

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GUSTAVO VIEIRA DE REBOUÇAS

**ANÁLISE TÉCNICA-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO SAAE-VIÇOSA**

VIÇOSA
2016

GUSTAVO VIEIRA DE REBOUÇAS

**ANÁLISE TÉCNICA-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO SAAE-VIÇOSA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

VIÇOSA
2016

GUSTAVO VIEIRA DE REBOUÇAS

**ANÁLISE TÉCNICA-FINANCEIRA DA IMPLANTAÇÃO DE
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO SAAE-VIÇOSA**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 02 de Dezembro de 2016.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Prof. M. Sc. Renan Nominato Oliveira Souza - Membro
Volta Solar

Prof. M. Sc. Adriano da Silva Antônio - Membro
Energy Engenharia

*“Através dos séculos existiram homens que deram os primeiros passos, por novas estradas,
armados com nada além de sua própria visão.”*

Ayn Rand

Aos meus pais, Jonas e Sônia, aos meus irmãos, João e Camilla.

Agradecimentos

Ao fim deste ciclo que se encerra, gostaria de agradecer aos meus pais, Jonas e Sônia, e aos meus irmãos, João Paulo e Camilla, pelo apoio incondicional. Sem eles, eu não teria conseguido concluir mais esta etapa da minha vida. Agradeço também a todas as minhas tias, tios e a minha avó, pelo carinho e atenção durante a minha estada em Minas Gerais.

Agradeço também ao meu orientador e professor, Heverton Augusto Pereira, pela paciência e por todo conhecimento científico que ele dividiu comigo.

Agradeço também a todos os professores do DEL que, de alguma forma, contribuíram com minha formação acadêmica.

Agradeço também ao chefe do setor técnico do SAAE, Eduardo José Brustolini, pela oportunidade de estágio e por todas as informações e recursos fornecidos a este trabalho.

Agradeço a todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica durante todas as etapas que passei até chegar aqui. Sem seus ensinamentos, nada disso seria possível.

Resumo

A exploração da geração distribuída fotovoltaica têm crescido ao redor do mundo, principalmente nos últimos cinco anos. Esta forma de energia limpa tem se mostrado eficiente e robusta o suficiente para enfrentar com qualidade os desafios energéticos enfrentados pela humanidade. Neste trabalho, foi feita uma descrição da evolução econômica da energia solar em solo nacional e ao redor do mundo. Além disso, uma descrição detalhada de como a norma 687, da ANEEL, trata a compensação de energia elétrica no Brasil foi mostrada. Do mesmo modo, foi feito um estudo de viabilidade econômica geral e um estudo de viabilidade econômica pontual, onde dados recentes da empresa SAAE Viçosa foram utilizados para que a viabilidade econômica seja comprovada para este estabelecimento. Por fim, uma discussão socioeconômica foi feita, afim de mostrar o impacto do investimento aqui proposto na sociedade.

Abstract

The use of mini and micro solar photovoltaic generation has been growing around the world, especially during the last five years. This type of green energy has been proven efficient and robust enough to face, with a great deal of quality, the energy challenges that the humanity is facing. On this paper, a description of the economic evolution of the photovoltaic energy was made, nationally and worldwide. Also, a detailed description of how the norm 687, from ANEEL, deals with the compensation of electric energy in Brazil is shown. Furthermore, a general economic viability research and also a punctual viability research were made, using recent data from SAAE, in order to prove the economic advantage of the proposed investment for the company. Finally, a social-economic discussion was made, in order to show the impact of such investment in a social ambit.

Sumário

1	Introdução.....	14
1.1	A Energia Solar Fotovoltaica	14
1.2	Energia Solar Fotovoltaica Integrada à Rede	16
1.3	<i>O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE)</i>	19
1.4	<i>Objetivos</i>	21
1.5	Organização do Trabalho.....	21
2	Características Técnicas, Normativas e Viabilidade Econômica Geral.....	22
2.1	Componentes de um Sistema Fotovoltaico	23
2.2	Resolução Normativa Nº 687	29
2.3	Estudo de Viabilidade Econômica Geral.....	32
3	Estudo de Caso	37
3.1	Perfil de Consumo da Empresa	37
3.2	Sugestões de Locais para a Instalação	41
4	Resultados e Discussão	47
4.1	Equipamentos Propostos	47
4.2	Retorno Financeiro	50
5	Conclusões.....	58
5.1	Proposta de Continuidade.....	58
6	Referências Bibliográficas	60

Lista de Figuras

Figura 1 - Prédio com aproveitamento do telhado para geração de energia solar fotovoltaica. (REN21, 2016).....	15
Figura 2 - Esquemático dos tipos de energia solar fotovoltaica disponíveis no mercado. (Souza, 2015).....	16
Figura 3 - Evolução da capacidade instalada durante os anos. (REN21, 2016).....	17
Figura 4 - Evolução do preço de kits com 4kW de capacidade na Europa vs número de instalações. (The Eco Experts, 2015).....	18
Figura 5 - Quantidade de investimentos em países desenvolvidos e países em desenvolvimento no ano de 2015. (REN21, 2016).....	19
Figura 6 - Tanque de decantação na ETA 1. (SAAE, 2016).....	20
Figura 7 - ETA 2: Uma das estações de grande consumo do SAAE. Conta com área abundante e subestação própria conectada à rede de distribuição local (13,8kV).(SAAE, 2016).....	20
Figura 8 - Componentes de um sistema fotovoltaico <i>on-grid</i> . (Souza, 2015).....	22
Figura 9 - Exemplo de painéis fotovoltaicos em funcionamento. Nota-se que todos contêm molduras de alumínio e cerca de 60 células. (REN21, 2016).....	23
Figura 10 - Caixa de conexão entre módulos. (Rocha, 2014).....	24
Figura 11 - Conectores MC3 e MC4, feitos pela empresa Multicontact. (Souza, 2015).....	24
Figura 12 - Esquemático de um diodo de uma célula com diodo de <i>by-pass</i> para proteção. (EnergiaTecSolar, 2015).....	26
Figura 13 - Variação da tensão de circuito aberto e da corrente de curto circuito em um módulo fotovoltaico. (Souza, 2015).....	27
Figura 14 - Curva de máxima potência de um módulo comercial. (Souza, 2015).....	28
Figura 15 - Esquema mostrando o trabalho do inversor de frequência na integração do sistema à rede. (Souza, 2015).....	29
Figura 16 - Adição de capacidade solar: 15 maiores adições e resto do mundo. (REN21, 2016).....	33
Figura 17 - Irradiação solar no município de Viçosa - MG. (CRESESB, 2014).....	35
Figura 18 - Dados financeiros estimados do projeto.	35
Figura 19 - Exemplo de conta de energia elétrica do SAAE - Viçosa.	36
Figura 20 - Relação de consumo entre grupos A, B.....	38
Figura 21 - Estação elevatória São José do Triunfo.	42
Figura 22 - Terreno da estação elevatória São José do Triunfo.....	42
Figura 23 - Reservatório Nova Viçosa.....	43
Figura 24 - Reservatório Nova Viçosa (parte lateral).....	43
Figura 25 - Reservatório Nova Viçosa (fundos).....	44
Figura 26 - Reservatório da Farinheira.....	45

Figura 27 - Casa de máquinas do Booster Nova Viçosa.	45
Figura 28 - Casa de máquinas do Booster Nova Viçosa; vista do telhado.....	46
Figura 29 - Sede do SAAE.	46
Figura 30 - Ilustração do acúmulo do capital <i>versus</i> o derretimento do mesmo para o cenário 1.....	54
Figura 31 - Ilustração do acúmulo do capital <i>versus</i> o derretimento do mesmo para o cenário 2.....	56
Figura 32 - Ilustração do acúmulo do capital <i>versus</i> o derretimento do mesmo para o cenário 3.....	56

Lista de Tabelas

Tabela 1–Lista de instalações pertencentes ao SAAE que estão no grupo B, definido pela ANEEL.	39
Tabela 2 - Lista de instalações que estão no grupo A, definido pela ANEEL.	40
Tabela 3 - Detalhes dos kits PHB	48
Tabela 4 - Consumo mensal médio de cada instalação e o kit sugerido por instalação.	49
Tabela 5 - Média do valor do kWh pago pelo SAAE entre Março de 2015 e Fevereiro de 2016.	50
Tabela 6 - Cálculo do <i>Payback</i> Simples de cada um dos Kits PHB.	51
Tabela 7 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 1.	53
Tabela 8 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 2.	55
Tabela 9 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 3.	57

1 Introdução

Na sociedade moderna, os seres humanos não só precisam de energia para se manterem vivos, mas também para diversos outros propósitos, e todos estes estão diretamente ligados ao desenvolvimento de determinada sociedade. Energia é usada para aquecer água, esquentar ambientes, transporte, cultivo de alimentos, desenvolvimento tecnológico, bombeamento de água para populações inteiras, entre outros inúmeros propósitos. Basicamente, a sociedade moderna se desenvolveu com base na capacidade do ser humano de converter energia de uma forma para a outra. As nações mais prósperas e desenvolvidas tecnologicamente do mundo são, também, as que têm maior produção ou maior acesso à energia. Os Estados Unidos da América, por exemplo, em 2011, tinham um consumo médio por habitante de 9319W/capita. Em contrapartida, um habitante da Índia, um país em desenvolvimento, tem um consumo médio de 800W/capita, cerca de 12 vezes menos (Jager, 2014). Devido a essa discrepância, muitas pessoas acreditam que a forma como os países vão atacar o problema da geração de energia vai ser determinante para definir quem serão os países desenvolvidos no futuro.

1.1 A Energia Solar Fotovoltaica

O aproveitamento da energia solar, seja como calor, radiação ou luz, é hoje uma das alternativas mais interessantes que o ser humano encontrou para fornecer ou complementar a produção de energia atual. É interessante notar que, quando se fala em energia, seja ela proveniente de qualquer fonte, se fala em energia solar, afinal, toda energia existente na terra tem como primeiro fornecedor o sol. É a partir da energia do sol que acontece o ciclo das águas, grande parte do movimento dos ventos e, também, o crescimento de toda a matéria orgânica que formará os combustíveis fósseis. De acordo com o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), a energia solar pode ser dividida em cinco grandes blocos: solar passiva, onde se insere a arquitetura bioclimática; solar ativa, onde se insere o uso da energia solar apenas para aquecimento e refrigeração; solar fotovoltaica, categoria que abrange o uso de energia solar para produção de energia elétrica com e sem concentradores, sendo a última a mais comum para uso em estações de pequeno consumo; usinas térmicas movidas a concentradores de luz solar; e, por último, um processo de fotossíntese artificial, cujos

detalhes fogem ao objetivo deste estudo. Basicamente, fala-se, em engenharia, em energia solar térmica e energia solar fotovoltaica (Arvizu & Balaya, 2010).

A energia solar fotovoltaica é a energia elétrica obtida através da conversão direta da luz em eletricidade. O efeito que possibilita esta conversão, chamado efeito fotovoltaico, foi observado, inicialmente, por Edmond Becquerel em 1839. Este efeito se dá pelo aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor, quando este absorve luz. Atualmente, as células fotovoltaicas são constituídas de Silício monocristalino (m-Si), silício policristalino (p-Si), silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e, por fim, telureto de cádmio (CdTe). Comercialmente, fala-se, quase que exclusivamente, de silício poli e monocristalino. Não coincidentemente, módulos feitos desses dois materiais representam cerca de 90% do mercado (Maehlum, 2015)

Aproveitar energia solar através da conversão fotovoltaica tem vantagens muito claras: a matéria prima é inesgotável, não há emissão de poluentes durante a geração da eletricidade, os sistemas podem ser instalados em quase qualquer lugar do planeta, incluindo topo de prédios (como mostra a **Figura 1**), telhados de casas, paredes e até mesmo estradas.



Figura 1 - Prédio com aproveitamento do telhado para geração de energia solar fotovoltaica. (REN21, 2016)

Obviamente, a viabilidade econômica varia de acordo com recursos naturais e localização geográfica de cada lugar. As desvantagens apresentadas por este sistema incluem: baixa densidade de potência (geralmente $< 1\text{kW/m}^2$), sazonalidade e susceptibilidade à

variação devido a eventos corriqueiros (nuvens, chuva, etc), além de um alto investimento inicial. Em países como o Brasil, onde o espaço territorial é vasto e farto, é possível gerar altas potências através de grandes áreas captadoras. Para balancear a variabilidade da radiação solar, métodos de armazenamento de energia podem ser utilizados. Apesar de muito bons, os métodos de armazenamento disponíveis ainda são muito caros, tornando seu uso inviável em muitos casos (Souza, 2015).

1.2 Energia Solar Fotovoltaica Integrada à Rede

Existem diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos no mercado. Basicamente, estes se dividem em sistemas isolados e sistemas integrados à rede. Dentre essas duas categorias, há algumas subcategorias, como mostra a Figura 2.

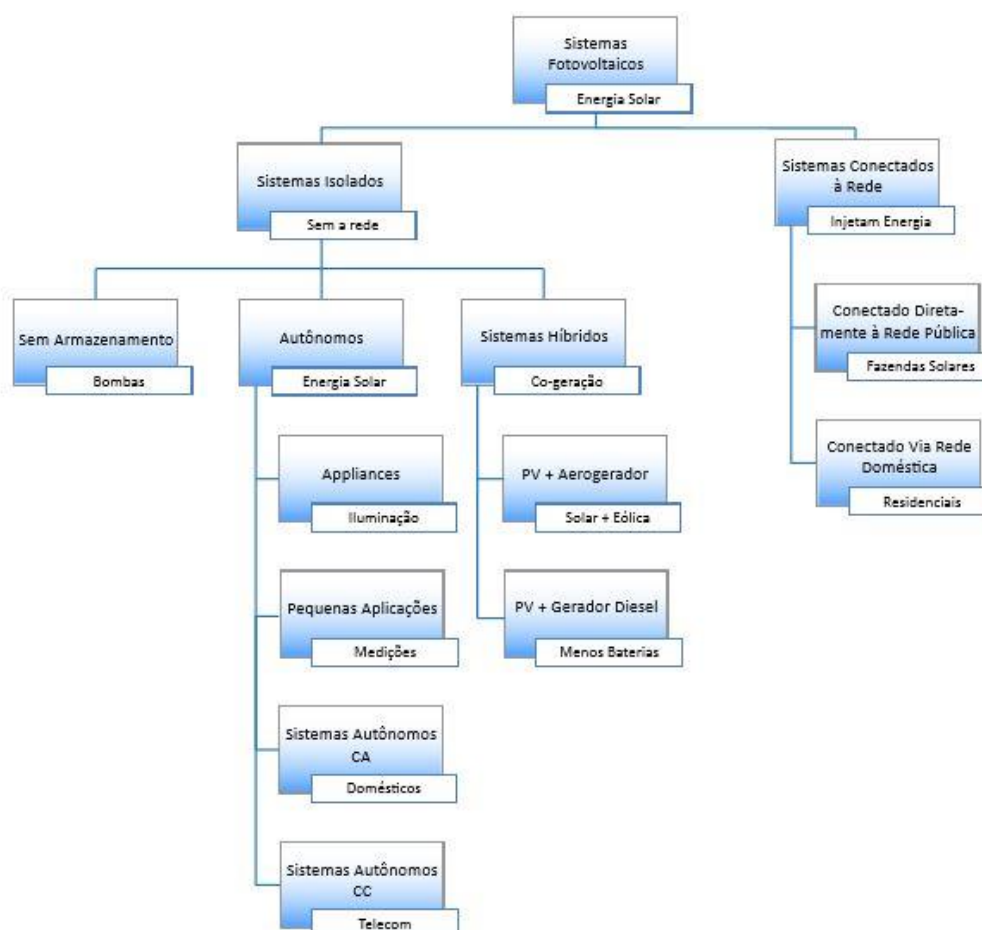


Figura 2 - Esquemático dos tipos de energia solar fotovoltaica disponíveis no mercado. (Souza, 2015)

Sistemas isolados são mais utilizados em regiões onde a rede elétrica não chega ou em sistemas de aproveitamento direto da energia, como para aquecimento de água,

bombeamento, etc. Dentre eles, existem os sistemas híbridos, que trabalham em conjunto com outro sistema, seja ele eólico, movido a combustível ou qualquer outro sistema de geração de energia elétrica; sistemas autônomos, que possuem acumuladores de energia para os períodos de escuridão ou de demanda maior que a geração; e sistemas autônomos sem armazenamento, que funcionam somente durante o período ensolarado.

Já os chamados sistemas integrados (*on-grid*) são o tipo mais comum no mercado, visto que são os que apresentam melhor retorno financeiro, pois possibilita que o consumidor se torne uma pequena estação que gera não só para si próprio, podendo abater por completo seu gasto com energia elétrica. Sistemas *on-grid* não necessitam de acumuladores, pois podem escoar a produção excessiva para a rede. O fato de estes sistemas não exigirem acumuladores os torna, em geral, mais baratos e eficientes, devido a ausência de perdas com acumulação (Souza, 2015).

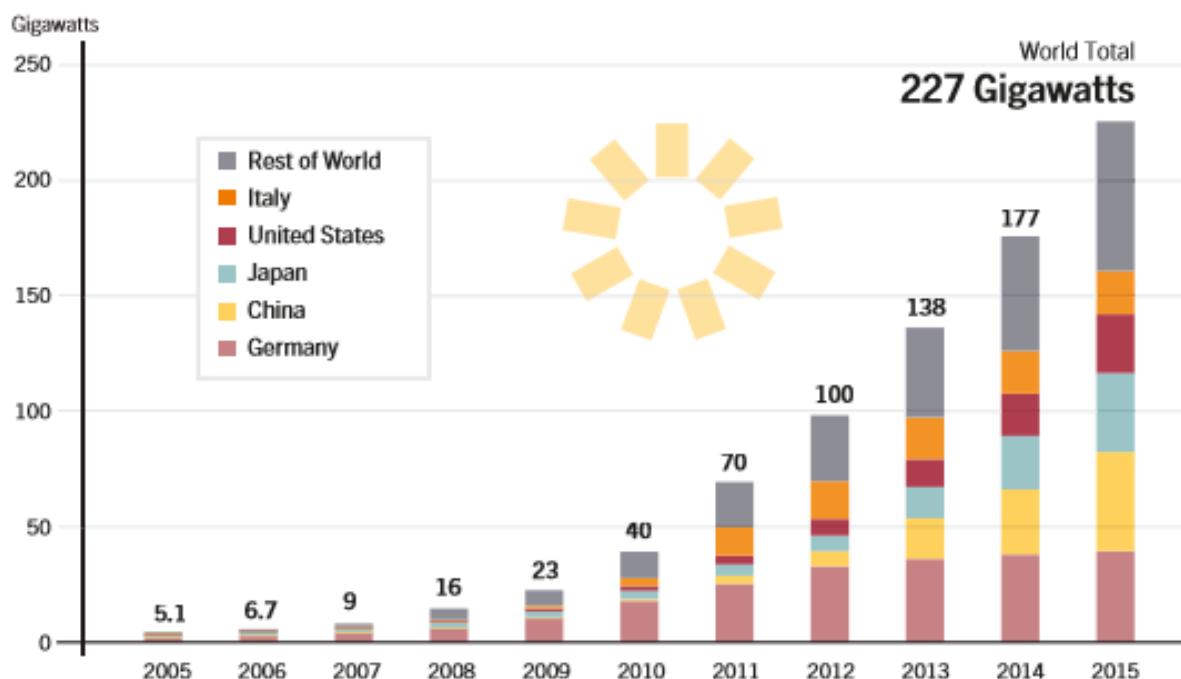


Figura 3 - Evolução da capacidade instalada durante os anos. (REN21, 2016)

Analisando os dados de energia solar fotovoltaica no mundo, é possível ver uma clara evolução. Este mercado teve um crescimento de 25% em 2015, se comparado com o ano de 2014, aumentando a carga instalada global para 227 GW. Para se ter uma ideia, a carga instalada em 2015 no mundo, cerca de 50GW, representa a quantidade total instalada no mundo no ano de 2005 (REN21, 2016). Apesar de mercados emergentes, como o brasileiro, estarem investindo alto nesta tecnologia, as economias maiores, como China, Estados Unidos

e Japão lideraram em relação a capacidade instalada no ano de 2015. Porém, outros países, como Itália e Alemanha vêm aumentando bem sua capacidade, como mostra a Figura 3.

Um dos fatores mais relevantes para o desenvolvimento de certa tecnologia é o preço. Como mostra a Figura 4, o número de instalações vem crescendo à medida que o valor do investimento inicial vai caindo. Um fator determinante para que o preço caia é a quantidade de investimentos que o setor recebe. Como mostra a Figura 5, dentre as fontes de energias renováveis disponíveis no mundo, a energia solar fotovoltaica tem recebido uma atenção especial do mercado.

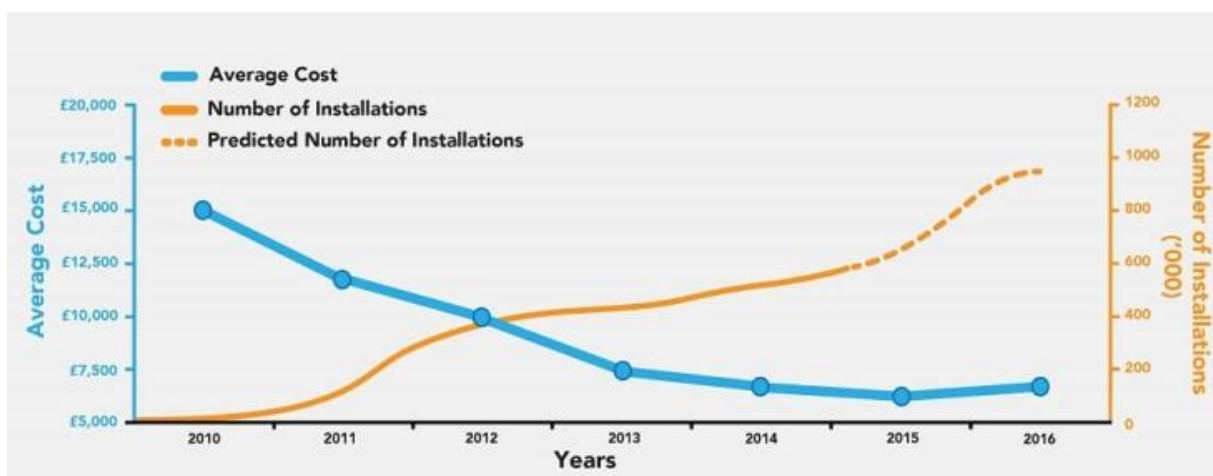


Figura 4 - Evolução do preço de kits com 4kW de capacidade na Europa vs número de instalações. (The Eco Experts, 2015)

Na maioria dos mercados, projetos de grande geração ainda são os mais viáveis para investimentos de grandes empresas, devido a incentivos governamentais como financiamentos e subsídios fiscais. Ainda assim, pequenos projetos, chamados *roof top projects*, que representam as pessoas e negócios que geram em seus telhados, são excelentes investimentos na maioria das localidades.

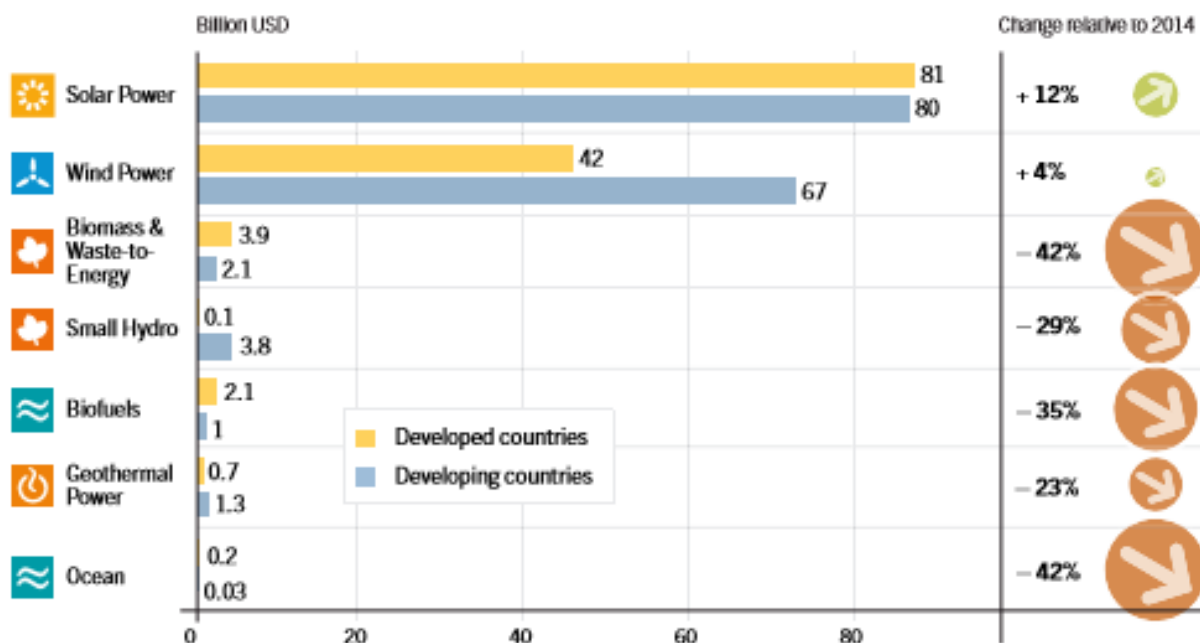


Figura 5 - Quantidade de investimentos em países desenvolvidos e países em desenvolvimento no ano de 2015. (REN21, 2016)

1.3 O Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE)

Na cidade de Viçosa, desde de o ano de 1970, o SAAE é o responsável pela captação, tratamento e distribuição de água. Durante 46 anos, a empresa vem trabalhando para prestar serviços de saneamento que contribuam para a melhoria da qualidade de vida da população viçosense e para o desenvolvimento socioeconômico da sociedade local. Atualmente, o SAAE atende 98% da população da cidade com água tratada e 88% com rede de esgoto e, desde 2010, é, também, responsável pela coleta de lixo municipal. (SAAE, 2016)

Em vista de cumprir a missão de proporcionar qualidade de vida através do fornecimento de água tratada em qualidade e quantidade, a coleta e o tratamento dos esgotos, a coleta e destinação do lixo da cidade. O SAAE conta com duas estações de tratamento de água, duas estações de tratamento de esgoto, um escritório administrativo, um escritório de atendimento ao público, 17 poços artesianos, nove *boosters*, além de estações de telemetria, caminhões pipa, entre outros artifícios estruturais pontuais. Toda esta estrutura gerou para o SAAE, no ano de 2015, um gasto de R\$2.126.301,99 em energia elétrica.



Figura 6 - Tanque de decantação na ETA 1. (SAAE, 2016)

O consumo energético do SAAE é dividido entre 4 estações de grande consumo e 45 estações de pequeno consumo.



Figura 7 - ETA 2: Uma das estações de grande consumo do SAAE. Conta com área abundante e subestação própria conectada à rede de distribuição local (13,8kV).(SAAE, 2016)

1.4 Objetivos

É sabido que um dos principais obstáculos ao crescimento de toda empresa é a falta de recursos. Com o SAAE não é diferente. A empresa tem um orçamento apertado, uma folha salarial ampla, além de elevados custos operacionais. Para que todo o abastecimento de água seja feito, o SAAE conta com muitas instalações elétricas, gerando um gasto com energia anual de cerca de R\$2.000.000,00 à empresa. Tendo em vista a melhoria do serviço, a redução de gastos e o aumento da eficiência, este estudo visa a propor um investimento capaz de aumentar a receita mensal da companhia através da instalação de kits de energia solar capazes de gerar uma economia de até 30% do gasto total atual.

1.5 Organização do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. Neste primeiro, estão a contextualização do estudo, um panorama atual do tema, além de características gerais do SAAE, empresa foco do estudo. Além disso, o capítulo 1 também define os objetivos do estudo e a forma de organização do trabalho.

No capítulo 2, é abordada a resolução normativa Nº 687, de 24 de novembro de 2015, em que a ANEEL trata da regulamentação do ramo de energia solar no Brasil. Além disso, é feita uma breve introdução aos sistemas de geração de energia solar fotovoltaica, com descrição de componentes básicos e seus princípios de funcionamento. Finalmente, ainda no capítulo 2, é realizado um estudo sobre a viabilidade econômica geral da energia solar no Brasil, especificamente no estado de Minas Gerais.

Já no capítulo 3, há uma definição do estudo de caso, onde as características específicas do projeto são mostradas, os problemas apresentados e as soluções propostas apresentadas.

De posse de todos os dados e materiais mencionados anteriormente, o capítulo 4 trata da análise dos resultados obtidos a partir dos dados reais da empresa em estudo. Por fim, no capítulo 5, são discutidas as conclusões do estudo.

2 Características Técnicas, Normativas e Viabilidade Econômica Geral

Existem no mercado vários tipos de sistemas fotovoltaicos. Em regiões de fácil acesso à rede elétrica, é sempre preferível utilizar sistemas integrados à rede, os chamados *on-grid*. Tais sistemas possuem basicamente cinco componentes principais e estes estão ilustrados na Figura 8. São eles:

- 1 Painel fotovoltaico;
- 2 Caixa de junção do painel fotovoltaico;
- 3 Cabeamento;
- 4 Inversor Grid-Tie;
- 5 Medidores de Energia;

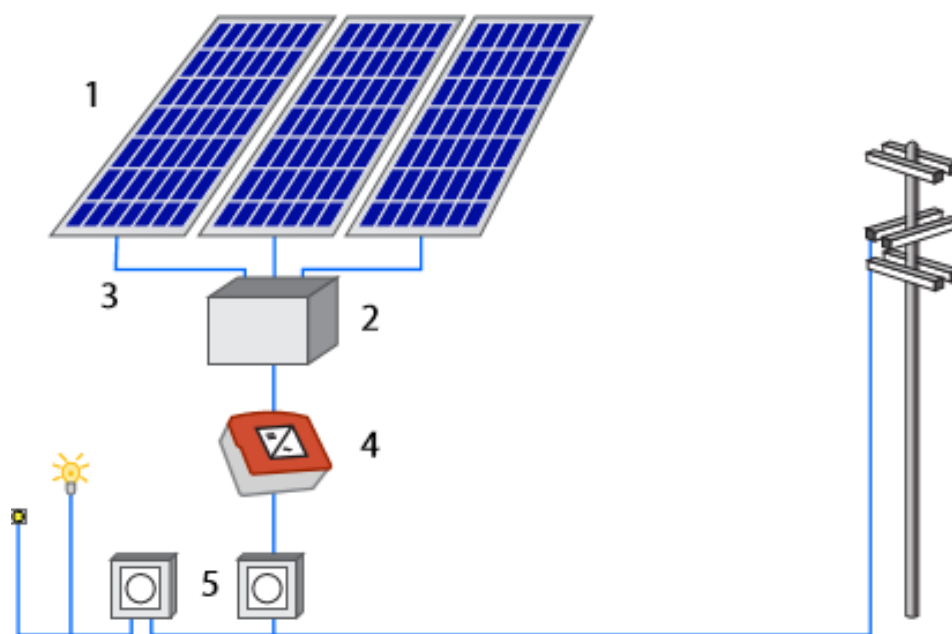


Figura 8 - Componentes de um sistema fotovoltaico *on-grid*. (Souza, 2015)

A seguir, serão discutidas as características individuais de cada componente, assim como a norma que rege as micro e mini geradoras solares integradas à rede.

2.1 Componentes de um Sistema Fotovoltaico

As células fotovoltaicas, geralmente feitas com células de silício cristalizado, produzem uma tensão de cerca de 0,46 a 0,56 Volts, além de uma corrente de 30mA/cm². (Souza, 2015). Para atingir valores de tensão satisfatórios para alimentar os inversores, essas células são soldadas em série. Para construir um painel fotovoltaico de tensão nominal de 12 Volts, por exemplo, serão soldadas cerca de 35 a 40 células de silício cristalizado.

Após a conexão, as células passam por um encapsulamento com vidro temperado, e um material orgânico chamado de EVA (etileno-vinil-acetato). Depois disso, os módulos são emoldurados e submetidos a testes de temperatura, umidade, congelamento, cargas mecânicas e simulações de granizo e torções. Visto que o painel solar é um material projetado para uso externo, este deve ser muito resistente às intempéries, e é por isso que o mesmo deve passar por rígidos testes de resistência.



Figura 9 - Exemplo de painéis fotovoltaicos em funcionamento. Nota-se que todos contêm molduras de alumínio e cerca de 60 células. (REN21, 2016)

Como pode ser observado na Figura 9, os painéis geralmente tem forma quadrada ou retangular. A espessura, sem a moldura de alumínio, não costuma ultrapassar quatro centímetros. Além disso, os painéis são projetados para suportar pequenas deformações, a fim de adaptarem-se a esforços mecânicos.

As caixas de conexão são devidamente isoladas de modo que seja possível a conexão com outros módulos. Além disso, há um ponto de aterramento para proteger o sistema no caso de alguma sobretensão.

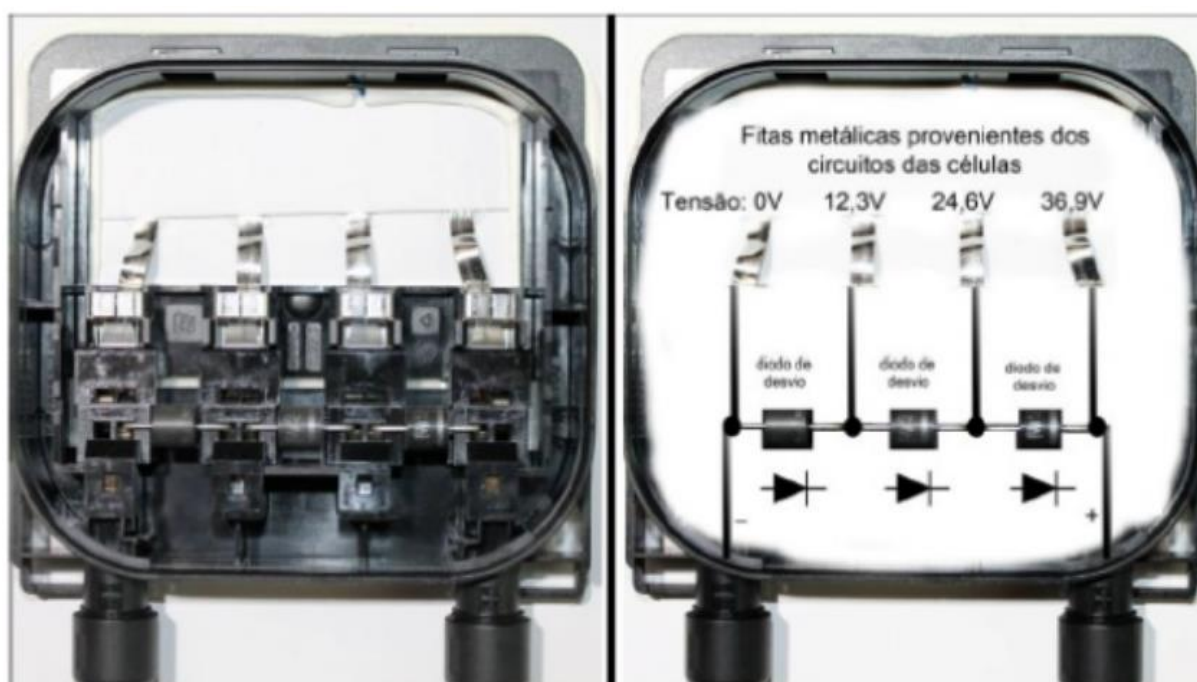


Figura 10 - Caixa de conexão entre módulos. (Rocha, 2014)

Módulos *on-grid* costumam vir de fábrica com os conectores especiais para conexão rápida. Os mais comuns são os modelos MC3 e MC4, mostrados na Figura 11. Há também modelos menos comuns, como os produzidos pela empresa Tyco Electronics.



Figura 11 - Conectores MC3 e MC4, feitos pela empresa Multicontact. (Souza, 2015)

Os modelos supracitados não são compatíveis entre si e alguns fabricantes usam diferentes modelos de conector em seus diferentes módulos como indicativo da recomendação de não se agrupar módulos de características distintas (Souza, 2015). Vale ressaltar também que nem todos os modelos possuem conectores. Módulos de baixa potência ou com foco em geração isolada geralmente não os possuem, trazendo apenas a caixa de conexão.

Ao se olhar o *datasheet* de um módulo solar, serão encontradas algumas informações básicas sobre o mesmo. São elas:

- **Tensão de Máxima Potência (V_{mpp})** – Representa a máxima tensão a ser gerada pelo módulo sob condições padrões de teste (Standard Test Conditions).
- **Tensão em Circuito Aberto (V_{oc})** – Representa a tensão máxima que o módulo pode fornecer em seus terminais abertos (sem a presença de carga).
- **Corrente em Máxima Potência (I_{mp})** – Representa a corrente máxima que o módulo pode fornecer.
- **Corrente de Curto Circuito (I_{sc})** – É a corrente máxima que o módulo fornece quando seus terminais estão em curto. Geralmente esta corrente é 5% maior do que a corrente máxima.
- **Potência máxima** – É o ponto ótimo de trabalho do módulo. Geralmente há um sistema de controle que regula a tensão para que o sistema trabalhe sempre neste ponto.

Um painel pode ser composto por múltiplos módulos ou por apenas um, a depender da necessidade. Na maioria dos casos, um módulo não será suficiente para formar o painel desejado (Souza, 2015). Um painel é um conjunto de módulos conectados eletricamente entre si e que fornecem um determinado potencial. Os módulos podem ser associados em série ou em paralelo para que suas tensões sejam somadas, ou em paralelo, para que as correntes sejam somadas. Na maioria das vezes, será preciso associar painéis em série e em paralelo, de forma que se consiga tensão nominal e também a corrente necessária ao projeto.

É preciso também que haja um cuidado especial com o sombreamento, afinal, ao receber uma sombra, uma das células de um módulo pode superaquecer, danificando o material semicondutor. Este superaquecimento ocorre porque, com a sombra, a célula estará inversamente polarizada e agirá como uma carga, transformando-se num conversor de

eletricidade em calor. Com isso, aparecem os chamados *hot spots* (pontos quentes), que danificam o módulo permanentemente.

Outro componente importante dos módulos solares são os diodos de *by-pass*. Considerando que, a partir da associação de módulos em série, a tensão gerada ultrapassará a tensão de bloqueio de uma célula que eventualmente esteja sombreada, são inseridos diodos de derivação (ou *by-pass*) conectados de maneira inversamente polarizada em relação a um conjunto de células. Geralmente estes diodos são conectados pelo técnico responsável no quadro de conexão dos módulos, junto com os fusíveis que protegem a fiação. Uma ilustração está mostrada na Figura 12. Nela, nota-se também a presença do diodo de bloqueio, que tem o papel de evitar que um módulo sombreado transforme uma fileira inteira em carga. Eles também evitam que o painel descarregue a bateria em sistemas autônomos.

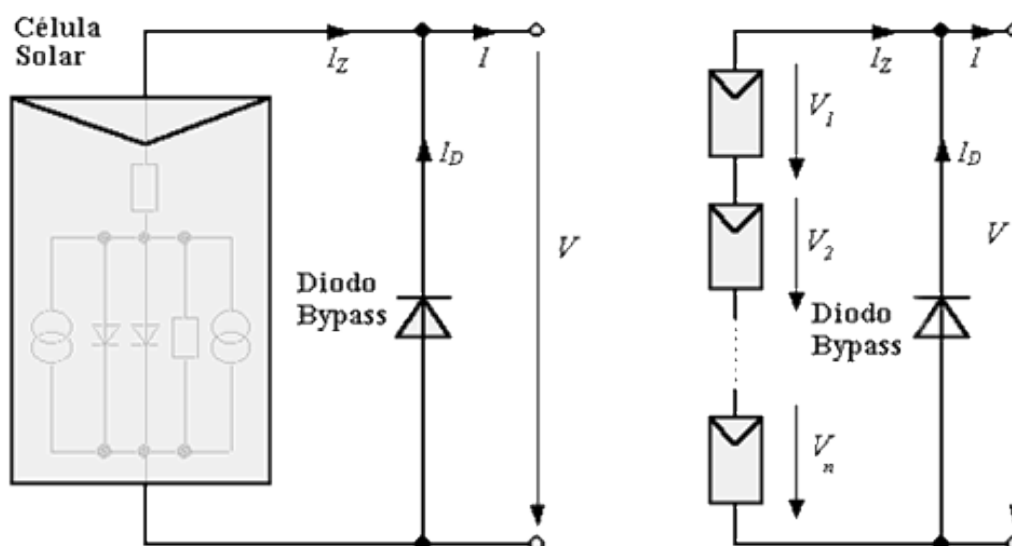


Figura 12 - Esquemático de um diodo de uma célula com diodo de *by-pass* para proteção. (EnergiaTecSolar, 2015)

Vale ressaltar que, de acordo com a norma IEC 6036-7-712, os diodos de bloqueio não são necessários se forem utilizados módulos do mesmo tipo, com proteção classe II e certificados para funcionar com 50% da corrente nominal de curto circuito, quando polarizados inversamente (Souza, 2015).

Para que a qualidade de um módulo possa ser avaliada, existem condições de teste específicas pelas quais o módulo passa. Todos os módulos têm em suas fichas de dados os

resultados dos testes em STC (*standard test conditions*). É recomendado também às fabricantes que coloquem características em condições normais de operação.

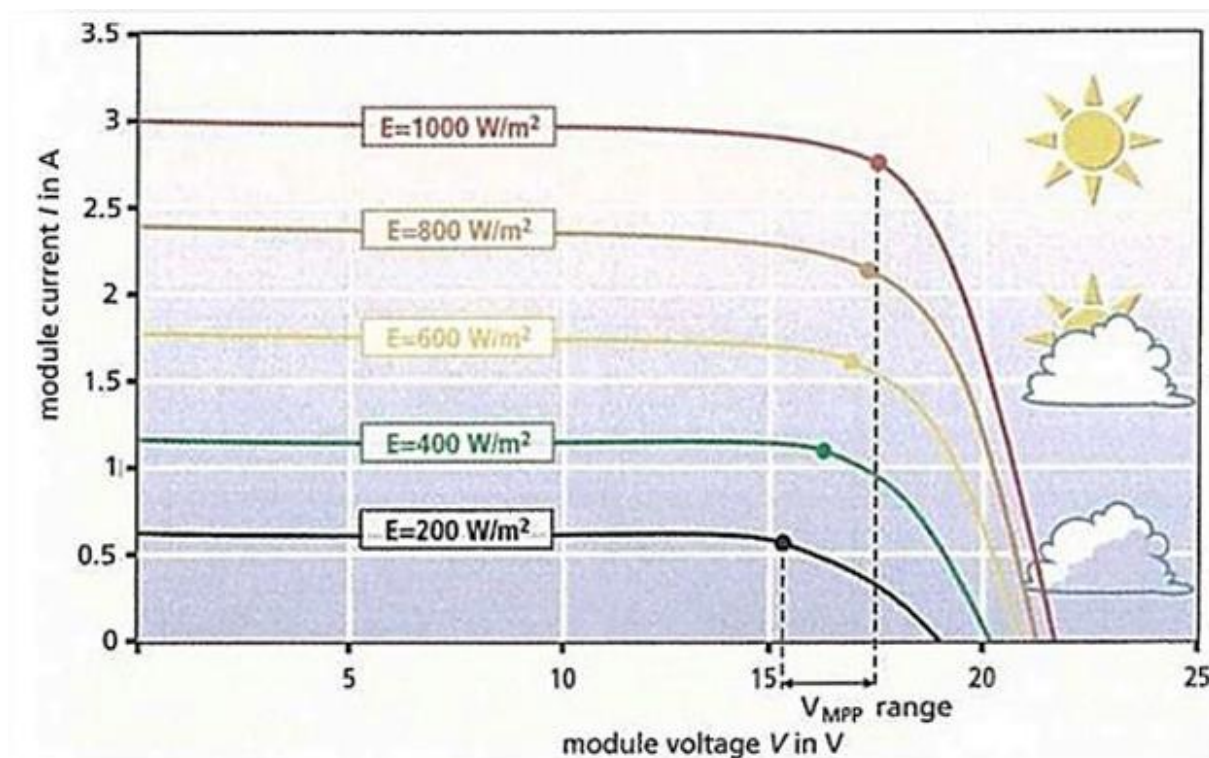


Figura 13 - Variação da tensão de circuito aberto e da corrente de curto circuito em um módulo fotovoltaico. (Souza, 2015)

Observando a Figura 13, nota-se que a corrente de saída de um módulo varia muito mais devido às mudanças na irradiação do que à tensão. As variações de temperatura também influenciam o desempenho das células fotovoltaicas.

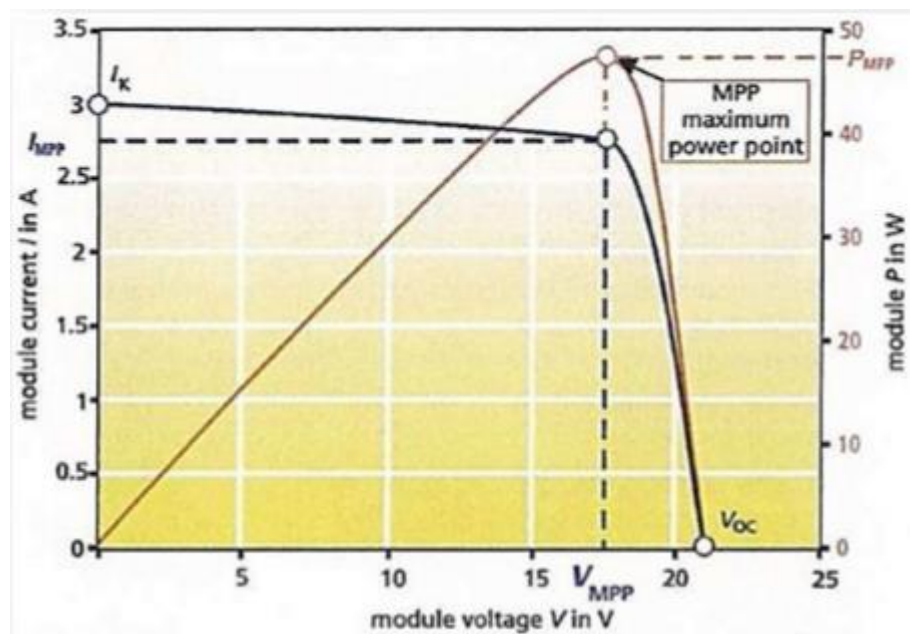


Figura 14 - Curva de máxima potência de um módulo comercial. (Souza, 2015)

Nos sistemas *on-grid*, a energia elétrica gerada é entregue diretamente à rede, logo, o sistema deve possuir um equipamento que se adeque ao modo como a eletricidade está fluindo na linha de distribuição. Este componente, chamado de inversor *grid-tie* é o responsável por transformar a tensão contínua obtida a partir das células fotovoltaicas em tensão alternada compatível com a rede. Inversores *grid-tie* possuem alto grau de sofisticação e não são comparáveis aos inversores de sistemas autônomos. Inversores projetados para sistemas autônomos jamais devem ser conectados à rede.

Para potências de até 5kWp, os inversores são monofásicos. Acima disso, geralmente são trifásicos. Existem tanto inversores somente trifásicos, como inversores monofásicos que podem ser agrupados, formando assim um inversor trifásico (Jager, 2014).

Os inversores são também responsáveis por ajustar a tensão e corrente provenientes do módulo para que este esteja sempre trabalhando no ponto de máxima potência, mostrado na Figura 14. O sistema de controle que garante isso é chamado de MPPT, ou *maximum power point tracker* (Souza, 2015). Basicamente, este sistema de controle possui um algoritmo que constantemente testa o ponto de potência em que está operando em relação a pontos vizinhos. Caso um aumento de potência seja possível, o sistema se adequa automaticamente.

Além disso, alguns inversores possuem registros operacionais que podem ser guardados em cartões de memória, computadores, ou mesmo exibidos em displays próprios. É também função do inversor de frequência possuir dispositivos de proteção contra curto

circuito, inversão de polaridade, proteção contra sobrecarga, sobretensão, além de proteção para a conexão com a rede.

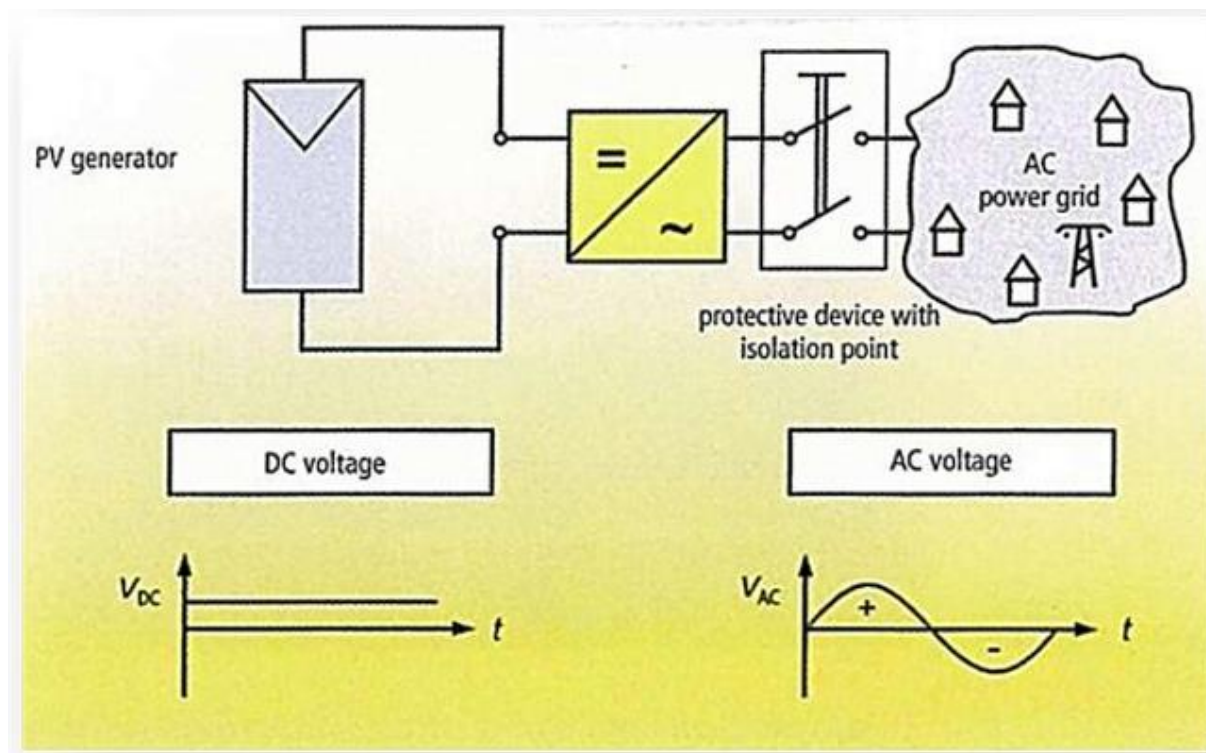


Figura 15 - Esquema mostrando o trabalho do inversor de frequência na integração do sistema à rede. (Souza, 2015)

2.2 Resolução Normativa N° 687

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL é quem regula e fiscaliza a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica. Compete a este órgão:

- Regular políticas e diretrizes do governo federal para a utilização e exploração dos serviços de energia elétrica pelos autoprodutores (ANEEL, 2015);
- Definir padrões de qualidade do atendimento e de segurança compatíveis com as necessidades regionais (ANEEL, 2015);
- Julgar viabilidade técnica, econômica e ambiental das ações das companhias (ANEEL, 2015);
- Promover o uso eficaz e eficiente de energia elétrica (ANEEL, 2015);

- Proporcionar condições para a livre competição no mercado de energia elétrica (ANEEL, 2015).

Em 24 de novembro de 2015, a ANEEL alterou a resolução normativa 482, de 17 de abril de 2012, através da resolução normativa 687. Esta alteração foi feita para adequar a regulação ao contínuo crescimento de micro e mini geradores de energia elétrica por meio de fontes renováveis, principalmente energia solar, além de estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica.

Nesta resolução, ficaram definidos alguns pontos de suma importância no que diz respeito à compensação na geração de energia elétrica, ao acesso aos sistemas de distribuição por parte do mini ou micro geradores e às responsabilidades quanto a medições e danos ao sistema elétrico. Esses pontos serão discutidos a fim de deixar claras algumas regras importantes para este projeto.

Inicialmente, o documento trata da classificação dos sistemas. Ficaram definidos como *micro geração distribuídas*, centrais geradoras de energia elétrica com potência instalada menor que 75kW e que possuam cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. O mesmo se aplica para sistemas de *mini geração distribuída*, porém, a potência instalada deve ser menor do que 5MW e maior do que 75kW. O SAAE possui uma grande carga instalada, logo, para suprir a demanda de potência gerada que é de cerca de 640kW, este projeto deve seguir as regras que tratam de mini geração distribuída.

Ficou definido como *sistema de compensação de energia elétrica*, o sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito à distribuidora local e posteriormente compensada com consumo de energia elétrica ativa. Logo, deve-se considerar no projeto que o SAAE não poderá cobrar à Cemig por energia gerada de forma excedente. Esta energia deverá ser compensada em contas futuras.

No que diz respeito ao acesso ao sistema de distribuição de energia elétrica, de acordo com o artigo terceiro da resolução, cabe à distribuidora adequar seus sistemas comerciais e elaborar ou revisar normas técnicas para tratar do acesso de micro e mini geração distribuídas, utilizando como referência os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema

Elétrico Nacional – PRODIST, as normas técnicas brasileiras e, de forma complementar, normas internacionais.

Logo, não cabe ao SAAE realizar projetos de melhorias na rede para que esta se adeque ao sistema a ser implementado em um ou mais propriedades *saaenses*. Porém, a quantidade gerada em determinado local não pode ser superior à potência disponível no local. Caso isso seja necessário, uma solicitação deve ser feita à concessionária nos termos do art. 27 da Resolução Normativa de número 414, de 9 de setembro de 2010, não sendo necessário o aumento da carga instalada no local. Para se determinar o limite da potência instalada da central geradora localizada em, deve-se considerar a potência disponibilizada pela distribuidora para o atendimento no local.

Visto que este projeto foi pensado para que o máximo de energia possa ser gerada, aumentando, assim, a economia para o SAAE e, conseqüentemente, para o município de Viçosa, pode ser necessário que a geração seja dividida entre múltiplas propriedades do SAAE.

Os custos de eventuais melhorias ou reforços no sistema de distribuição em função exclusivamente da conexão de mini geração distribuída devem fazer parte do cálculo da participação financeira do consumidor, diferentemente do que ocorre com a micro geração distribuída.

Sobre o sistema de compensação por energia gerada excedente, ficou definido que, caso a geração ultrapasse o consumo:

- deverá ser cobrado o custo de disponibilidade (taxa mínima) na conta de energia da unidade consumidora do grupo B;
- e o valor da demanda de potência contratada em consumidores do grupo A.

Além disso, 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 60 meses. É importante notar que a indexação do crédito é dada em unidades de energia ativa, não estando esse crédito sujeito a variações no preço de energia.

Fica definido, também, que o excedente de energia elétrica que não for compensado na própria unidade pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, observando o enquadramento como autoconsumo remoto, que é o caso do SAAE. É importante frisar também que quando a unidade consumidora onde ocorreu a

geração excedente for faturada na modalidade convencional, os créditos gerados devem ser considerados como geração em período fora de ponta no caso de se utilizá-los em outra unidade consumidora. Após a expiração dos créditos de energia, que se dá em sessenta meses, a energia será revertida em prol da modicidade tarifária. Fica, também, permitido ao mini gerador que transfira os créditos de energia de uma unidade que está sendo desativada para outra unidade.

No que diz respeito às medições, ficou definido que a concessionária é responsável técnica e financeiramente pelo sistema de medição, porém, os custos de adequação para a conexão de mini geração distribuída são de responsabilidade do interessado. Após a adequação, a concessionária é inteiramente responsável pelo sistema de medição. O valor que o interessado deve arcar deve ser calculado da seguinte maneira: custo do sistema de medição necessário à instalação com mini geração distribuída menos o custo do sistema de medição convencional, visto que este é de responsabilidade da concessionária.

2.3 Estudo de Viabilidade Econômica Geral

Atualmente, numa escala global, a energia fotovoltaica oferece benefícios sociais muito importantes em termos de criações de empregos, independência energética em áreas rurais e, conseqüentemente, desenvolvimento de áreas remotas. A maioria dos empregos é gerado nos locais onde a instalação é feita (engenheiros e técnicos de instalação), o que ajuda a fomentar as economias locais. Dados de estudos recentes mostram que, com o aumento da eficiência, a diminuição da espessura e a melhora no processo produtivo das células, os sistemas *on-grid* terão um *payback* reduzido para menos de dois anos até o ano de 2020 (Greepeace, 2006).

Considerando o estudo feito em (Greepeace, 2006), o que se vê é uma confirmação, como mostra (REN21, 2016). De acordo com o relatório, o mercado de energia solar fotovoltaica está se provando economicamente vantajoso em todo o mundo. Nos Estados Unidos, por exemplo, a energia solar tem sido extremamente competitiva economicamente. Prova disso é que o interesse das empresas geradoras em adicionar a energia fotovoltaica como fonte geradora tem superado as metas governamentais. Cerca de 39% da capacidade adicionada nos EUA em 2015 foi além das demandas requeridas pelo estado. O sucesso da geração solar distribuída e a queda nos custos levou as geradoras americanas a estabelecerem metas próprias, que incluem projetos de geração residencial e comunitário. A competitividade econômica, também, fez com que as geradoras comesçassem a se unir para modificar as regras

de medições. A forma de compensação de micro e mini geradores nos Estados Unidos tem sido o centro das discussões em volta da regulação em mais de 20 estados.

Na Europa, após três anos de declínio, 2015 foi um ano de recuperação no setor de geração fotovoltaica. Ainda assim, 2015 não bateu o ano de 2011, que foi o mais significativo para o continente, onde 22GW foram adicionados à capacidade total geradora. (REN21, 2016). Cerca de 7,5GW de geração solar fotovoltaica *on-grid* foram adicionados em 2015 na Europa e três países foram responsáveis por mais de 75 por cento desse total: Reino Unido, com 3,7GW, Alemanha, com 1,5GW e França, com 0,9GW. Observando os desafios que a Europa está enfrentando, nota-se que o governo tem um papel muito importante no mercado. No Reino Unido, por exemplo, o salto ocorrido em 2015 foi atribuído ao iminente fim de incentivos a geradores fotovoltaicos de larga escala e, também, ao incentivo do uso residencial da geração distribuída. Um receio de produtores é que a energia fique tão barata que o setor pare de ser lucrativo. Com a eficiência de novos equipamentos, a demanda por eletricidade em países desenvolvidos está estagnada. Se todos começarem a não pagar mais por energia, as empresas temem que não serão mais devidamente remuneradas para manter o sistema funcionando.

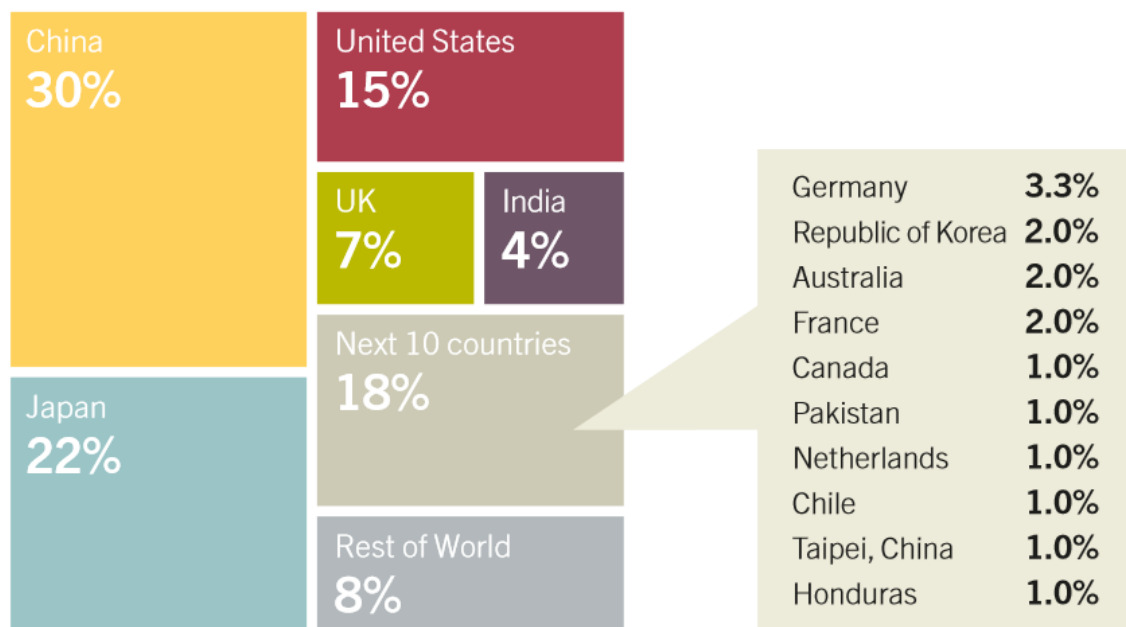


Figura 16 - Adição de capacidade solar: 15 maiores adições e resto do mundo. (REN21, 2016)

Somando a América Latina e o Caribe, cerca de 1,1GW de geração fotovoltaica foi adicionada à rede, o que representou mais que o dobro da capacidade regional. O Chile instalou cerca de 0,4GW (REN21, 2016), onde a maioria dessa porcentagem foi de grandes projetos geradores. Alguns estudiosos do país já defendem que a energia solar já é a mais

barata do país. Honduras foi outro país que investiu pesado, e juntamente com o Chile, como mostra a Figura 16, esteve entre os 15 maiores adicionadores de capacidade geradora solar no mundo. No Brasil, a dificuldade de transmissão e o clima instável em muitas localidades tem sido um obstáculo. Além disso, faltam incentivos e a queda dos preços de combustíveis fósseis nos últimos anos não contribuiu. Nota-se, também, que em economias emergentes como o Brasil, tem sido difícil de conseguir financiamentos atrativos para o setor.

É notável que o mundo está tendendo para o lado da energia solar. Porém, para se definir a viabilidade econômica local, é preciso de um estudo mais detalhado. Um estudo disponibilizado pelo CRESESB, chamado de SunData fornece um cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional. O SunData é uma importante e confiável ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

De maneira mais detalhada, o SunData é baseado no banco de dados *Valores Médios de Irradiación Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudios de la Energía solar* (CENSOLAR, 1993), contendo valores de irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em pontos de fronteira ou próximos da fronteira. Utilizando dados do SunData, o CRESESB criou uma ferramenta chamada Busca por Coordenadas. Esta ferramenta permite que o usuário obtenha dados de radiação solar da localização desejada através de triangulação entre dados de pontos que foram estudados pelo programa. O programa fornece dados de irradiação solar para no mínimo três localidades disponíveis próximas ao ponto de interesse. São fornecidos os valores de irradiação solar em kWh/m².dia no plano horizontal correspondentes às diárias médias mensais para os 12 meses do ano. Os valores válidos de latitude devem estar na faixa de 12° de latitude norte e 40° sul e de longitude na faixa de 30°oeste e 80°oeste (CRESESB, 2014).

A Figura 17 mostra que, para o município de Viçosa, há uma irradiação solar média diária de 4,95kWh/m².dia. É possível observar também que, através da ferramenta, é possível obter a média em qualquer mês apenas passando a seta em cima do gráfico gerado. Por exemplo, na Figura 17 observa-se que a média no plano horizontal para o mês de agosto é de 4,36 kWh/m².dia.

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	5,72	5,78	5,28	4,39	4,08	3,58	3,94	4,56	4,36	4,75	5,03	5,47	4,75	2,20
☑	Ângulo igual a latitude	21° N	5,19	5,51	5,40	4,87	4,94	4,49	4,89	5,28	4,58	4,63	4,64	4,91	4,95	1,02
☑	Maior média anual	20° N	5,23	5,54	5,40	4,86	4,91	4,46	4,86	5,26	4,57	4,64	4,67	4,95	4,95	1,07
☑	Maior mínimo mensal	23° N	5,12	5,46	5,38	4,90	5,00	4,56	4,96	5,32	4,57	4,59	4,59	4,84	4,94	,90

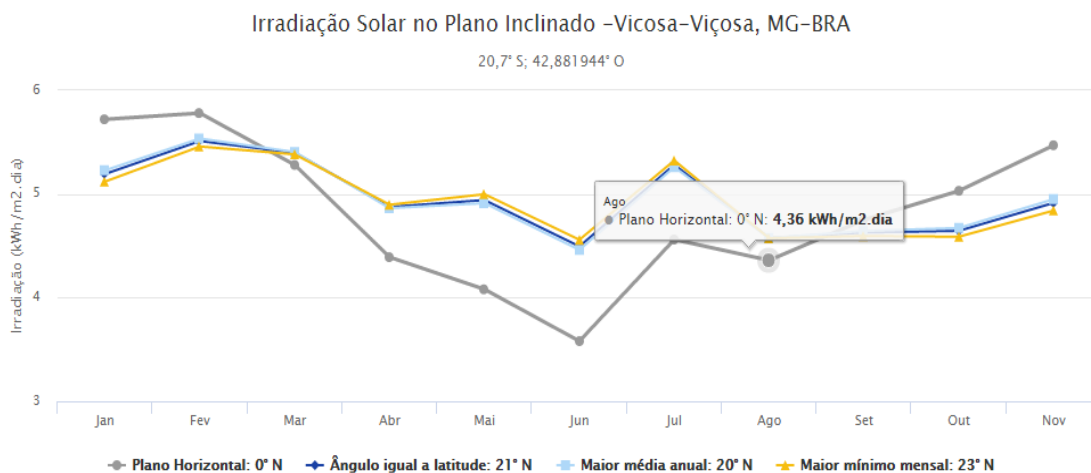


Figura 17 - Irradiação solar no município de Viçosa - MG. (CRESESB, 2014)

Observa-se na Figura 19, que o valor do kWh pago pelo SAAE Viçosa gira em torno de R\$0,70. Considerando os índices mostrados na Figura 17, é possível prever com alguma segurança que, para cada 300m² de painéis instalados, o SAAE terá uma economia mensal de R\$3.717,23, como mostra a Figura 18. Considerando que o estado de Minas Gerais possui a nona tarifa de energia mais cara do Brasil (ANEEL, 2015), considerando consumidores em escala residencial, é possível afirmar que o uso de energia solar *on-grid* no município é economicamente viável em locais sem sombreamento. No Capítulo 3 deste trabalho, o estudo de caso é realizado, e mais detalhes acerca dos cálculos serão fornecidos, de modo que fique claro o tempo de *payback* e a economia total planejada, assim como todas as instalações *saaenses* que estão aptas a receber micro e mini estações de geração distribuída.

Eficiência Média Estimada dos Painéis(%)	Eficiência Média Estimada do Sistema(%)	Radiação Média Regional(kW*h/m ² /dia)	Energia Gerada por m ² (kW*h/m ² /dia)
14,48	82,32	4,95	0,59
Energia Gerada por 300m ² (kW*h/m ² /dia)		Valor do kW*h	
177,01		R\$ 0,70	
Economia mensal			
R\$ 3.717,23			

Figura 18 - Dados financeiros estimados do projeto.

2ª VIA - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA

Classe		Subclasse		Datas de Leitura			Datas da Nota Fiscal		Nº DA INSTALAÇÃO																									
Serviço Público Monofásico		Água Esgoto e Saneamento		Anterior	Atual	Próxima	Emissão	Apresentação	3003858138																									
				07/07	07/08	08/09	11/08	04/09																										
Informações Técnicas																																		
Tipo de Medição		Medição		Leitura Anterior		Leitura Atual		Constante de Multiplicação		Consumo kWh																								
Energia kWh		ABG051014611		13.201		13.275		1		74																								
Informações Gerais																																		
<p>Tarifa vigente conforme Res Aneel nº 1.872, de 7/4/2015 Leitura realizada conf. calendário de faturamento O pagamento desta conta não quita débitos anteriores. Para estes, estão sujeitas penalidades legais vigentes (multas) e/ou atualização financeira (juros) baseadas no vencimento das mesmas.</p> <p>JUL/2015 Band. Vermelha - AGO/2015 Band. Vermelha</p>																																		
Indicadores de Qualidade de Fornecimento																																		
<p>Viçosa-Mês: 06/2015</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Apurado Mensal</th> <th colspan="3">Valores Permitidos</th> </tr> <tr> <th>Mensal</th> <th>Trimestral</th> <th>Anual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIC 4,00</td> <td>4,83</td> <td>9,87</td> <td>19,34</td> </tr> <tr> <td>FIC 1,00</td> <td>3,11</td> <td>6,22</td> <td>12,45</td> </tr> <tr> <td>DMIC 0,00</td> <td>2,69</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>DICRI 0,00</td> <td>18,80</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tensão: Nominal= 220/127 V Min.= 201/116 V Máx = 231/133 V Valor Encargo Uso Sist. Distribuição: R\$ 24,37</p>											Apurado Mensal	Valores Permitidos			Mensal	Trimestral	Anual	DIC 4,00	4,83	9,87	19,34	FIC 1,00	3,11	6,22	12,45	DMIC 0,00	2,69	-	-	DICRI 0,00	18,80	-	-	
Apurado Mensal	Valores Permitidos																																	
	Mensal	Trimestral	Anual																															
DIC 4,00	4,83	9,87	19,34																															
FIC 1,00	3,11	6,22	12,45																															
DMIC 0,00	2,69	-	-																															
DICRI 0,00	18,80	-	-																															
Informações de Faturamento																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> <th>PARCELAS</th> <th>VALOR(R\$)</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Energia</td> <td>17,42</td> <td>36,35</td> <td>Enc. setoriais</td> <td>6,60</td> <td>13,77</td> </tr> <tr> <td>Distribuição</td> <td>10,56</td> <td>22,04</td> <td>Tributos</td> <td>11,78</td> <td>24,58</td> </tr> <tr> <td>Transmissão</td> <td>1,58</td> <td>3,26</td> <td>Totais</td> <td>47,92</td> <td>100,00</td> </tr> </tbody> </table>											PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%	Energia	17,42	36,35	Enc. setoriais	6,60	13,77	Distribuição	10,56	22,04	Tributos	11,78	24,58	Transmissão	1,58	3,26	Totais	47,92	100,00
PARCELAS	VALOR(R\$)	%	PARCELAS	VALOR(R\$)	%																													
Energia	17,42	36,35	Enc. setoriais	6,60	13,77																													
Distribuição	10,56	22,04	Tributos	11,78	24,58																													
Transmissão	1,58	3,26	Totais	47,92	100,00																													
Valores Faturados																																		
Descrição		Quantidade		Tarifa/Preço (R\$)		Valor (R\$)																												
Energia Elétrica kWh		74		0,74879342		55,39																												
Encargos/Cobranças																																		
Desconto Serviço Público						7,47-																												
Tarifas Aplicadas (sem impostos)																																		
Energia Elétrica kWh				0,56474000																														
Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar																																		
Bandeira Vermelha						5,39																												
VENCIMENTO						VALOR A PAGAR																												
22/10/2015						R\$ 47,92																												

Figura 19 - Exemplo de conta de energia elétrica do SAAE - Viçosa.

3 Estudo de Caso

Apesar de não haver registros de empresas brasileiras do mesmo tipo do SAAE que utilizam um sistema de compensação de energia elétrica através de geração fotovoltaica, estudos ao redor do mundo mostram que existe uma tendência crescente para que isto seja feito, dada a excelente relação custo/benefício obtida a partir do investimento (World Future Council, 2016). Neste capítulo, o *modus operandi* do SAAE é detalhado, de forma que as prioridades de investimentos possam ser definidas, a fim de aproveitar da melhor forma os recursos que venham a ser destinados ao investimento aqui proposto.

3.1 Perfil de Consumo da Empresa

Atualmente, o SAAE Viçosa conta com consumidores de energia elétrica pertencentes aos chamados grupos A e B. De acordo com (ANEEL, 2010), através da resolução normativa Nº 414, o grupo A (alta tensão) é composto por unidades consumidoras que recebem energia em tensão igual ou superior a 2,3kV ou são atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária. Neste grupo, geralmente se enquadram indústrias e estabelecimentos comerciais de médio ou grande portes. O grupo A está dividido em seis subgrupos que, basicamente, são classificados de acordo com a tensão de fornecimento por parte da concessionária. São eles:

- Subgrupo A1 – possui tensão de fornecimento igual ou superior a 230kV;
- Subgrupo A2 – Possui tensão de fornecimento de 88kV a 230kV;
- Subgrupo A3 – Possui tensão de fornecimento de 69kV
- Subgrupo A3a – Possui tensão de 30kV a 44kV;
- Subgrupo A4 – Possui tensão de 2,3kV a 25kV;
- Subgrupo AS – Possui tensão inferior a 2,3kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

O grupo B (baixa tensão) é caracterizado por unidades consumidoras atendidas em tensão inferior a 2,3kV, com tarifa monômnia (aplicável apenas ao consumo). O grupo B está subdividido em quatro subgrupos:

- Subgrupo B1 – consumidor residencial;
- Subgrupo B2 – consumidor rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Considerando o período em estudo (Março de 2015 a Fevereiro de 2016), o SAAE possui:

- 44 consumidores do grupo B – todos no subgrupo B3;
- 4 consumidores do grupo A – Todos no subgrupo A4;

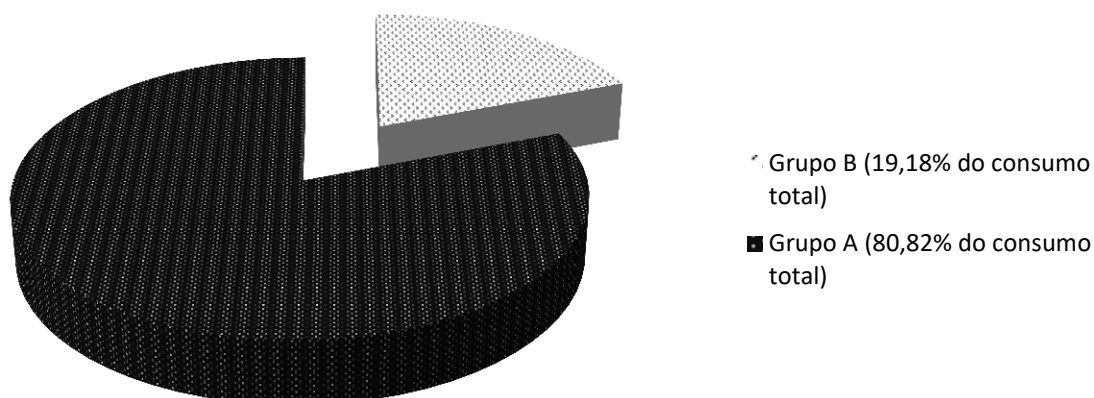


Figura 20 - Relação de consumo entre grupos A, B.

Como mostra a Figura 20, o SAAE possui 19,18% do total de suas instalações pertencentes ao grupo B, subgrupo B3 e 80,82% pertencentes ao grupo A, subgrupo A4. A norma diz que somente valores referentes ao custo por kWh podem ser compensados, ficando vetado o uso das placas solares para receber dinheiro do SAAE e também para abonar valores referentes a outras taxas, como por exemplo, a taxa de disponibilidade. Haja vista, também, que, de acordo com a norma, a concessionária não tem obrigação de adequar a rede a receber um sistema gerador cuja quantidade gerada seja maior do que a potência instalada no local onde a micro ou mini geradora se encontra. Isto não impede que uma potência maior seja gerada, porém, a capacidade do local deve ser checada com a concessionária responsável. Por isso, locais onde já há uma alta potência instalada são preferíveis para a instalação.

Basicamente, as instalações do SAAE do grupo B podem ser divididas em três grandes grupos:

- *Boosters*;
- Telemetria;
- Poços artesianos.

Os *boosters* e poços artesianos representam a maior parte da energia consumida. Essas instalações são, basicamente, compostas por motores responsáveis por girar bombas d'água. Em alguns casos, instalações podem conter poços e telemetria, fazendo com que a instalação esteja em dois dos três grupos supracitados.

Já os consumidores do grupo A podem ser subdivididos em dois grupos:

- Captação;
- Tratamento

A Tabela 1 contém uma lista de todas as instalações que se enquadram no grupo B, subgrupo B3 e seus consumos mensais médios durante o ano em estudo. Observando o perfil de consumo das instalações, fica evidente que as melhores instalações para que seja proposta a instalação de um sistema de compensação através de geração fotovoltaica são as que contêm poços e *boosters*. Devem ser considerados, também, a área disponível no local, possíveis sombreamentos e o vandalismo na região.

Tabela 1–Lista de instalações pertencentes ao SAAE que estão no grupo B, definido pela ANEEL.

INSTALAÇÕES GRUPO B	
Nome da Instalação	Consumo Mensal Médio (kWh)
POÇO TICO TICO	0,0
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO BELVEDERE	0,0
RESERVATÓRIO SOL NASCENTE	0,0
BOMBA COND. VALE DAS ACÁCIAS	0,0
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO CACHOEIRA S. CRUZ	0,1
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO BOM JESUS	0,5
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO CACHOEIRA S. CRUZ	1,7
RESERVATÓRIO COELHA	0,5
RESERVATÓRIO MORRO DA CORUJA	4,1
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO CACHOEIRA S. CRUZ	6,8
BOMBA D'ÁGUA LOT. RECANTO DAS VEREDAS	12,5
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO SANTA CLARA	17,1
SAAE LIMPEZA PÚBLICA	22,5
MONITORAMENTO RESERVATÓRIO NOVO SILVESTRE	30,3

RESERVATÓRIO E MONITORAMENTO NOVA VIÇOSA 230 BG	65,5
SERVIÇO DE LIMPEZA PÚBLICA	33,0
SERVIÇO DE LIMPEZA PÚBLICA	92,8
POÇO CRISTAIS	189,6
POÇO PARAISO	216,0
ETE VIOLEIRA	182,1
ESCRITÓRIO CENTRAL SAAE	284,4
BOOSTER PARTHENON	312,6
BOOSTER JULIA MOLAR NOVA ERA*	405,8
RESERVATÓRIO E MONITORAMENTO NOVA VIÇOSA 1551 BG	536,7
POÇO VILA SÃO JOÃO	692,6
POÇO RESIDENCIAL OCTÁVIO PACHECO	764,6
POÇO PAU DE CEDRO	764,1
POÇO ARTESIANO SÃO FRANCISCO	1.016,5
POÇO CACHOEIRA DE SANTA CRUZ E ELEVATÓRIA	484,4
POÇO ARTESIANO COELHA	1.087,9
POÇO SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 30 BG *	1.349,2
POÇO BUIEIE	1.356,3
POÇO SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 220 PM	1.408,4
POÇO ROMÃO DOS REIS	2.174,4
POÇO CACHOEIRA DE SANTA CRUZ*	3.210,3
POÇO VILA ALVES*	2.801,7
BOOSTER BELVEDERE*	2.649,7
BOOSTER MILENIUM SANTO ANTONIO *	2.547,8
BOOSTER CAMPESTRE JOÃO BRAS *	3.120,2
POÇO FAZENDA SÃO LUIZ	3.271,7
BOOSTER MUNDIAL PARQUE HOTEL JOÃO BRAS *	3.789,6
BOOSTER RAMOS *	3.547,1
POÇO NOVO SILVESTRE	4.446,4
BOOSTER NOVA VIÇOSA	5.937,5
ELEVATÓRIA SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 300 BG	6.289,2

A Tabela 2 contém uma lista das 4 instalações que se enquadram no grupo A, definido pela ANEEL.

Tabela 2 - Lista de instalações que estão no grupo A, definido pela ANEEL.

INSTALAÇÕES GRUPO A	
Nome da Instalação	Consumo Mensal Médio (kWh)
<u>SAAE CAPTAÇÃO ETA 2**</u>	42.148,0
<u>SAAE CAPTAÇÃO ETA 1**</u>	53.837,2
SAAE ETA1**	57.640,3
SAAE ETA2**	14.6673,6

Durante o andamento deste estudo foram encontradas algumas razões para considerar que a instalação de sistemas de compensação em consumidoras do grupo A são menos vantajosas economicamente. Os motivos estão listados abaixo:

- O principal motivo é que o valor do kWh para consumidores do grupo B é em média 21,6% maior do que o valor para o grupo A;
- O custo de disponibilidade, representado no grupo A pelo valor cobrado pela demanda de potência contratada, não pode ser abatido com geração por compensação. Enquanto o valor gasto com custo de disponibilidade gira em torno dos R\$17,00 para instalações monofásicas e bifásicas do grupo B e R\$35,00 para instalações trifásicas grupo B, enquanto no grupo A este custo acaba sendo bem maior, visto que deve-se multiplicar R\$10,80 por kW disponível no local. Lembrando que, no caso do grupo A, este valor é pago com ou sem o uso dessa disponibilidade. Para se ter uma ideia do impacto desse valor, considerando os quatro consumidores grupo A em Viçosa, o valor gasto apenas com demanda de disponibilidade contratada é de cerca de R\$13.000,00 mensais, enquanto que, considerando que todos os locais de grupo A paguem apenas o custo de disponibilidade numa situação hipotética de compensação total, o valor seria de cerca de R\$1000,00;
- Por último, a norma diz que a entrega de energia em estações micro e mini geradoras deve ser feita na mesma tensão à qual esta é recebida. Principalmente numa etapa experimental, é muito mais cômodo e simples entregar a tensão gerada à rede de 220V do que em 13,8kV;(ANEEL, 2015)
- Os consumidores do grupo A são taxados por energia reativa e esta não pode ser incluída no esquema de compensação. (ANEEL, 2015)

Considerando estas razões, o foco dos resultados obtidos com o estudo de viabilidade econômica mostrado no Capítulo 4 será em implementar o sistema de compensação apenas nos consumidores do grupo B. A seguir, serão propostos locais de propriedade do SAAE onde os sistemas fotovoltaicos podem ser implementados.

3.2 Sugestões de Locais para a Instalação

O SAAE possui uma série de propriedades onde podem ser instaladas células fotovoltaicas capazes de gerar uma quantidade satisfatória de energia. A seguir estão algumas sugestões de lotes, pertencentes à empresa, em que podem ser instalados kits fotovoltaicos.



Figura 21 - Estação elevatória São José do Triunfo.



Figura 22 - Terreno da estação elevatória São José do Triunfo

Nas Figura 21 e Figura 22, está a estação elevatória São José do Triunfo. Esta instalação está localizada em uma área completamente urbanizada, o que aumenta a disponibilidade de potência e dificulta o vandalismo. Além disso, possui um terreno com cerca de 120m², além de um telhado com cerca de 40m². Não há sombreamento em nenhum momento do dia no telhado.

Outro bom terreno que o SAAE possui é onde está localizado o reservatório do bairro Nova Viçosa. A área é completamente urbanizada, o que aumenta a disponibilidade de potência, e possui um amplo espaço utilizável, como mostram as Figura 23, Figura 24 e Figura 25.



Figura 23 - Reservatório Nova Viçosa



Figura 24 - Reservatório Nova Viçosa (parte lateral).



Figura 25 - Reservatório Nova Viçosa (fundos).

Um pequeno problema associado ao terreno em nova Viçosa é que parte do terreno ficará sombreada devido à construção de um prédio ao lado. Mesmo assim, o terreno conta com mais de 100m² de área utilizável.

O SAAE possui, também, um lote localizado na região da farinha. O local conta com problemas de vandalismo, porém, é o maior terreno (mais de 150m²), não possui sombreamento e possui facilidade de conexão com a rede elétrica. Não foi possível adentrar ao local para uma avaliação mais precisa, porém, pelo lado de fora da para ver que este é um excelente terreno, como mostra a Figura 26.

Além de lotes como os mostrados anteriormente, há vários *boosters* que possuem apenas uma casa de máquinas com telhados que chegam a ter 30m². Um exemplo é o *Booster Nova Viçosa*, mostrado nas Figura 27 e Figura 28.



Figura 26 - Reservatório da Farinheira



Figura 27 - Casa de máquinas do Booster Nova Viçosa.

Nota-se que os locais carecem de uma organização prévia, no sentido de podar árvores e limpar terrenos. Ainda assim, os terrenos do SAAE oferecem um grande potencial de geração fotovoltaica.



Figura 28 - Casa de máquinas do Booster Nova Viçosa; vista do telhado.

Além destes pequenos terrenos, há também a sede do SAAE, localizada à rua do *Pintinho*, onde se tem o escritório sede, e também a estação de tratamento da *Violeira*. Visto que estes dois locais são consumidores grupo A e a norma não é clara sobre a possibilidade da compensação de energia do grupo B com geração em locais grupo A, a possibilidade de instalação de placas solares será deixada em aberto. Caso seja de interesse do SAAE implementar a compensação através da mini e micro geração fotovoltaica, a possibilidade de instalação nestas duas localidades pode ser negociada com a concessionária.



Figura 29 - Sede do SAAE.

4 Resultados e Discussão

Visto que os motivos apresentados no capítulo anterior restringem o projeto, pelo menos em fase inicial, a um sistema de compensação apenas para consumidores do grupo B, este capítulo tem como objetivo destrinchar toda a parte financeira do projeto para verificar a viabilidade econômica do investimento.

4.1 Equipamentos Propostos

Para este projeto, o equipamento sugerido é fornecido pela empresa PHB. A razão disto é que a PHB oferece kits prontos para diferentes necessidades. Como mostra a Tabela 1, o perfil de carga do SAAE é bem variado e a PHB possui uma gama de kits pré-dimensionados que se enquadram em cada uma das situações. Basicamente, a empresa trabalha com módulos da marca CanadianSolar® e Jinko®. Ambos os módulos possuem eficiência e preço similares. Aqui, será feita a opção pelo módulo da CanadianSolar®, visto que este módulo apresenta uma eficiência 1,73% maior em relação a seu concorrente da Jinko®. O modelo utilizado nos kits PHB é o CS6P-265P. Os inversores utilizados são fornecidos pela própria PHB. Há uma variação de modelos para os inversores, porém todos são da mesma linha. Apenas a potência varia. Os modelos utilizados são:

- PHB1500-SS;
- PHB3000-SS;
- PHB4600-SS;
- PHB20K-DT.

Os kits PHB contam, também, com toda a estrutura de cabeamento, emendas e até estrutura de solo, caso esta seja necessária.

Considerando que a resolução normativa 687 apenas prevê que micro e mini geradores compensem energia, impedindo a venda por parte destes geradores, apenas serão consideradas no cálculo de viabilidade econômica instalações com consumo mensal médio acima de 80kWh. A Tabela 3 mostra alguns detalhes de cada kit fornecido pela PHB, juntamente com seu número de referência. Vale ressaltar que os valores de geração média dos kits foram

calculados utilizando a eficiência fornecida pelo fabricante e dados de radiação média mensal fornecidos por (CRESESB, 2014).

Tabela 3 - Detalhes dos kits PHB

Número kit (ref)	Potencia do Kit	Área dos Paineis	Geração Mensal (med)
1	1,33 kWp	8,0 m ²	166,31 kWh
2	1,59 kWp	9,7 m ²	201,66 kWh
3	2,12 kWp	12,9 m ²	268,18 kWh
4	2,65 kWp	16,1 m ²	334,71 kWh
5	3,18 kWp	19,3 m ²	401,23 kWh
6	3,71 kWp	22,5 m ²	467,76 kWh
7	4,24 kWp	25,7 m ²	534,28 kWh
8	4,77 kWp	29,0 m ²	602,89 kWh
9	5,30 kWp	32,2 m ²	669,41 kWh
10	6,36 kWp	38,6 m ²	802,47 kWh
11	7,42 kWp	45,0 m ²	935,52 kWh
12	8,48 kWp	51,5 m ²	1.070,65 kWh
13	9,54 kWp	57,9 m ²	1.203,70 kWh
14	10,60 kWp	64,3 m ²	1.336,75 kWh
15	15,90 kWp	96,5 m ²	2.006,16 kWh
16	21,20 kWp	128,7 m ²	2.675,58 kWh
17	21,20 kWp	128,7 m ²	2.675,58 kWh
18	21,20 kWp	128,7 m ²	2.675,58 kWh
19	31,80 kWp	193,0 m ²	4.012,33 kWh
20	31,80 kWp	193,0 m ²	4.012,33 kWh
22	42,40 kWp	257,4 m ²	5.351,15 kWh
23	42,40 kWp	257,4 m ²	5.351,15 kWh
24	63,60 kWp	386,0 m ²	8.024,65 kWh
25	63,60 kWp	386,0 m ²	8.024,65 kWh
26	84,80 kWp	514,7 m ²	10.700,23 kWh
27	84,80 kWp	514,7 m ²	10.700,23 kWh
28	106,00 kWp	643,4 m ²	13.375,81 kWh
29	106,00 kWp	643,4 m ²	13.375,81 kWh

Já a Tabela 4 apresenta uma relação de todos os consumidores do grupo B pertencentes ao SAAE, suas médias de consumo mensal e um kit fotovoltaico associado a ele. Vale ressaltar que, de acordo com (ANEEL, 2015), a energia compensada em uma instalação pode ser gerada em outra instalação pertencente ao mesmo dono, no caso, o SAAE. Logo, o espalhamento de kits por todas as instalações do SAAE serve apenas para mostrar que a PHB fornece opções para todos os tipos de consumidores existentes neste estudo. Quanto a

viabilidade financeira, o ideal será acomodar o máximo possível da geração em uma mesma localidade, como é mostrado no próximo sub-item.

Tabela 4 - Consumo mensal médio de cada instalação e o kit sugerido por instalação.

Nome da Instalação	Consumo Mensal Médio (kW/h)	Kit sugerido:
RESERVATÓRIO E MONITORAMENTO NOVA VIÇOSA 230 BG	86,3	1
SERVIÇO DE LIMPEZA PÚBLICA	91,1	1
SERVIÇO DE LIMPEZA PÚBLICA	107,8	1
POÇO CRISTAIS	239,9	3
POÇO PARAISO	255,2	3
ETE VIOLEIRA	288,7	4
ESCRITÓRIO CENTRAL SAAE	333,1	4
BOOSTER PARTHENON	365,0	5
BOOSTER JÚLIA MOLAR NOVA ERA*	397,8	5
RESERVATÓRIO E MONITORAMENTO NOVA VIÇOSA 1551 BG	677,7	10
POÇO VILA SÃO JOÃO	890,8	11
POÇO RESIDENCIAL OCTÁVIO PACHECO	910,0	11
POÇO PAU DE CEDRO	921,7	11
POÇO ARTESIANO SÃO FRANCISCO	1241,4	14
POÇO CACHOEIRA DE SANTA CRUZ E ELEVATÓRIA	1327,8	14
POÇO ARTESIANO COELHA	1723,4	15
POÇO SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 30 BG *	1765,9	15
POÇO BUIEIE	1841,3	15
POÇO SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 220 PM	1843,8	15
POÇO ROMÃO DOS REIS	2443,8	18
POÇO CACHOEIRA DE SANTA CRUZ*	3019,3	19
POÇO VILA ALVES*	3149,3	19
BOOSTER BELVEDERE*	3261,6	19
BOOSTER MILENIUM SANTO ANTONIO *	3272,2	19
BOOSTER CAMPESTRE JOÃO BRAS *	3670,9	19
POÇO FAZENDA SÃO LUIZ	4202,6	23
BOOSTER MUNDIAL PARQUE HOTEL JOÃO BRAS *	4694,2	23
BOOSTER RAMOS *	4992,5	23
POÇO NOVO SILVESTRE	5365,1	25
BOOSTER NOVA VIÇOSA	7630,3	25
ELEVATÓRIA SÃO JOSÉ DO TRIUNFO 300 BG	7745,8	25

4.2 Retorno Financeiro

É sabido que o valor do kWh sofre variações sazonais de acordo com alguns detalhes da geração no país. Por isso, a melhor forma de calcular um valor de kWh que melhor representa o sistema é fazer uma média deste valor durante os 12 meses em estudo. A Tabela 5 mostra que o valor gasto por kWh em consumidores do grupo B é, em média, 21,6% maior.

Tabela 5 - Média do valor do kWh pago pelo SAAE entre Março de 2015 e Fevereiro de 2016.

	Valor médio kWh	
	Grupo A	Grupo B
março-15	R\$ 0,50	R\$ 0,57
abril-15	R\$ 0,54	R\$ 0,71
maio-15	R\$ 0,59	R\$ 0,73
junho-15	R\$ 0,60	R\$ 0,74
julho-15	R\$ 0,61	R\$ 0,75
agosto-15	R\$ 0,61	R\$ 0,75
setembro-15	R\$ 0,60	R\$ 0,74
outubro-15	R\$ 0,62	R\$ 0,74
novembro-15	R\$ 0,60	R\$ 0,73
dezembro-15	R\$ 0,60	R\$ 0,72
janeiro-16	R\$ 0,59	R\$ 0,73
fevereiro-16	R\$ 0,59	R\$ 0,73
Valor médio:	R\$ 0,60	R\$ 0,73

De acordo com (ANEEL, 2007), a Cemig cobrava dos consumidores do grupo B, em 22 de junho de 2007, R\$0,43 por kWh. A Tabela 5 possui a média do valor do kWh paga pelo SAAE nas instalações de consumidores do grupo B. Nota-se que, em cerca de nove anos, houve um aumento de 69,8% na tarifa de energia elétrica. Isto representa um cenário no qual a energia elétrica sofreu um aumento médio de pouco mais de 6,5% ao ano durante nove anos. Visto que há um cenário de incerteza sobre o futuro da economia do país neste momento e não há previsões certas sobre o aumento da energia elétrica, será considerado um aumento de 5% ao ano no cálculo do *payback* do investimento no sistema de compensação fotovoltaica.

O cálculo do *payback* foi dividido em três diferentes cenários. Inicialmente, foi feito um cálculo para um caso isolado, em que somente o menor kit, que é o de número de referência 1 na Tabela 3, seria instalado e seu retorno foi calculado. Visto que o kit 1 é o que

representa o menor custo/benefício, como pode ser verificado na Tabela 6, este cálculo pode ser utilizado como uma boa referência, afinal, qualquer um dos outros cenários terá um retorno melhor do que este. Vale salientar que, para este caso e para os seguintes, o custo considerado do investimento foi o valor do kit mais 10% de mão de obra.

Tabela 6 - Cálculo do *Payback* Simples de cada um dos Kits PHB.

Características Básicas dos Kits PHP na Região de Viçosa.				
Número (ref)	Preço do Kit Completo	Geração Mensal (med)	Economia Mensal (estimada)	Payback Simples (estimado)
1	R\$ 9.040,81	166,31 kWh	R\$ 121,41	6,2 anos
2	R\$ 9.716,00	201,66 kWh	R\$ 147,21	5,5 anos
3	R\$ 13.301,21	268,18 kWh	R\$ 195,77	5,7 anos
4	R\$ 15.464,83	334,71 kWh	R\$ 244,34	5,3 anos
5	R\$ 16.748,82	401,23 kWh	R\$ 292,90	4,8 anos
6	R\$ 19.769,66	467,76 kWh	R\$ 341,46	4,8 anos
7	R\$ 21.457,71	534,28 kWh	R\$ 390,03	4,6 anos
8	R\$ 23.076,15	602,89 kWh	R\$ 440,11	4,4 anos
9	R\$ 25.533,44	669,41 kWh	R\$ 488,67	4,4 anos
10	R\$ 32.365,33	802,47 kWh	R\$ 585,80	4,6 anos
11	R\$ 37.323,95	935,52 kWh	R\$ 682,93	4,6 anos
12	R\$ 41.102,38	1.070,65 kWh	R\$ 781,57	4,4 anos
13	R\$ 48.361,79	1.203,70 kWh	R\$ 878,70	4,6 anos
14	R\$ 49.057,14	1.336,75 kWh	R\$ 975,83	4,2 anos
15	R\$ 71.771,09	2.006,16 kWh	R\$ 1.464,50	4,1 anos
16	R\$ 96.441,69	2.675,58 kWh	R\$ 1.953,17	4,1 anos
17	R\$ 90.642,15	2.675,58 kWh	R\$ 1.953,17	3,9 anos
18	R\$ 93.952,10	2.675,58 kWh	R\$ 1.953,17	4,0 anos
19	R\$ 142.288,45	4.012,33 kWh	R\$ 2.929,00	4,0 anos
20	R\$ 136.536,22	4.012,33 kWh	R\$ 2.929,00	3,9 anos
22	R\$ 174.941,75	5.351,15 kWh	R\$ 3.906,34	3,7 anos
23	R\$ 182.606,61	5.351,15 kWh	R\$ 3.906,34	3,9 anos
24	R\$ 260.778,21	8.024,65 kWh	R\$ 5.858,00	3,7 anos
25	R\$ 272.365,97	8.024,65 kWh	R\$ 5.858,00	3,9 anos
26	R\$ 335.511,78	10.700,23 kWh	R\$ 7.811,17	3,6 anos
27	R\$ 350.621,43	10.700,23 kWh	R\$ 7.811,17	3,7 anos
28	R\$ 422.942,48	13.375,81 kWh	R\$ 9.764,34	3,6 anos
29	R\$ 441.829,54	13.375,81 kWh	R\$ 9.764,34	3,8 anos

Na segunda parte do cálculo, foi suposto que o SAAE instalaria, no local de cada consumidor grupo B da Tabela 4 um kit de acordo com a demanda necessária no local. A

divisão de Kits por instalação foi ilustrada também na Tabela 4. Por fim, no terceiro cenário, o SAAE concentraria a geração em alguns de seus terrenos e somente os kits maiores, de referência 28 na Tabela 4, seriam instalados.

A metodologia de cálculo de retorno foi feita da seguinte maneira:

- Inicialmente, foram levantados os dados de preços de kWh médio, dos preços dos kits e, baseado nos dados históricos da cartilha Cemig, (ANEEL, 2007), a projeção de aumento do valor do kWh para consumidores grupo B.
- Depois, foi construída uma planilha, na qual um fluxo de caixa foi feito, além de considerações de custo de oportunidade e queda do rendimento no módulo terem sido feitas.

A Tabela 7 mostra os parâmetros utilizados para o cálculo do cenário 1. O modelo de tabela é o mesmo para todos os cenários à frente. A tabela funciona da seguinte forma: na parte de cima há os parâmetros que são modificáveis:

- O parâmetro “Investimento Hipotético” representa o investimento que o cliente, no caso o SAAE, poderia fazer com o dinheiro aplicado no kit, caso optasse por investir em outra forma de arcar com a conta de energia elétrica.
- O parâmetro “Aumento Anual da Conta de Luz” representa o aumento estimado. Como foi explicado anteriormente, o aumento dos últimos nove anos foi de cerca de 6,5% a.a., logo, para manter uma margem de segurança no cálculo, foi considerado um aumento anual de 5% a.a.
- Já o valor do kWh foi calculado como mostra a Tabela 5, a partir da média paga pelo SAAE nos últimos 10 anos.
- O parâmetro “Potência Gerada Anual” foi calculado a partir dos dados do CRESESB de irradiação solar média na região de Viçosa e dos dados de eficiência fornecidos pelos fabricantes dos materiais.
- A eficiência do módulo solar fornecida pela CanadianSolar® é de 16,47% e a eficiência do inversor utilizado no projeto é de 85%.
- Por fim, o último parâmetro modificável na tabela de cálculo de *payback* é o investimento inicial.

Como foi mencionado anteriormente, o investimento inicial considerado para a instalação dos kits é de 10% do valor do kit. Logo, para o kit 1, por exemplo, que está cotado em R\$9.040,81, a mão de obra de instalação será de R\$904,08, totalizando os R\$9.944,89 que podem ser verificados na Tabela 7.

Tabela 7 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 1.

Investimento Hipotético		Cenário 1			
12%					
Aumento Anual da Conta de Luz					
5%					
Valor do kWh R\$ 0,73					
Potência Gerada anual(kWh)					
1995,72					
Capital Inicial = Valor do kit + 10% de mão de obra					
R\$	9.944,89				
Anos	Cálculo do Custo de Oportunidade		Rendimento Kit	Rendimento do Capital Aplicado (-) Valor da Conta de Luz	Acúmulo de Capital Proporcionalado pelo Kit
1	R\$	11.138,28	R\$ 1.456,88	R\$ 9.681,40	R\$ 1.456,88
2	R\$	12.474,87	R\$ 1.514,42	R\$ 9.313,45	R\$ 3.130,83
3	R\$	13.971,86	R\$ 1.574,24	R\$ 8.824,86	R\$ 5.048,80
4	R\$	15.648,48	R\$ 1.636,42	R\$ 8.197,33	R\$ 7.240,99
5	R\$	17.526,30	R\$ 1.701,06	R\$ 7.410,17	R\$ 9.741,20
6	R\$	19.629,45	R\$ 1.768,26	R\$ 6.440,00	R\$ 12.587,27
7	R\$	21.984,99	R\$ 1.838,10	R\$ 5.260,45	R\$ 15.821,59
8	R\$	24.623,18	R\$ 1.910,71	R\$ 3.841,73	R\$ 19.491,62
9	R\$	27.577,97	R\$ 1.986,18	R\$ 2.150,27	R\$ 23.650,51
10	R\$	30.887,32	R\$ 2.064,63	R\$ 148,21	R\$ 28.357,74

Para facilitar a visualização de como o dinheiro se comporta, investido numa aplicação com rendimento de 12% ao ano *versus* o dinheiro investido no kit de energia solar, as tabelas de todos os cenários estão atreladas a um gráfico que, para o cenário 1, está mostrado na Figura 30.

O derretimento do capital, ilustrado pela linha pontilhada, foi calculado da seguinte maneira: supondo que o cliente tenha o dinheiro em mãos, há que se fazer uma escolha. O cliente pode investir em um kit de mini ou micro geração, ou pode investir num fundo seguro, como, por exemplo, o tesouro Selic. Caso a opção seja feita por investir em títulos Selic, o cliente continuaria tendo que pagar o valor referente à quantidade de kWh que o kit poderia gerar. Logo, o derretimento do capital se dá quando utiliza-se o rendimento do dinheiro aplicado para pagar o valor referente a conta de luz.

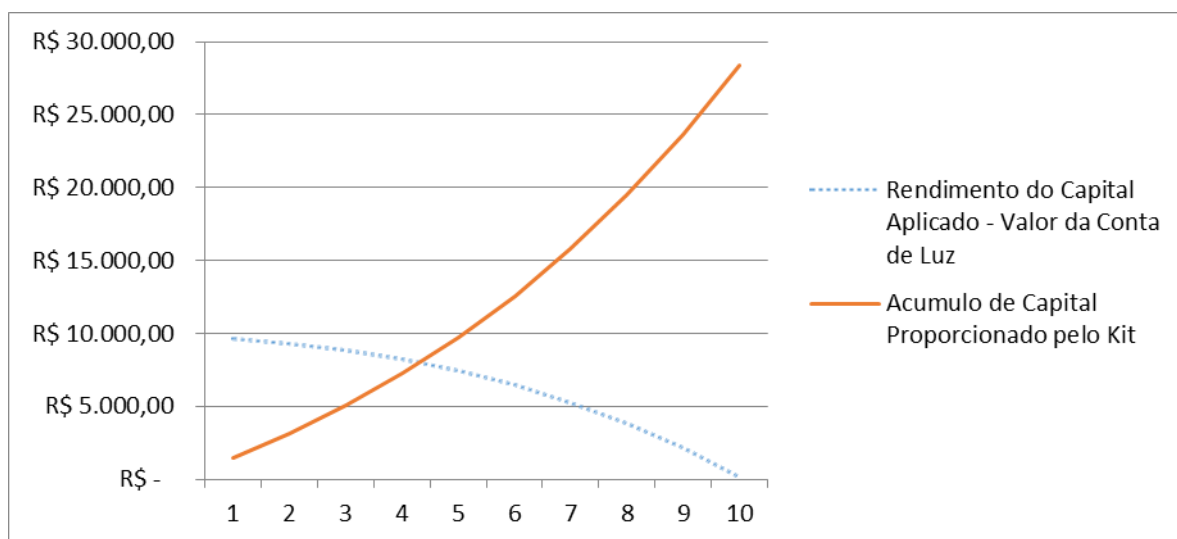


Figura 30 - Ilustração do acúmulo do capital versus o derretimento do mesmo para o cenário 1.

Por outro lado, se for observada a linha contínua, há um crescimento exponencial do capital durante os 10 anos considerados. Esse crescimento foi calculado da seguinte maneira: O dinheiro economizado pelo cliente durante cada ano sem a parcela referente a geração que o kit teria na conta de luz é reinvestido em títulos Selic. Também foi considerado ao aumento do valor da conta de luz, além da queda anual de 1% no rendimento dos módulos.

Observando o comportamento das linhas, as seguintes observações podem ser feitas:

- O rendimento líquido proporcionado pelo kit chega aos 10 mil reais que foram gastos no investimento inicial em cerca de cinco anos.
- O encontro das curvas, que representa o ponto em que o valor agregado gerado pelo kit ultrapassaria o capital investido na Selic acontece em menos de 4,5 anos.

No cenário 2, cada instalação tem um kit instalado *in loco*. A forma de cálculo é a mesma, porém a relação custo benefício é melhor, dado que kits maiores possuem melhor retorno. Observando a Tabela 8, nota-se que o investimento que teria que ser feito por parte

da empresa para que todos os consumidores do grupo B, com consumo mensal médio acima de 80kWh fossem atendidos com o sistema de compensação através de mini e micro geração é de R\$2.898.932,80.

Observando a Figura 31, nota-se que, neste segundo cenário, o encontro das curvas de derretimento de capital e acúmulo gerado pela instalação do sistema de compensação é ainda mais cedo.

Tabela 8 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 2.

Investimento Hipotético		Cenário2			
12%					
Aumento Anual da Conta de Luz					
5%					
Valor do kWh R\$ 0,73					
Potência Gerada anual em kWh					
891933,99					
Capital Inicial = Valor do kit + 10% de mão de obra					
R\$ 2.898.932,80					
Anos	Cálculo do Custo de Oportunidade	Rendimento Kit	Rendimento do Capital Aplicado (-) Valor da Conta de Luz	Acúmulo de Capital Proporcionado pelo Kit	
1	R\$ 3.246.804,73	R\$ 651.111,81	R\$ 2.595.692,92	R\$ 651.111,81	
2	R\$ 3.636.421,30	R\$ 676.830,73	R\$ 2.223.508,67	R\$ 1.399.239,28	
3	R\$ 4.072.791,85	R\$ 703.565,54	R\$ 1.772.478,94	R\$ 2.256.428,31	
4	R\$ 4.561.526,88	R\$ 731.356,38	R\$ 1.231.433,10	R\$ 3.236.169,15	
5	R\$ 5.108.910,10	R\$ 760.244,96	R\$ 587.774,59	R\$ 4.353.568,89	
6	R\$ 5.721.979,31	R\$ 790.274,63	-R\$ 172.694,46	R\$ 5.625.544,43	
7	R\$ 6.408.616,83	R\$ 821.490,48	-R\$ 1.065.969,89	R\$ 7.071.038,62	
8	R\$ 7.177.650,85	R\$ 853.939,36	-R\$ 2.110.065,98	R\$ 8.711.262,26	
9	R\$ 8.038.968,95	R\$ 887.669,96	-R\$ 3.325.262,59	R\$ 10.569.964,96	
10	R\$ 9.003.645,23	R\$ 922.732,92	-R\$ 4.734.382,23	R\$ 12.673.738,48	

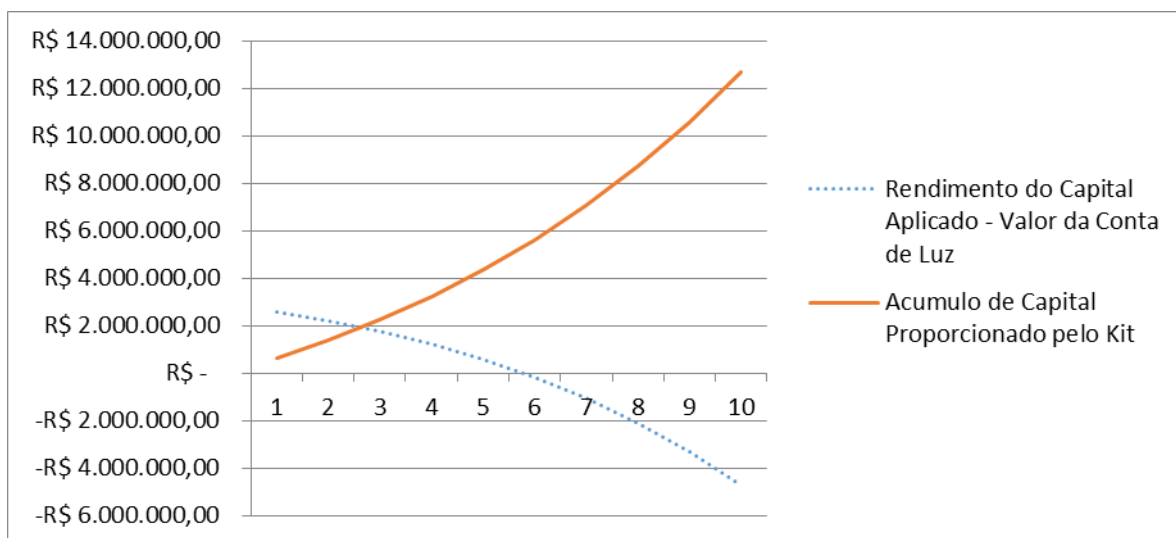


Figura 31 - Ilustração do acúmulo do capital versus o derretimento do mesmo para o cenário 2.

Vale salientar que o valor inicial investido é atingido na forma de rendimentos obtidos pelo sistema fotovoltaico em cerca de 3,7 anos e, também, que a economia anual média seria em torno de R\$600.000,00. Durante 10 anos, o rendimento passaria dos R\$12.000.000,00.

No cenário três, a proposta é instalar cinco kits de 106kWp, mais especificamente, os kits que são referenciados pelo número 28 na Tabela 4. Tais kits apresentam excelente custo/benefício e proporcionariam o melhor retorno para a empresa, como pode ser visto na Figura 32.

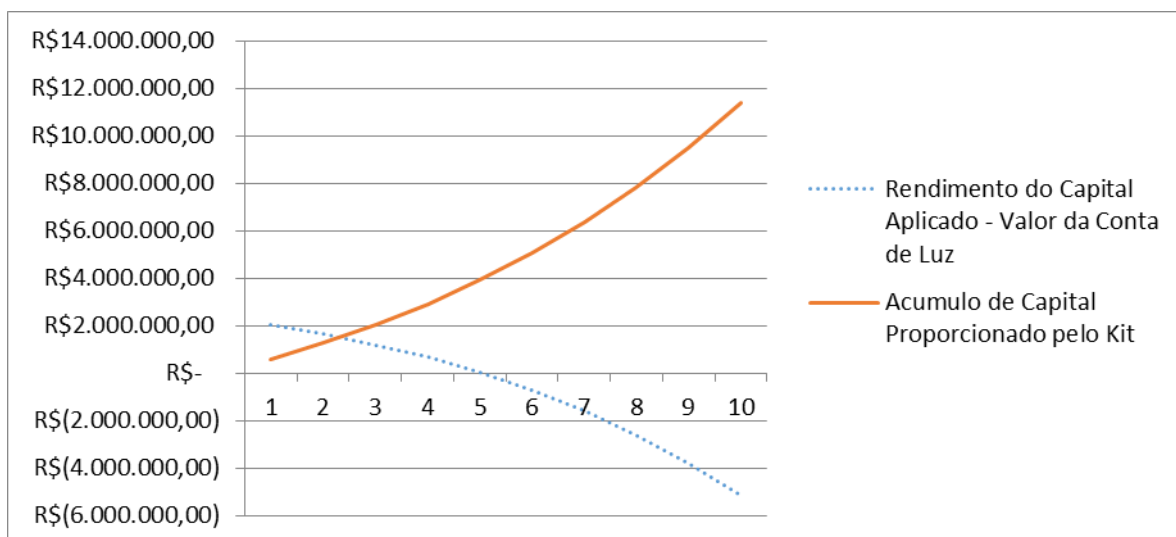


Figura 32 - Ilustração do acúmulo do capital versus o derretimento do mesmo para o cenário 3.

O valor investido, que para o cenário 3 foi de R\$2.326.183,64, vide Tabela 9, foi recuperado em menos de 2,5 anos e o encontro das linhas se deu pouco depois de dois anos. Ao longo de 10 anos, o rendimento do investimento foi de quase R\$12.000.000,00.

Tabela 9 - Detalhamento do calculo do retorno do cenário 3.

Investimento Hipotético		Cenário 3			
12%					
Aumento Anual da Conta de Luz					
5%					
Valor do kWh R\$ 0,73					
Potência Gerada anual em kWh 802548,50					
Capital Inicial = Valor do kit + 10% de mão de obra					
R\$ 2.326.183,64					
Anos	Cálculo do Custo de Oportunidade	Rendimento Kit	Rendimento do Capital Aplicado (-) Valor da Conta de Luz	Acúmulo de Capital Proporcionado pelo Kit	
1	R\$ 2.605.325,68	R\$ 585.860,40	R\$ 2.019.465,27	R\$ 585.860,40	
2	R\$ 2.917.964,76	R\$ 609.001,89	R\$ 1.646.647,68	R\$ 1.259.014,00	
3	R\$ 3.268.120,53	R\$ 633.057,46	R\$ 1.198.334,31	R\$ 2.030.299,52	
4	R\$ 3.660.294,99	R\$ 658.063,23	R\$ 663.927,78	R\$ 2.911.855,28	
5	R\$ 4.099.530,39	R\$ 684.056,73	R\$ 31.482,14	R\$ 3.917.274,39	
6	R\$ 4.591.474,04	R\$ 711.076,97	-R\$ 712.462,84	R\$ 5.061.778,43	
7	R\$ 5.142.450,92	R\$ 739.164,51	-R\$ 1.583.067,35	R\$ 6.362.411,89	
8	R\$ 5.759.545,03	R\$ 768.361,51	-R\$ 2.597.399,85	R\$ 7.838.259,92	
9	R\$ 6.450.690,44	R\$ 798.711,79	-R\$ 3.774.670,48	R\$ 9.510.692,05	
10	R\$ 7.224.773,29	R\$ 830.260,91	-R\$ 5.136.492,71	R\$ 11.403.635,13	

5 Conclusões

Neste estudo, um projeto de compensação de energia elétrica por meio da instalação de micro e mini usinas geradores em terrenos de propriedade do SAAE Viçosa. Como resultado, foi possível constatar a viabilidade do sistema de compensação fotovoltaica em 99,8% das cargas do SAAE pertencentes ao grupo B.

Considerando os casos 2 e 3, analisados no capítulo anterior, constatou-se que, após o investimento inicial, os kits fotovoltaicos propostos gerariam uma economia de até 700 mil reais anuais aos cofres públicos. Para se ter uma ideia do impacto desta economia, há um programa no SAAE que visa a, com a substituição de hidrômetros antigos por modelos mais novos, reduzir desperdícios, inadimplência e melhorar a precisão da medição, aprimorando assim o serviço prestado. De acordo com uma fonte interna do SAAE, o custo de cada hidrômetro novo à empresa é de cerca de R\$50,00 e, de acordo com (SAAE, 2016), a empresa tem como meta substituir oito mil hidrômetros até o fim de 2016. O investimento com material da troca de hidrômetros de todo o ano de 2016 será de cerca de 400 mil reais. Se o cenário 3 do capítulo anterior estivesse em funcionamento, a economia com conta de energia elétrica pagaria todos os hidrômetros do ano e ainda haveria uma sobra de quase 300 mil reais.

Como foi dito anteriormente, o SAAE é uma empresa de responsabilidade da prefeitura de Viçosa. Numa cidade com pouco mais de 77 mil habitantes (IBGE, 2016), uma economia à prefeitura de 700 mil reais mensais representa uma economia muito significativa. De acordo com (UOL, 2015), o custo de um aluno na escola aos cofres públicos é de cerca de R\$2.500,00. A economia aqui proposta representaria mais 280 alunos no ensino básico municipal.

5.1 Proposta de Continuidade

- Estender projetos de compensação para todo o serviço público: hospitais, escolas, e quaisquer outros prédios públicos que tenham área utilizável para a inserção dos módulos;
- Propor sistemas isolados para áreas rurais;

- Utilizar sistemas integrados à rede para melhorar a qualidade de energia em regiões que sofrem com variações de tensão e frequência.

6 Referências Bibliográficas

- ANEEL. (2007). *Cartilha CEMIG*. Brasília: ANEEL.
- ANEEL. (09 de Setembro de 2010). *Direitos e Deveres dos Consumidores*. Acesso em 22 de Novembro de 2016, disponível em ANEEL: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/bren2010414.pdf/3bd33297-26f9-4ddf-94c3-f01d76d6f14a?version=1.0>
- ANEEL. (24 de Novembro de 2015). *Ranking das Tarifas*. Acesso em 17 de Novembro de 2016, disponível em ANEEL: <http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>
- ANEEL. (24 de Novembro de 2015). *Resolução Normativa 687*. Acesso em 03 de Novembro de 2016, disponível em ANEEL: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- CENSOLAR. (1993). *Publicaciones Periódicas Especializadas*. Fonte: CENSOLAR.ES: <http://www.censolar.es/menu6.htm#pupe>
- CRESESB. (2014). *Busca por Coordenadas*. Acesso em 17 de Novembro de 2016, disponível em CRESESB: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>
- EnergiaTecSolar. (2015). *Painel Solar Energia Fotovoltaica*. Acesso em 03 de Novembro de 2016, disponível em EnergiaTecSolar: <http://energiatecsolar.com.br/painel-solar-fotovoltaico-energia/>
- Greepeace. (2006). *Solar Generation*. Amsterdam: Greenpeace.
- IBGE. (12 de Setembro de 2016). *Viçosa*. Acesso em 23 de Novembro de 2016, disponível em IBGE: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=317130>
- Jager, K. (2014). *Solar Energy - Fundamentals, Technology and Systems*. Delft: Delft University of Technology.
- Maehlum, M. A. (18 de Maio de 2015). *Which Solar Panel Type is Best?* Acesso em 28 de Outubro de 2016, disponível em Energy Informative: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>
- REN21. (2016). *Renwables 2016 - Global Status Report*.
- Rocha, A. V. (Dezembro de 2014). *Módulos Fotovoltaicos*. Acesso em 01 de Novembro de 2016, disponível em Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia: <http://pt.slideshare.net/nivaniapink/3-energia-solar-fotovoltaica-mdulos-fotovoltaicos>
- SAAE. (2016). *SAAE Viçosa - História*. Acesso em 29 de Outubro de 2016, disponível em SAAE Vicosa: http://www.saaevicosa.com.br/portal/?page_id=3
- Souza, R. d. (2015). *Os Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica*. Ribeirão Preto.
- The Eco Experts. (2015). *How Much Do Solar Panels Cost in the UK?* Acesso em Outubro de 2016, disponível em The Eco Experts: <http://www.theecoexperts.co.uk/how-much-do-solar-panels-cost-uk>
- UOL. (09 de Novembro de 2015). *Fundeb: MEC define custo anual por aluno em R\$ 2.545,31 para 2015*. Acesso em 23 de Novembro de 2016, disponível em UOL Educação: <http://educacao.uol.com.br/noticias/2015/11/09/fundeb-mec-define-custo-anual-por-aluno-em-r-254531-para-2015.htm>
- World Future Council. (2016). *Measuring Costs and Benefits - Examination of Methodologies*. *Renewable Energy and Sustainable Development*, 31 - 37.