40	271,31
15	269,55	0,40	269,96
16	268,21	0,40	268,61
17	266,87	0,40	267,26
18	265,53	0,39	265,93
19	264,20	0,39	264,60
20	262,88	0,39	263,27
21	261,57	0,39	261,96
22	260,26	0,39	260,65
23	258,96	0,39	259,34
24	257,66	0,38	258,05
25	256,38	0,38	256,76

Fonte: AUTOR, 2015.

#### 4.5.3 Período de retorno de investimento para projeção 1 no cenário real

Na primeira análise econômica serão considerados os valores de geração de energia da Tabela 6 apresentados no item 4.5.2 e os valores de tarifação para a Projeção 1 apresentados na Tabela 4 do item 4.4.1. Para calcular o valor monetário que a empresa Arroz e Cerais Célia economizará de energia através da implantação do Parque Fotovoltaico deve-se multiplicar os valores de energia gerada pelo respectivo valor anual da tarifação. Ou seja, deve-se multiplicar os valores da Tabela 4 pelos da Tabela 6, sempre respeitando o que foi gerado na ponta e fora da ponta e seus respectivos valores de tarifação. O resultado é mostrado na Tabela 7:

Tabela 7 - Economia da Empresa com a Implantação do Parque para a Projeção 1 no Cenário Real.

Ano	Fora de Ponta [R\$]	Ponta [R\$]	SOMA [R\$]
1	98.940,74	500,80	99.441,54
2	104.638,29	529,64	105.167,94
3	110.663,94	560,14	111.224,08
4	117.036,58	592,40	117.628,98
5	123.776,19	626,51	124.402,70
6	130.903,90	662,59	131.566,49
7	138.442,07	700,74	139.142,82
8	146.414,33	741,10	147.155,42
9	154.845,67	783,77	155.629,44
10	163.762,53	828,91	164.591,44
11	173.192,88	876,64	174.069,52
12	183.166,28	927,12	184.093,40
13	193.714,00	980,51	194.694,51
14	204.869,12	1.036,98	205.906,09
15	216.666,61	1.096,69	217.763,30
16	229.143,47	1.159,84	230.303,31
17	242.338,81	1.226,63	243.565,44
18	256.294,01	1.297,27	257.591,28
19	271.052,83	1.371,97	272.424,80
20	286.661,54	1.450,98	288.112,52
21	303.169,09	1.534,54	304.703,62
22	320.627,23	1.622,90	322.250,13
23	339.090,71	1.716,36	340.807,07
24	358.617,42	1.815,19	360.432,61
25	379.268,58	1.919,72	381.188,30
<b>TOTAL</b>	<b>5.247.296,81</b>	<b>26.559,97</b>	<b>5.273.856,78</b>

Fonte: AUTOR, 2015.

Da Tabela 7, tem-se que no final do vigésimo quinto ano (25º) de implantação da usina a empresa terá economizado R\$ 5.273.856,78. Deste total, diminuindo o valor do investimento inicial, o lucro obtido pela instalação do sistema fotovoltaico será de R\$ 3.224.997,01. O período de *payback* está próximo ao décimo quarto (14º) ano após o sistema ter sido implantado.

#### 4.5.4 Período de retorno de investimento para projeção 2 no cenário real

Da mesma forma, para a Projeção 2, serão considerados os valores de geração de energia apresentados na Tabela 6. A diferença é que agora serão considerados os valores de tarifação



para a projeção feita com base no Reajuste Tarifário da ANEEL, Tabela 5. O processo é feito do mesmo modo ao mostrado no item 4.5.3. O resultado é mostrado na Tabela 8.

Tabela 8 - Economia da Empresa com a Implantação do Parque para a Projeção 2 no Cenário Real.

<b>Ano</b>	<b>Fora de Ponta [R\$]</b>	<b>Ponta [R\$]</b>	<b>SOMA [R\$]</b>
1	103.064,44	521,68	103.586,11
2	113.542,38	574,71	114.117,09
3	125.085,55	633,14	125.718,69
4	137.802,25	697,51	138.499,75
5	151.811,78	768,42	152.580,19
6	167.245,57	846,54	168.092,11
7	184.248,42	932,60	185.181,02
8	202.979,85	1.027,41	204.007,27
9	223.615,60	1.131,86	224.747,46
10	246.349,25	1.246,93	247.596,19
11	271.394,10	1.373,70	272.767,80
12	298.985,11	1.513,36	300.498,47
13	329.381,14	1.667,21	331.048,35
14	362.867,34	1.836,71	364.704,05
15	399.757,89	2.023,43	401.781,32
16	440.398,87	2.229,14	442.628,02
17	485.171,58	2.455,77	487.627,35
18	534.496,07	2.705,43	537.201,50
19	588.835,07	2.980,48	591.815,55
20	648.698,40	3.283,48	651.981,89
21	714.647,68	3.617,29	718.264,97
22	787.301,62	3.985,04	791.286,66
23	867.341,85	4.390,18	871.732,03
24	955.519,29	4.836,50	960.355,79
25	1.052.661,21	5.328,20	1.057.989,41
<b>TOTAL</b>	<b>10.393.202,30</b>	<b>52.606,72</b>	<b>10.445.809,03</b>

Fonte: AUTOR, 2015.

Da Tabela 8, ao final do vigésimo quinto (25º) ano de implantação da usina a empresa Arroz e Cereais Célia terá economizado R\$ 10.445.809,03. Deste total, diminuindo-se o valor do investimento inicial apresentado pela Tabela 3, é apresentado o lucro de R\$ 8.396.949,25 obtido pela instalação do sistema fotovoltaico. O período de retorno do investimento para a Projeção 2 está entre o décimo primeiro (11º) e o décimo segundo (12º) ano após o sistema ter sido implantado. A Projeção 2 apresenta uma diminuição de 2 a 3 anos de retorno de investimento em comparação com a Projeção 1 e um lucro cerca de duas vezes maior.

## 4.6 Cenário hipotético

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados pertinentes à geração de energia elétrica do Parque Fotovoltaico com algumas modificações nas normativas vigentes com o intuito de favorecer o investimento do consumidor em energias renováveis.

### 4.6.1 Descrição do cenário

O Cenário Hipotético será criado modificando o inciso IV no art. 7º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Este inciso, na sua forma original diz:

em cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, a compensação deve se dar primeiramente no posto tarifário em que ocorreu a geração e, posteriormente, nos demais postos tarifários, devendo ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia – TE para diferentes postos tarifários de uma mesma unidade consumidora, conforme definição da Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, se houver (ANEEL, 2012a).

A modificação será no âmbito de o consumidor poder compensar a energia gerada com o valor da tarifação no horário de ponta independente do posto tarifário onde foi gerada. Ou seja, se a energia for gerada no horário fora de ponta o consumidor pode direcionar essa energia para a rede da distribuidora e requerer a compensação na fatura de energia com a tarifação do horário de ponta. Lembrando que a micro e minigeração de energia são definidas somente para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, esta modificação traria um ambiente favorável para o investimento neste setor, o que ajudaria a diversificar a matriz elétrica brasileira e evitaria a poluição do ambiente por ser uma energia de caráter limpo. Por outro lado, esta modificação traria desvantagens econômicas para a distribuidora, já que o valor compensado pela energia seria maior. Portanto, seria necessária a participação do Governo Federal como investidor para que as distribuidoras de energia elétrica não saiam prejudicadas por meio da aplicação deste cenário proposto.

Esta mudança, que parece ser pequena visto ser somente um único inciso da Resolução Normativa nº 482, traz mudanças significativas tanto para o consumidor quanto para a distribuidora de energia elétrica. Os resultados e as consequências deste Cenário Hipotético proposto serão descritos a seguir.

#### 4.6.2 Geração de energia elétrica

A geração de energia elétrica não será influenciada visto que é uma característica do Parque Fotovoltaico. Portanto, os dados para este Cenário serão os mesmos apresentados pela Tabela 6 do item 4.5.2. A diferença é que, como a compensação será dada somente no horário de ponta para toda a energia gerada, não será necessária a divisão do que foi gerado no horário fora de ponta e no horário ponta. Assim, será utilizado somente os valores totais de geração anual – índices da coluna denominada “Total” da Tabela 6.

É importante lembrar também que o Parque Fotovoltaico foi dimensionado para atender a demanda do horário de ponta da empresa Arroz e Cereais Célia. Desta forma, a empresa trabalhará no horário de ponta sem possuir custos significativos com o gasto de energia elétrica. Como a eficiência do parque decai cerca de 0,5% ao ano e foi considerado que a empresa possua um consumo médio anual neste horário, alguns erros podem ser esperados para o caso real de aplicação. Além disso a empresa pode vir a ter um aumento de carga por novas instalações devido às mudanças do mercado dentro destes 25 anos de análise.

#### 4.6.3 Período de retorno de investimento para projeção 1 no cenário hipotético

No cálculo de retorno de investimento para a Projeção do Cenário Hipotético serão levados em consideração o investimento do parque, dado pela Tabela 3, o valor total de energia gerada, dado pela Tabela 6, e os valores de tarifação do Horário de Ponta, dados na Tabela 4. Assim, o valor monetário total compensado pela distribuidora para a empresa está apresentado na Tabela 9. Lembrando que a Projeção 1 foi realizada com a média de 6,29% de aumento na tarifa de energia com base no índice da Inflação fornecido pelo Banco Central do Brasil, item 4.4.1.

Tabela 9 - Economia da Empresa com a Implantação do Parque para a Projeção 1 no Cenário Hipotético.

<b>Ano</b>	<b>Horário de Ponta [R\$]</b>
1	333.561,04
2	352.769,32
3	373.083,71
4	394.567,93
5	417.289,32
6	441.319,13
7	466.732,71
8	493.609,75
9	522.034,52
10	552.096,13
11	583.888,87
12	617.512,40
13	653.072,16
14	690.679,65
15	730.452,78
16	772.516,27
17	817.002,00
18	864.049,47
19	913.806,19
20	966.428,18
21	1.022.080,43
22	1.080.937,44
23	1.143.183,76
24	1.209.014,57
25	1.278.636,28
<b>TOTAL</b>	<b>17.690.323,99</b>

Fonte: AUTOR, 2015.

Ao final do ano 25 a empresa Arroz e Cerais Célia teria economizado R\$ 17.690.323,99 em energia elétrica do horário de ponta. Retirando o valor do investimento inicial, o lucro seria de R\$ 15.641.464,22. O período de retorno de investimento para esta primeira projeção do Cenário Hipotético ficaria em torno do quinto (5º) ao sexto (6º) ano, apresentando uma redução de cerca de 8 anos em comparação ao da Projeção 1 do Cenário Real.

#### 4.6.4 Período de retorno de investimento para projeção 2 no cenário hipotético

Para a Projeção 2 do Cenário Hipotético recorrer-se-á novamente à Tabela 3 e ao valor referente à coluna “Total” da Tabela 6. Porém, agora serão utilizados os valores de tarifação para o horário de ponta apresentados na Tabela 5 do item 4.4.2. Lembrando que a segunda

Projeção foi realizada com base no índice do Reajuste Tarifário delegado pela ANEEL, que apresentou uma média de 10,72%. O resultado é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Economia da Empresa com a Implantação do Parque para a Projeção 2 no Cenário Hipotético.

<b>Ano</b>	<b>Horário de Ponta [R\$]</b>
1	347.463,34
2	382.787,85
3	421.703,59
4	464.575,67
5	511.806,29
6	563.838,56
7	621.160,65
8	684.310,32
9	753.880,05
10	830.522,51
11	914.956,75
12	1.007.974,91
13	1.110.449,67
14	1.223.342,43
15	1.347.712,31
16	1.484.726,14
17	1.635.669,33
18	1.801.958,02
19	1.985.152,28
20	2.186.970,80
21	2.409.307,00
22	2.654.246,79
23	2.924.088,14
24	3.221.362,63
25	3.548.859,24
<b>TOTAL</b>	<b>35.038.825,27</b>

Fonte: AUTOR, 2015.

Com base nesta Projeção, ao longo dos 25 anos, o sistema fotovoltaico proporcionaria uma economia de R\$ 35.038.825. Retirando o valor do investimento inicial, tem-se um lucro de R\$ 32.989.965,50. O período de retorno de investimento estaria em torno de quatro (4) a cinco (5) anos. Em comparação com a Projeção 2 do Cenário Real, a redução no período de *payback* seria de aproximadamente 7 anos e o lucro aumentaria cerca de duas vezes.

A Tabela 11 apresenta um resumo dos resultados encontrados para cada Projeção dentro de seus respectivos Cenários.

Tabela 11 - Resultados dos Cenários Propostos e seus Respectivos *Payback*.

	<b>Investimento</b>	<b>Lucro [R\$]</b>	<b><i>Payback</i> [ano]</b>
Cenário Real	Projeção 1	3.224.997,00	14
	Projeção 2	8.396.949,25	12
Cenário Hipotético	Projeção 1	15.641.464,22	6
	Projeção 2	32.989.965,50	5

Fonte: AUTOR, 2015.

## 5 CONCLUSÃO

A energia solar fotovoltaica vem buscando seu lugar no mercado brasileiro dentre tantas outras formas de geração de energia já existentes no país. Devido à sua forma de geração poder ser local, pode gerar energia próximo ao ponto de consumo, a sua esfera de aplicação é muito grande, esbarrando apenas nos custos do investimento. Contudo, este cenário vem mudando com a grande procura, principalmente de pequenos e médios consumidores, de sistemas fotovoltaicos que atendam parte da sua demanda reduzindo assim o seu consumo de energia da distribuidora local.

O presente trabalho apresentou o dimensionamento de uma usina fotovoltaica para atender parte da demanda da empresa Arroz e Cerais Célia, localizada na cidade de Meleiro – Santa Catarina. E também apresentou o estudo econômico, visando analisar o período de retorno de investimento do parque fotovoltaico em questão. Para isto foram realizadas duas Projeções para a tarifação de energia elétrica apresentada pela CELESC Distribuidora. A primeira Projeção levando em consideração o aumento da tarifa com um valor médio da Inflação apresentada pelo Brasil nos últimos anos, e a segunda Projeção atrelada à uma média dos valores estabelecidos pelos Atos Regulatórios da ANEEL. Desta forma, diferentes estudos econômicos e resultados puderam ser estudados.

Apesar da dificuldade de se prever a economia do país ao longo de 25 anos, todas as aplicações estudadas obtiveram um resultado de bom a satisfatório. Considerando o pior caso, o Cenário Real com a Projeção atrelada a Inflação, tem-se um período de retorno de investimento de 14 anos, ou seja, o parque fotovoltaico terá ainda 11 anos de operação.

Concluindo, a energia solar fotovoltaica está aumentando a sua parcela de geração na matriz elétrica brasileira. A ANEEL vem realizando cada vez mais Leilões de Fontes Alternativas visando diversificar a matriz elétrica brasileira e introduzir ainda mais estas tecnologias no mercado investidor. A partir disto, pode-se esperar que a geração fotovoltaica

creança ainda mais nos próximos anos, tornando-se um campo atrativo para investidores tanto no quesito ambiental quanto no econômico.

**CASE STUDY: SIZING AND ECONOMIC FEASIBILITY ANALYSIS OF A PV  
PLANT TO ATEND ENERGY DEMAND OF A RICE MILL CONSIDERING  
ASPECTS OF ELECTRICAL ENERGY RATES.**

**ABSTRACT**

Photovoltaic solar energy has been consolidated itself as a promising source of renewable power generation. The presente work aims to sizing a minigeneration photovoltaic plant for the Rice Mill Arroz e Cereais Célia, located in Meleiro – Santa Catarina, and study different scenarios and proposals to analyse the payback period of the investments. Among the assessed scenarios and proposals were taken into consideration the norms and current regulations of Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC) and Cooperativa de Distribuição de Energia (CERSUL). Where ANEEL is responsible for the electrical energy regulation in Brazil and CELESC, as well as CERSUL, are electrical energy distribution agents in the state of Santa Catarina. Then, from the values of electrical energy rates applied to CELESC, it will be possible have an economic analysis of the development of the photovoltaic industry in Brazil, more specifically in the southern state of Santa Catarina and if will be necessary some kind of incentive or Government support in the sector for the photovoltaic solar energy becomes more competitive and attractive among other sources of power generation in the country.

Keywords: Photovoltaic solar energy. Electrical energy. Electrical energy rates.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11704**: Sistemas Fotovoltaicos – Classificação. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16149**: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição. Rio de Janeiro, 2013a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16150**: Sistemas fotovoltaicos (FV) - Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição - Procedimento de ensaio de conformidade. Rio de Janeiro, 2013b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274**: Sistemas fotovoltaicos conectados à rede - Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 62116**: Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Rio de Janeiro, 2012.

ANEEL (Brasil). **Atos Regulatórios - Reajuste Tarifário**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ReajusteTarifario/default\\_aplicacao\\_reajuste\\_tarifario.cfm](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/ReajusteTarifario/default_aplicacao_reajuste_tarifario.cfm)>. Acesso em: 11 out. 2015a.

ANEEL (Brasil). **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 07 out. 2015b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RN 414**: Resolução Normativa N° 414. Brasília: ANEEL, 2010. 210 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **RN 482**: Resolução Normativa N° 482. Brasília: ANEEL, 2012a. 210 p. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional – PRODIST Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição**. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2012b.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (Brasil). **Histórico de metas para a inflação no Brasil**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/Pec/metastabelaMetaseResultados.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.

CASTRO, R. M. G. **Introdução à energia fotovoltaica**. UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO DEEC / Secção de Energia, 2002.



CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A. (Santa Catarina). **Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores de energia ao sistema elétrico da Celesc Distribuição.** 2014.

CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A. (Santa Catarina). **Tarifas.** 2015a. Disponível em: <<http://novoportal.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: 20 set. 2015.

CELESC DISTRIBUIÇÃO S.A. (Santa Catarina). **Tarifas de fornecimento de energia elétrica.** Disponível em: <[http://portal.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com\\_content&task=view&id=66&Itemid=105](http://portal.celesc.com.br/portal/grandesclientes/index.php?option=com_content&task=view&id=66&Itemid=105)>. Acesso em: 20 set. 2015b.

DIAS, João Batista. **Instalação fotovoltaica conectada à rede: estudo experimental para otimização do fator de dimensionamento.** 2006. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <[http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5819?locale=pt\\_BR](http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5819?locale=pt_BR)>. Acesso em: 15 out. 2015.

ELETROBRÁS. **Manual de tarifação da energia elétrica.** Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2011. 56 p. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel\\_EPP - Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual_de_Tarif_En_El_-_Procel_EPP_-_Agosto-2011.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2015.

URBANETZ JUNIOR, Jair; CASAGRANDE JUNIOR, Eloy Fassi; TIEPOLO, Gerson Máximo. Acompanhamento do desempenho do sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica do escritório verde da UTFPR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO, 9., 2014, Florianópolis. **Anais...** . Florianópolis: Cbpe, 2014. p. 1 - 13. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/275951651\\_Acompanhamento\\_do\\_Desempenho\\_do\\_Sistema\\_Fotovoltaico\\_Conectado\\_\\_Rede\\_Eltrica\\_do\\_Escritrio\\_Verde\\_da\\_UTFPR](http://www.researchgate.net/publication/275951651_Acompanhamento_do_Desempenho_do_Sistema_Fotovoltaico_Conectado__Rede_Eltrica_do_Escritrio_Verde_da_UTFPR)>. Acesso em: 15 out. 2015.

LISITA JUNIOR, Orlando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede : Estudo de caso - 3 kWp instalados no estacionamento do IEE-USP.** 2005. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Mestrado\\_Orlando\\_Lisita.pdf](http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Mestrado_Orlando_Lisita.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

MACEDO, Wilson Negrão. **Análise do fator de dimensionamento do inversor aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** 2006. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29112006-153307/pt-br.php>>. Acesso em: 15 out. 2015.

OLIVEIRA, Sergio Henrique Ferreira de. **Geração distribuída de eletricidade; inserção de edificações fotovoltaicas conectadas à rede no estado de São Paulo.** 2002. 205 f. Tese (Doutorado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <[http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Doutorado\\_Sergio\\_Ferreira\\_Oliveira.pdf](http://www.iee.usp.br/lfs/sites/default/files/Doutorado_Sergio_Ferreira_Oliveira.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antonio (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual\\_de\\_Engenharia\\_FV\\_2014.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2015.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Ufsc/ Labsolar, 2004. 118 p. Disponível em: <<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2015.

RÜTHER, Ricardo et al. Performance of the first grid-connected, BIPV installation in Brazil over eight years of continuous operation. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE, 21., 2006, Dresden. **Proceedings...** . Dresden: Labsolar, 2006. p. 2761 - 2764. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/228691773\\_Performance\\_of\\_the\\_First\\_Grid-Connected\\_BIPV\\_Installation\\_in\\_Brazil\\_Over\\_Eight\\_Years\\_of\\_Continuous\\_Operation](http://www.researchgate.net/publication/228691773_Performance_of_the_First_Grid-Connected_BIPV_Installation_in_Brazil_Over_Eight_Years_of_Continuous_Operation)>. Acesso em: 15 out. 2015.

TIBA, Chigueru et al. **Atlas solarimétrico do Brasil: Banco de Dados Solarimétricos**. Recife: Universitária da Ufpe, 2000. 116 p. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas\\_Solarimetrico\\_do\\_Brasil\\_2000.pdf](http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf)>. Acesso em: 15 set. 2015.

VIANA, Trajano de Souza et al. Centro de eventos da UFSC: integração de sistemas fotovoltaicos à arquitetura. In: ENCONTRO NACIONAL E V LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** .Ouro Preto: Labeee, 2007. p. 1998 - 2007. Disponível em: <[https://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2007/ENCAC/viana\\_zomer.pdf](https://www.lepten.ufsc.br/publicacoes/solar/eventos/2007/ENCAC/viana_zomer.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

VIANA, Trajano de Souza et al. Sistema fotovoltaico de 2kWp integrado a edificação: análise do desempenho de 14 anos de operação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR E V CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DA ISES, 9., 2012, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Ufsc, 2012. p. 1 - 6. Disponível em: <[http://www.acquaviva.com.br/CD\\_CBENS/trabalhos/T353.pdf](http://www.acquaviva.com.br/CD_CBENS/trabalhos/T353.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2015.

VICHI, Flávio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. Energia, meio ambiente e economia: o brasil no contexto mundial. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p.757-767, abr. 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2015.

ZOMER, Clarissa Debiazi. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. 2014. 258 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/128929>>. Acesso em: 13 out. 2015.

## **AGRADECIMENTOS**

À empresa Arroz e Cereais e ao seu corpo de funcionários que auxiliaram na obtenção de dados para a realização deste trabalho, em especial à Arthur Mondardo Olivo.

Aos meus pais, pelo empenho e incentivo a mim dedicados ao longo da construção deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao Professor Giuliano Arns Rampinelli, que dedicou seu tempo como meu orientador, agregando o conhecimento necessário para construção e conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina e seus funcionários, por tudo o que vem fornecendo ao longo de minha jornada acadêmica.