

VIABILIDADE DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE EM INSTITUIÇÃO PÚBLICA: ESTUDO DE CASO USANDO RETSCREEN¹

FEASIBILITY OF AN ON-GRID PHOTOVOLTAIC SYSTEM: CASE STUDY USING RETSCREEN¹

LAMEC SAMPAIO DE FREITAS², NATANNAEL ALMEIDA SOUSA²,
ALEXSANDRA NUNES PINHEIRO², MONA LISA MOURA DE OLIVEIRA³

¹Aceito para Publicação no 2º Trimestre de 2017.

²Msc. Ciências Físicas Aplicadas: Energias e Meio Ambiente, Universidade Estadual do Ceará Centro de Ciências e Tecnologia. lamec@outlook.com, natannaelalmeida@gmail.com, solarpinheiroalcantara@gmail.com.

³Professora Adjunta do curso de Física na Universidade Estadual do Ceará Centro de Ciências e Tecnologia. mona.lisa@uece.br.

Resumo

O presente trabalho realiza uma análise econômica e ambiental para implantação de um SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) em uma instituição pública (Hemocentro), utilizando o *software RETScreen*, como uma análise geral da implantação de Geração Distribuída (GD). A eficiência do módulo fotovoltaico e do inversor utilizados no presente estudo foi de 14,9% e 96,3%, respectivamente. A partir da simulação realizada, a energia total anual produzida pelo sistema e exportada à rede da concessionária alcançou 30 MWh, para um sistema padrão proposto com vida útil de 25 anos. Este sistema é avaliado utilizando três diferentes cenários, que são: (i) utilizando 10% de taxa de indexação para o aumento da tarifa de energia durante o tempo de vida do projeto; (ii) utilizando 15% como

taxa de indexação, e; (iii) utilizando 15% como taxa de indexação e total isenção de impostos sobre os equipamentos fotovoltaicos. Os resultados foram baseados em dados de 2014 e mostraram que o primeiro cenário não era viável financeiramente. O segundo cenário apresentou um *payback* de 23 anos, e o último cenário apresentou um *payback* de 17 anos. O resultado do estudo aponta que SFCR são ambientalmente viáveis, porém ainda precisam de mais incentivos fiscais para estes tipos de empreendimento implementados em sistemas públicos no Brasil.

Palavras Chave: Geração Distribuída, RETScreen, Sistema Fotovoltaico, meio ambiente.

Abstract

This paper presents an environmental and economic evaluation of a GCPVS (Grid-Connected Photovoltaic System) installed in a public institution (Hemocenter), using RETScreen software as an analysis of distributed generation (DG). The PV module efficiency and inverter efficiency were around 15 % and 96 %, respectively. For total annual energy output delivered to grid was found of 30 MWh, when simulated system for a 25-year standard solar panel warranty. This system is evaluated using three different simulated scenarios which are: (i) Using 10 % as indexation rate to increase electricity tariff over the project duration; (ii) Using 15 % as indexation rate, and then; (iii) using 15 % as indexation rate plus total exemption of taxes on PV equipment. The results were based on 2014 data and showed that the first scenario was not financially viable. The second scenario showed a payback in 23th year of the project and the last scenario presented a payback in the 17th year. The findings from this simulation indicate that GCPVS are environmental viable, but still need tax incentives to become attractive to investors in Brazil.

Keywords: *Distributed Generation; RETScreen, photovoltaic system, environment.*

TÍTULO RESUMIDO: ANÁLISE GERAL DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UM HEMOCENTRO USANDO RETSCREEN

1. Introdução

Sistemas Fotovoltaicos (FV) são considerados sistemas de produção de energia limpa que não agridem o meio ambiente. Por esses motivos, os SV desempenham um papel de destaque no cenário energético mundial. Entretanto, o custo de investimento inicial para implantação desses sistemas ainda se apresenta bastante elevado (MIRZAHOSSEINI; TAHERI, 2012). Outrossim, esse fator se apresenta como o principal entrave para a disseminação dessa forma de geração de energia elétrica, muito embora o cenário mundial esteja se tornando cada vez mais favorável para a utilização dessa tecnologia.

No Brasil, a energia solar contribuiu em 2014 com 16 GWh para a matriz elétrica nacional. A matriz elétrica brasileira, isto é, a oferta total de energia elétrica no Brasil, segmentada por fonte no ano de 2014, apresentou dependência de 65,2% de fontes hidráulicas, 23,5% de fontes não renováveis (carvão, óleo, gás natural e nuclear) e 11,3% de outras fontes (eólica, solar, térmica, geotérmica, biomassa, biodiesel e ondas), dentre outras (MME, 2015). É de destacar que o Brasil possui grande capacidade de gerar energia a partir de recursos renováveis, diversificando sua matriz energética e dissolvendo ainda a elevada dependência de uma só fonte (EVANS; STREZOV; EVANS, 2009). De fato, a implementação, cada vez mais, de SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede) poderá trazer diversos benefícios para a sociedade, além de ser uma forma de geração de energia com baixos índices de poluição atmosférica. Desde 2004, com a criação do PROINFRA (Programa de Incentivo a Fontes Alternativas de Energia Elétrica), o governo brasileiro vem estimulando a diversificação da matriz energética brasileira (WEISSER, 2007).

O ano de 2015 apresentou um reajuste das tarifas de energia do país da ordem de 48%, e ainda existe previsão de aumentar mais 8% neste ano. Desde janeiro de 2015 que o Brasil utiliza a *bandeira vermelha* para tarifação da energia. O sistema de bandeiras adotado pelo país está relacionado com o nível de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Quando o nível dos reservatórios está próximo da metade da sua capacidade, é acionada a *bandeira amarela*, que eleva o custo do kWh. Quando os níveis dos reservatórios estão consideravelmente baixos, aplica-se a *bandeira vermelha* que acarreta numa considerável elevação no custo do kWh. Esse sistema de bandeiras também é utilizado para determinar a quantidade de usinas termelétricas que deverão entrar em operação no país, para suprir a

demanda e evitar o racionamento ou a falta de energia. Segundo a ANEEL (2015), o país conta com quinze usinas termelétricas em fase de construção com previsão de entrada em operação nos próximos anos (ANEEL, 2015a e 2015b).

Importante destacar que projetos de Geração Distribuída (GD), além de ser uma área chave para a sustentabilidade e geração de energia limpa, causa um grande impacto em todo o sistema de transmissão e distribuição de energia, uma vez que altera toda a concepção do sistema atual se tornando um tema chave de alta criticidade. Do mesmo modo, com o advento das novas tecnologias de geração de energia de forma distribuída, as redes elétricas e de comunicação passarão a interligar milhões de fontes de energia renováveis (KESHAV; ROSENBERG, 2011).

O estado do Ceará está localizado na região nordeste do Brasil e apresenta uma área total de 148.826 km², ocupando 1,74 % do território brasileiro. Cada vez mais o Ceará ganha destaque no que se refere ao potencial de geração de energia fotovoltaica, tendo em vista a sua média diária de oito horas de insolação na maior parte do ano (~ 20 MJ/m²/dia) (CEARÁ, 2010). Estudos destacam ainda que se 1% do território cearense fosse utilizado para instalação de painéis fotovoltaicos, a produção de energia elétrica no estado seria suficiente para atender 100% da sua demanda (SACRAMENTO *et al.*, 2008; MENEZES NETO *et al.*, 2009; VIANA *et al.*, 2011; ESTEVES *et al.*, 2015).

Em 2009, o Governo do Estado do Ceará criou o Fundo de Incentivo a Energia Solar no Ceará, objetivando fornecer subsídios e atrair investimentos para o setor de energia solar no estado (CEARÁ, 2009). Entretanto, devido à falta de cooperação entre estado e municípios, além da falta de incentivos fiscais atraentes para a iniciativa privada, encontra-se incipiente em alguns aspectos, ou não são da mesma magnitude daqueles verificados em outros países (i.e. Alemanha, Espanha). Em abril de 2012, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) criou a Resolução Normativa nº 482 de micro e mini-geração, que tem permitido aos consumidores um Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Ou seja, créditos pelo excedente produzido que for injetado na rede. Contudo, devido às elevadas taxas tributárias ainda existentes no Brasil, esta ação encontra-se incipiente ou em desenvolvimento.

Em 2013, o estado cearense foi responsável por 2% da geração da energética nacional, estimando um crescimento de 79,5% para os anos subsequentes (ARCE, 2013). Contudo, é importante salientar que para orientar futuros investimentos no setor energético, é necessário

considerar também os possíveis impactos ambientais que esse setor pode gerar, sobretudo no âmbito da geração sustentável de energia (EVANS; STREZOV; EVANS, 2009; SANTOS; SOUZA, 2011).

O Ministério de Minas e Energia (MME) do governo brasileiro, através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), tem reportado que instituições do poder público nacional apresentaram um consumo médio de energia elétrica mais de 15.000 GWh (EPE, 2015), cenário que merece atenção na conjuntura atual. Nestes termos, o presente trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise genérica de um SFCR implantado em uma edificação pública na cidade de Fortaleza/CE, usando *software RETScreen*® (Departamento de Recursos Naturais do Governo do Canadá) . O caso de estudo proposto (viabilidade de um SFCR) refere-se a uma edificação pública, especificamente, o Centro de Hematologia e Hemoterapia do Ceará (sede de Fortaleza). Trata-se de um centro de excelência técnico-científica em hemoterapia, hematologia e terapia celular da Região. Tipicamente, unidades como essas, possuem elevado consumo de energia elétrica e, portanto, elevados custos para o erário público.

2. Aspectos Gerais

A matriz elétrica brasileira sofreu um considerável recuo de fontes renováveis, de 84,5% em 2012 para 79,3% em 2013 e 65,2% ao final do ano de 2014. O país também registrou um aumento de 2,9% no consumo de eletricidade, tal excedente no consumo ocasionou a expansão da geração termelétrica no país, especialmente de usinas movidas a carvão mineral (+24,7%), gás natural (+17,5%) e biomassa (+14,1%) (EPE, 2015). Essas mudanças na matriz energética nacional são evidenciadas pelo aumento do fator de impacto nacional para gases de efeito estufa, com 0,096 tCO₂/MWh em 2013, enquanto que em 2014 chegou a 0,1355 tCO₂/MWh (MTC, 2015). Oliveira e colaboradores (2005) relataram que na última fase fria da ODP (Oscilação Decadal do Pacífico), o Brasil sofreu com uma redução média de 15% dos totais pluviométricos. Molion (2008) destaca ainda que é possível que essa situação se repita, tendo em vista a predominância de eventos da La Niña até 2025.

Desde a década de 1970, o preço de sistemas fotovoltaicos vem apresentando contínua redução (MARKVART, 2002). Saly e colaboradores (2006) relatam que nos anos 90, a

indústria fotovoltaica apresentou uma taxa de crescimento de 30% ao ano. Convém ressaltar ainda que o uso da tecnologia fotovoltaica pode gerar 10 milhões de empregos nesse setor, em todo o mundo, conforme reportando por alguns autores (MINTS, 2012; VIANA *et al.*, 2011; SUÁREZ-DOMÍNGUEZ *et al.*, (2015) destacam que os preços dos módulos fotovoltaicos vêm sofrendo um decréscimo ao longo dos anos. No entanto, a elevada carga tributária brasileira ainda é muito dispendiosa, impedindo, de forma mais ampla, a disseminação desses sistemas. Estudo reportado por Bertocello e colaboradores (2015), fica evidente a elevada carga tributária brasileira sobre os itens necessários para a geração de energia fotovoltaica, cujos módulos fotovoltaicos apresentam um sobre custo de mais de 27%, enquanto que, os inversores e medidores sofrem acréscimos médios de 82%.

A eficiência de módulos fotovoltaicos do tipo monocristalino está entre 14 e 20%, e de módulos policristalinos entre 12 e 17%, entretanto, módulos do segundo tipo apresentam um preço muito menor em relação ao primeiro, conforme apontam estudos realizados por Al-Salaymeh *et al* (2010), Jäger-Waldau (2010) e Bostan *et al* (2007). As tecnologias para células fotovoltaicas mais desenvolvidas em todo o mundo podem ser classificadas em cinco classes atualmente: *Emerging PV*, CdTe, CIS/CIGS, *Group III-V* e Silício. Selecionar a tecnologia ideal é essencial para a proposta de viabilidade de um sistema fotovoltaico (LIU, 2011). As placas com células de Silício têm apresentado uma alta eficiência de conversão energética. Estudos indicam uma eficiência bem próxima da máxima prevista (RAZYKOV *et al.*, 2011). No caso do presente trabalho, foram consideradas placas de tipo Poly-Silício. Embora o presente trabalho utilize um modelo de painéis solares com posicionamento fixo, estudos indicam que sistemas com placas móveis operados com eixo de rastreamento apresentam um ganho na eficiência da ordem de 22,3% para sistemas com 1 eixo e, 25% para sistemas com dois eixos, quando comparadas com sistema de eixo fixo (GOMEZ; WANG; BARNETT, 2012). Geralmente, o tempo de retorno do investimento (*payback*) em sistemas fotovoltaicos do tipo *stand-alone*, é maior do que sistemas conectados à rede (MIRZAHOSSEINI; TAHERI, 2012).

O *software RETScreen Clean Energy Management* (simplesmente *RETScreen*), fornecido gratuitamente pelo governo Canadense, é utilizado em todo o mundo para avaliar a produção e acúmulo de energia, redução de emissões, viabilidade financeira e os diversos riscos para os vários tipos de energias renováveis e tecnologias energeticamente eficientes

(*RetScreen International*, 2016; BUSTOS *et al.*, 2015). O *RETScreen* considera diversos fatores que são de extrema importância para um estudo detalhado do sistema como a fonte de energia disponível para o projeto, o desempenho do equipamento, os custos iniciais do projeto, custo evitado de energia, financiamento, os impostos sobre o equipamento e renda, características ambientais e subsídios (NRC, 2015). A Tabela 1 apresenta valores típicos de radiação anual para a capital do Ceará.

Esta ferramenta vem sendo continuamente utilizada em diversos estudos de viabilidade de geração de energia limpa, como foi utilizado para avaliar a viabilidade técnica, financeira e ambiental de um sistema fotovoltaico no Irã considerando os subsídios de energia no país.

Tabela 1 – Parâmetros anuais para a cidade de Fortaleza utilizado pelo *RETScreen*

Mês	Ta (°C)	HR (%)	RS (kWh/m ² /d) (horizontal)	P (kPa)	v (m/s)	Ts (°C)	Rf (°C) - dia
Janeiro	27,3	78	5,33	101,2	3,7	27,8	536
Fevereiro	26,7	79	5,14	101,2	3,1	27,9	468
Março	26,3	84	4,67	101,2	2,6	27,9	505
Abril	26,5	85	4,53	101,2	2,9	27,9	495
Mai	26,3	82	5,03	101,3	3,7	27,7	505
Junho	25,9	80	5,00	101,4	5,1	27,3	477
Julho	25,7	80	5,69	101,5	5,6	27,3	487
Agosto	26,1	75	6,19	101,5	6,3	28,1	499
Setembro	26,6	74	6,25	101,4	6,7	28,4	498
Outubro	27,0	73	6,47	101,3	6,3	28,8	527
Novembro	27,2	74	6,36	101,2	5,8	28,7	516
Dezembro	27,3	76	6,06	101,2	4,6	28,3	536
Anual	26,6	78	5,56	101,3	4,7	28,0	504

Fonte: RETScreen , 2015.

Nota: Temperatura do ar (Ta); Humidade relativa (HR); Radiação solar (RS); Pressão (P); Velocidade do vento (v); Temperatura do solo (Ts); Resfriamento ao dia (Rf).

Os resultados apresentaram um cenário em que o retorno do investimento é de seis anos para um sistema que considera painéis solares de alta eficiência, créditos de carbono e

um valor significativo para o kWh produzido (MIRZAHOSSEINI; TAHERI, 2012). Outro estudo de viabilidade técnica, econômica e ambiental para sistemas fotovoltaicos conduzido em Surabaya, na Indonésia, utilizando o *software RETScreen*, concluiu que é possível suprir a demanda básica de energia elétrica de uma casa naquela região. As simulações indicaram que o governo indonésio não apresenta incentivo ou subsídios para sistemas fotovoltaicos de pequena escala, resultando em um retorno de investimento de 17,6 anos (TARIGAN; KARTIKASARI, 2015). Um terceiro estudo avaliou um sistema fotovoltaico no Chile, também utilizando o *RETScreen*. Foram considerados parâmetros técnicos, financeiros e ambientais do sistema. O estudo indicou que a forma de maior rentabilidade nesse projeto é aplicar economias de escala, aumentar a capacidade das usinas de energia solar e os mecanismos de desenvolvimento limpo, com os créditos de carbono. O estudo também concluiu que com incentivos fiscais por parte do poder público o projeto tem um retorno financeiro mais eficiente (BUSTUS *et al.*, 2015).

3. Metodologia

3.1 Caracterização dos Cenários

Atualmente, o Centro de Hematologia e Hemoterapia do Ceará (HEMOCE) da capital, apresenta em média uma demanda de 160 MWh por mês. No presente estudo, foram simulados três cenários de implantação de SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede), a partir da utilização de 100 painéis fotovoltaicos. A Figura 2 ilustra a apresentação dos cenários (I, II e III) analisados no presente trabalho.

CENÁRIO I – Utilizou-se taxa de indexação de 10% para o crescimento anual da tarifa de Energia Elétrica (EL), ao longo da vida útil do projeto, com base na média de reajustes ocorridos nos anos de 2013, 2014 e 2015, conforme Tabela 2.

CENÁRIO II – Utilizou-se taxa de indexação de 15% para um cenário pessimista de continuidade da estiagem e aumento da utilização de termelétricas, com base na previsão da ANEEL da entrada em operação de diversas usinas termelétricas no ano de 2016, conforme reportado na literatura (BERTONCELLO *et al.*, 2015).

CENÁRIO III – Estimou-se um cenário de incentivos fiscais, com base na isenção de tributos que sobrecarregam o custo total do projeto (i.e. Imposto Sobre Produtos Industrializados – IPI).

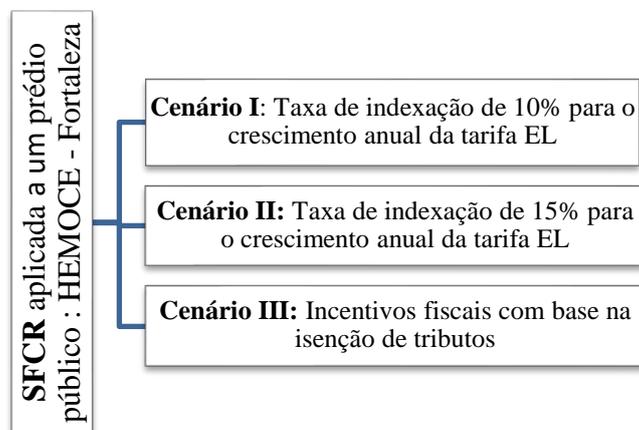


Figura 2. Apresentação dos cenários avaliados no presente estudo

Tabela 2 – Reajuste médio de tarifa da concessionária*

Resolução da ANEEL	% Reajuste (médio)
RH n. 1.882 de 14/04/15	11,69
RH n. 1.858 de 27/02/15	07,28
RH n. 1.711 de 15/04/14	08,09
RH n. 1.516 de 16/04/13	03,44

*ANEEL, 2013; 2014; 2015.

3.2 Modelagem do SFCR (Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede)

As análises foram feitas utilizando o *software RETScreen International Photovoltaic Project Model* (ver Figura 3) para um sistema de energia limpa, que tem a capacidade de realizar uma análise detalhada de produção do sistema, análise financeira e análise de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE). É de ressaltar que esta ferramenta oferece uma maneira conveniente para desenvolver estudos preliminares de energia e avaliações financeiras de projetos de Energias Renováveis (ER), conforme reportado na literatura (LEE et al., 2012; BUSTOS *et al.*, 2015; SUNDARAM; BABU, 2015)

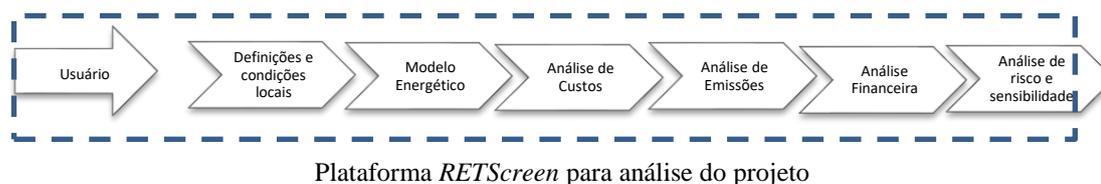


Figura 3. Esquema geral do *software RETScreen*: análise padrão das principais etapas (adaptada de LEE et al., 2012)

Esse projeto de análise no *RETScreen* para energia limpa é uma ferramenta de apoio aos diversos setores da sociedade, ajudando nas tomadas de decisões inerentes aos diversos aspectos de um projeto de eficiência energética.

Após indicar o tipo de projeto proposto, assim como a tecnologia a ser utilizada, o *RETScreen* aplica o modelo energético proposto, sendo necessário indicar as especificações dos componentes do sistema (i.e., placas solares, inversores, aerogeradores, consumo, etc.). Em seguida o *software* permite a realização de uma análise dos custos de todo o processo, bem como um levantamento das emissões de todo o sistema. A simulação foi realizada mediante o uso de 100 painéis solares na parte superior do prédio do caso em estudo, com área útil para instalação do SFCR de, aproximadamente, 1.000 m², conforme metodologia reportada por MIRZAHOSSEINI e TAHERI (2012).

3.3 Características dos Módulos Fotovoltaicos

O projeto proposto de um SFCR considera a utilização de painéis solares planos e fixos. Os painéis utilizados nas simulações são os produzidos pela empresa *Canadian Solar*, modelo poly-Si - CS6P-240PX, cujos detalhes estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações dos painéis fotovoltaicos simulados no RETScreen

Tipo	poly-Si	Unidade
Potência elétrica	24,00	kW
Fabricante	<i>Canadian Solar</i>	-
Modelo	poly-Si - CS6P-240PX	-
Eficiência	14,9%	%
Temperatura de operação normal da célula	45	°C
Coeficiente de Temperatura	0,40%	% / °C
Área do coletor solar	161	m ²

Fonte: www.canadiansolar.com/solar (2015)

No caso do inversor, foi adotada a marca SMA modelo *Sunny Boy* (SB), 2500-HF-30, com potência nominal de 2.500W. As características e especificações técnicas são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do inversor proposto no estudo

Entrada (Corrente Contínua)		Unidade
Tipo	SB 2500-HF-30	-
Potência máxima	2500	W
Tensão máxima	700	V
Corrente máxima	15 (por arranjo)	A
Tensão mínima	175 (rede de 220V)	V
Tensão nominal	530	V
Faixa de tensão do PMP	175-560	V
Saída (Corrente Alternada)		
Potência nominal (230V, 50Hz)	2500	W
Potência máxima aparente	2500	VA
Faixa de tensão nominal	180-280	V
Frequência	50, 60 ($\pm 4,5$)	Hz
Corrente máxima	14,2 ^a	-
Fator de potência	1	-
Fases/neutro	1/1	-
Eficiência	96,3/95,4	%
Características Gerais		
Dimensões	348/580/145	mm
Peso	17	kg
Temperatura de operação	-25 a 60	°C
Consumo interno (noturno)	0,8	W
Grau de proteção eletrônica	IP65/IP54	-
Classe de proteção	I/III	-

Fonte: adaptado de NGS (2016).

No presente trabalho foi considerado o preço da eletricidade exportada para a rede com base no valor cobrado pela concessionária, em reais (R\$), pelo MWh consumido no ano de 2014.

O modelo de emissões do *RETSscreen* pode determinar o montante que podem ser atenuados com a implementação de SFCR. Este modelo incorpora o fator de GEE com o índice de e ($tCO_2eq =$ toneladas equivalentes de CO_2), avaliado pela Equação (1) (*Retscreen International*, 2015):

$$e = \left(e_{iCO_2} GWP_{CO_2} + e_{iCH_4} GWP_{CH_4} + e_{iN_2O} GWP_{N_2O} \right) \frac{1}{\eta} \frac{1}{1-\lambda} \quad (1)$$

Onde, cada e_i corresponde a um fator de emissão relacionado com cada elemento nos produtos de combustão. GWP_i é o fator equivalente, η e λ são a eficiência de conversão e a perda de transmissão e distribuição, respectivamente (CETIN; EGRICAN, 2011; *RETSscreen International*, 2015; BUSTOS et al., 2016). Desta forma, as avaliações de emissões e financeira do caso e estudo, consideraram-se:

(i) Fator de Emissão de GEE de 0,136 tCO_2/MWh para o ano de 2014, como foi reportado pelo MCT (2015); (ii) Tributação imposta no Brasil para o ano de 2014. No Brasil os governos Federal, Estadual e Municipal cobram na conta de energia elétrica o Programa de Integração Social e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (PIS/COFINS) as alíquotas são de 1,65% (PIS) e 7,6% (COFINS) e o Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) com alíquota de 12% (ANEEL, 2011).

Dados reportados por Bertoncetto e colaboradores (2015), foram utilizados no presente estudo. A determinação de isenção de tributos, uma despesa mais de sessenta mil reais foi aplicada (corresponde a 26% do custo total do projeto), foi realizada mediante os valores ilustrados na Tabela 5, para o ano de 2014.

Tabela 5 – Síntese da isenção tributária proposto para o presente trabalho

Equipamento /Modelo	Custo Unidade (R\$)	Qtd.	Custos Total (R\$)	Parcela Tributos (%)	Despesas Tributos (R\$)
Placa solar / poly-Si - CS6P-240PX	1.248,00	100	124.800,00	27,65	34.507,20
Inversor SMA/ SB 2500-HF-30	3.284,40	10	32.284,00	81,93	26.909,09
Total	4.532,40	110	157.084,00	109,58	61.416,29

4. Resultados e Discussão

A avaliação detalhada da modelagem de um SFCR foi realizada mediante o uso do *software RETScreen*, aplicado a um prédio público. Os dados comuns aos 3 (três) cenários são apresentados na Tabela 6. Avaliando os três cenários, obteve-se redução em crédito de carbono relativo aos GEE tCO₂ equivalente a vida útil do projeto de 25 anos.

Considerou-se um reajuste anual de combustível de 5,0%, com taxa de desconto de 4,0% e 25% relativo a perdas do SFCR, para eletricidade exportada à rede de 29,81 MWh por ano. A configuração das placas utilizadas na simulação dos cenários, contribui com cerca de 30 MWh exportado para a rede anualmente. Os dados da eletricidade exportada para a rede mensalmente são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Eletricidade exportada mensalmente para a rede durante um ano

Mês	Radiação solar diária - horizontal kWh/m²/d	Radiação solar diária - inclinada kWh/m²/d	Preço eletricidade exportada BRL/MWh	Eletricidade exportada p/rede MWh
Janeiro	5,33	5,33	272,8	2,433
Fevereiro	5,14	5,14	214,7	2,126
Março	4,67	4,67	210,7	2,151
Abril	4,53	4,53	242,4	2,019
Mai	5,03	5,03	240,3	2,304
Junho	5,00	5,00	244,1	2,220
Julho	5,69	5,69	239,2	2,591
Agosto	6,19	6,19	244,0	2,800
Setembro	6,25	6,25	244,2	2,731
Outubro	6,47	6,47	241,6	2,914
Novembro	6,36	6,36	243,8	2,778
Dezembro	6,06	6,06	242,1	2,745
Anual	5,56	5,56	240,7	29,81

É de salientar que o preço da eletricidade exportada foi obtido com base nos meses de 2014, de acordo com a descrição do consumo de energia, fornecido pelo HEMOCE, com um valor médio de R\$ 0,245/kWh. Em todos os cenários propostos no estudo foi considerado ganhos com créditos de carbono. Tal configuração de placas ocasiona uma redução 100 tCO₂ em emissões de GEE, somente para o HEMOCE. Algumas equivalência determinadas no potencial de mitigação de emissões GEE em tCO₂ no projeto foram: 42.975 L de gasolina não consumidos; 232,5 barril de óleo bruto não consumido; 100 Pessoas reduzindo uso de energia em 20% .

Verificou-se que o projeto proposto para o **Cenário I**, conforme descrito na seção anteriormente (taxa de indexação de 10%/ano e tributações para os componentes do SFCR), apresentou-se inviável financeiramente, como pode ser verificado na Figura 4.

Considerando uma receita obtida anualmente com a configuração do SFCR modelado de R\$ 7.125,00/ano, inferior às despesas geradas anualmente para a manutenção do sistema,

reforça a conclusão de um cenário inviável financeiramente. Diversos trabalhos indicam uma ineficiência de projetos, quando não existem investimentos financeiros e diminuição de impostos sobre os produtos utilizados. *RETSscreen* permite que o investimento inicial a ser afetado por meios de um incentivo possa reduzir o alto custo inicial. Este mecanismo foi utilizado em outros casos (BUSTUS *et al.*, 2015; TARIGAN; KARTIKASARI, 2015).

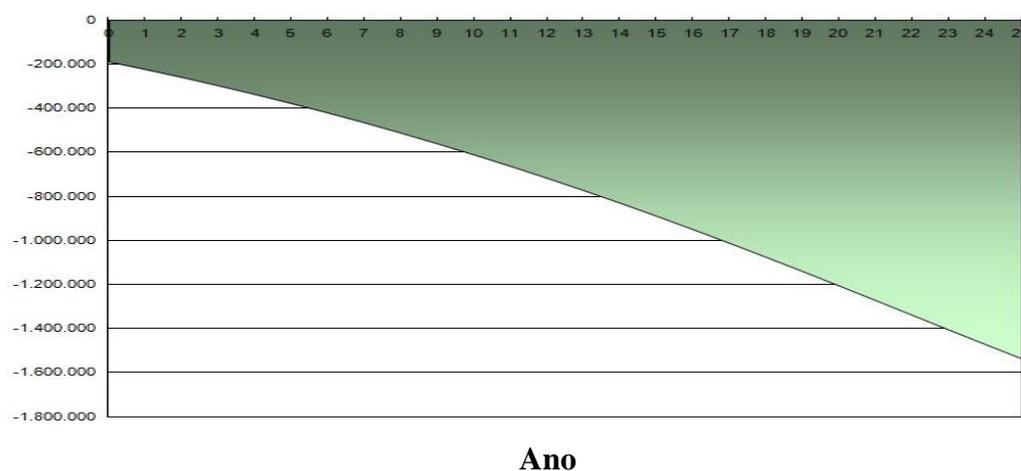


Figura 4 – Fluxo de caixa cumulativo para o Cenário I

Os **Cenários II** e **III** foram modelados considerando situações de permanência da estiagem para os próximos anos (MOLION, 2008) e aumento da geração de energia por termelétricas (ANEEL, 2015). Ou seja, o kWh térmico tem um preço mais elevado pelo fato das usinas termelétricas funcionarem com carvão e combustíveis fósseis (BURTRAW; KRUPNICK, 2012). Um estudo realizado pelo CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2015), estimar um total pluviométrico abaixo da faixa normal climatológica para o último trimestre de 2015. Essa combinação de fatores foi utilizada para estimar a taxa de indexação de 15%, o aumento anual da tarifa de energia ao longo da vida útil do projeto, conforme já mencionado.

Deste modo, o **Cenário II** obteve-se um *payback* de 23 anos, como observado na Figura 5. Neste cenário não foram considerados incentivos fiscais e isenção de impostos por parte do poder público. Lin e colaboradores (2014) destacam que o alto custo da energia fotovoltaica ainda é o principal obstáculo para o seu desenvolvimento em diversos países, contudo, com melhorias tecnológicas e políticas públicas que visem reduções de custos, esses sistemas podem se tornar viáveis.

No caso do **Cenário III**, o *payback* foi de 17 anos. Nesse cenário foi considerada uma isenção da carga tributária atualmente praticada no Brasil, com a isenção de IPI, PIS/PASEP, COFINS e imposto sobre produtos importados, que juntos correspondem a 26% do custo total (detalhado na seção anterior) do SFCR proposto pelo presente trabalho, conforme observado na Figura 6. Certamente que o projeto se mostra mais eficiente financeiramente no terceiro cenário, levando em consideração os incentivos fiscais.

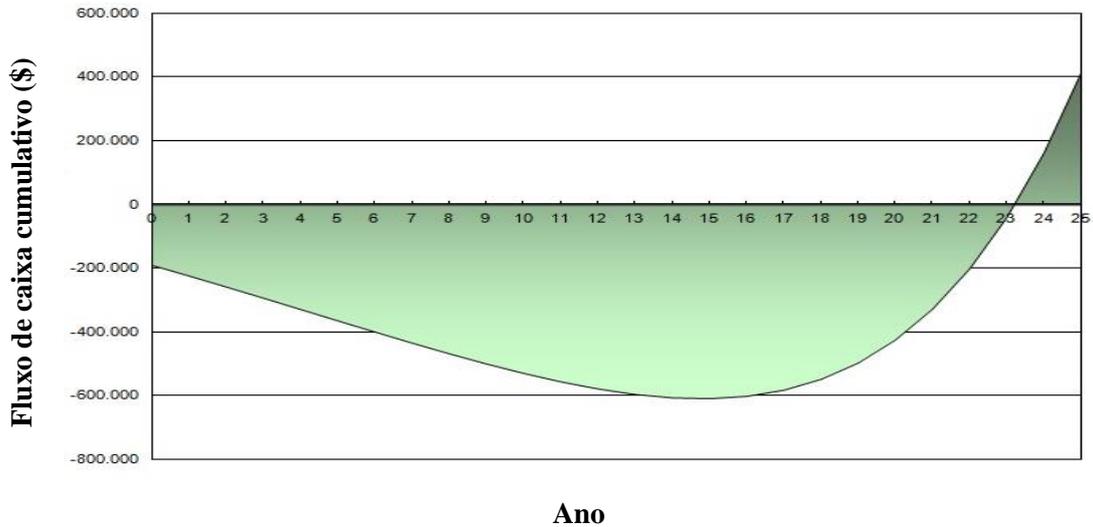


Figura 5 – Fluxo de caixa cumulativo para o Cenário II

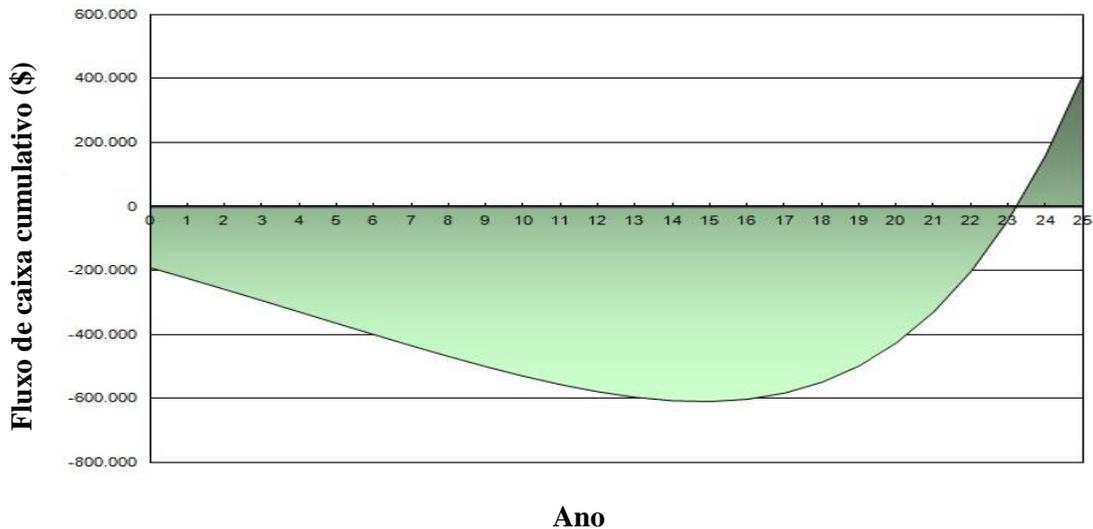


Figura 6 – Fluxo de caixa cumulativo para o Cenário III

Segundo Sahu (2015), países desenvolvidos regulamentam diversos incentivos para as energias fotovoltaicas, objetivando que esses sistemas se desenvolvam. Estudos evidenciam um maior crescimento do setor de energia fotovoltaica em países onde existe um sistema eficiente de compensação tarifária e um alto custo da eletricidade, em comparação com as taxas tributárias impostas (DUSONCHET; TELARETTI, 2015).

A fim de alcançar um impacto considerável de crescimento do setor de energia fotovoltaica no mundo, faz-se necessária à implantação generalizada de incentivos econômicos, aliados ao aumento dos preços de “compra” da energia solar, por parte dos governos (DINÇER, 2011). Esta avaliação corrobora com o estudo reportado por SUNDARAM e BABU (2015).

Deste modo, as simulações foram realizadas com placas solares planas de eixo fixo, o que em comparação com sistemas de eixo articulado pode possuir um déficit de 22,3% a 25% na geração de energia (GOMEZ; WANG; BARNETT, 2012).

O Cenário III torna possível prospectar a incorporação de SFCR em edificações públicas, sobretudo quando aquelas relacionadas com atividades interruptas (i.e. hospitais), com o propósito de edifícios autoeficientes e redução dos custos ao próprio erário público. (BALTER; GANEM; DISCOLI, 2016).

Os cenários avaliados no presente estudo, assim como as estimativas de subsídios também corroboram com os indicadores apresentados no estudo realizado por Bustos *et al.*, (2016), como no caso do Chile. Foram utilizados pelos autores dois incentivos diferentes sobre o investimento, nomeadamente, 20 % e 40 % em SFCR usando o *RETScreen*. Como aspecto positivo, esses projetos são raramente estáticos, ou seja, os indicadores financeiros podem reagir a mudanças durante o tempo de vida do projeto e, portanto, cenários mais otimistas podem ser convenientes.

5. Conclusão

As análises dos 3 (três) cenários do presente trabalho, mostraram-se semelhantes a outros estudos reportados na literatura (AL-SALAYMEH A *et al.*, 2010; RAZYKOV *et al.*, 2011; TARIGAN & KARTIKASARI, 2015; LIN *et al.*, 2014), *payback* de 17 anos para o mais otimista (cenário III), para o tipo e porte do projeto proposto na presente análise. O

RETScreen permite apresentar um panorama geral quanto aos investimentos iniciais de projetos de GD, apresentando cenários importantes quanto aos incentivos que possa a vir reduzir o alto custo inicial. Em suma, na análise dos três Cenários de incorporação de um SFCR em um prédio público, é possível verificar que a geração de energia fotovoltaica pode se tornar viável num cenário de agravamento da crise hídrica brasileira, entretanto, os seus indicadores econômicos podem não apresentar atratividade para o investidor, inicialmente, devido o alto investimento inicial e o prolongado tempo de retorno. Outrossim, a alta carga tributária brasileira contribui consideravelmente para diminuir a atratividade desse tipo de geração de energia no país atualmente. Ainda há necessidade de aumento de incentivos governamentais para que a GD (Fotovoltaica) seja genericamente implementada no País, sobretudo para a fim de beneficiar o próprio erário público. Estudos de viabilidade econômica utilizando parâmetros como tipo, características e número de painéis solares para cada região, são pertinentes. E por fim, a necessidade de se realizar estudos relacionados com edifícios autoeficientes e redução dos custos ao próprio erário público, como ampliação de Programas de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao HEMOCE (Hemocentro do Ceará) e a CAPES pelos dados fornecidos e suporte financeiro, respectivamente, assim como a *Natural Resources Canada*, ao apoio fornecido ao presente trabalho.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Expansão da oferta de energia elétrica. 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Por dentro da conta de energia. Brasília. 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, 17 DE ABRIL DE 2012.

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. *Banco de Informações de Geração*. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>
- AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS PÚBLICOS DELEGADOS DO ESTADO DO CEARÁ. *Relatório Anual 2013*. Fortaleza. Ceará. 2013.
- AGNOLUCCI, P. Renewable electricity policies in The Netherlands. *Renable Energy*. v. 32. p. 868-883. 2007.
- AL-SALAYMEH A, AL-HAMAMRE Z, SHARAF F, ABDELKADER MR. Technical economical assessment of the utilization of photovoltaic systems in residential buildings: the case of Jordan. *Energy Conversion and Management* 2010;51(8):1719–26.
- BALTER J., GANEM C., DISCOLI C., Edifícios en altura másicos y livianos en ciudades-oasis: evaluación térmica y energética de viviendas debajo y sobre la copa de los árboles en Mendoza, Argentina. *Ambient. constr.* vol.16 no.1 Porto Alegre Jan./Mar. 2016.
- BERTONCELLO G. A., SOUZA M. M., SILVA S. N.. Necessidade do fortalecimento de políticas públicas para implantação de energia renovável: estudo de caso fatec presidente prudente. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 03, n. 16, 2015, pp. 138-156.
- BOSTAN I, DULGHERU V, SOBOR I, BOSTAN V, SOCHIREAN A. Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. *Chisinau*: Ed. Tehnical-Info; 2007.
- BURTRAW, D.; KRUPNICK, A. The true cost of electric power. *Renewable Energy Policy Network for the 21st Century* .(REN21) (2012).
- BUSTOS F., TOLEDO A., CONTRERAS J., FUENTES A. Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile. *Energy Conversion and Management* 100 (2015) 429–439.
- BUSTUS, F.; TOLEDO, A.; CONTRERAS, J.; FUENTES, A. Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile. *Renewable Energy*. v. 87. p. 145-153. 2015.
- Canada–Canmet ENERGY, The RETScreen International Clean Energy Decision
- CETIN, M.; EGRICAN, N.; Employment impacts of solar energy in Turkey. *Energy Policy*. v.39. p. 7185-7190. 2011.
- CPTEC - CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Boletim Prognóstico Climático para Outubro, Novembro e Dezembro de 2015*. Disponível em: <http://infoclima1.cptec.inpe.br/index_prog.shtml>.

- DINÇER, F. The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 15. p. 713-720. 2011.
- DUSONCHET, L.; TELARETTI, E.; Comparative economic analysis of support policies for solar PV in the most representative EU countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 42. p.986-998. 2015.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. *Anuário Estatístico de Energia Elétrica: ano base 2014*. Rio de Janeiro. 2015a.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional: I Relatório Síntese. *Ministério de Minas e Energia*. 2015b.
- ESTEVES, N. B.; SIGAL, A.; LEIVA, E. P. M.; RODRIGUEZ, C. R.; CAVALCANTE, F. S. A.; LIMA, L.C. Wind and solar hydrogen for the potential production of ammonia in the state of Ceará-Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*. v. 40. p. 9917-9923. Julho. 2015.
- EVANS, A.; STREZOV, V.; EVANS, J, T. Assessment of sustainability indicators for renewable energy Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 13., p.1082-1088. 2009.
- GOMEZ, G. F, J.; WANG, X.; BARNETT, A. Energy production of photovoltaic, 2012.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. *Atração de Investimentos no Estado do Ceará; Relatório de Energia Solar*. Fortaleza. 2010.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Conselho Estadual de Desenvolvimento Econômico. LEI COMPLEMENTAR Nº 81, de 2 de setembro de 2009. *Institui o fundo de Incentivo a Energia Solar do Estado do Ceará*.
- <http://www.canadiansolar.com/solar-panels/standard.html>, acesso em Fevereiro de 2016.
- <http://www.retscreen.net/ang/centre.php> [accessed in 27.10.15].
- JÄGER-WALDAU A, EUR 24344 *PV Status Report 2010*; 3: 22, European Commission, DG Joint Research Centre, Institute for Energy, Renewable Energy Unit, <http://re.jrc.ec.europa.eu/refsys/> [accessed 11.06.11].
- LEE, K.; LEE, D.; BBAEK, N.; KWON, H.; LEE,C. Preliminary. determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen. *Energy*. v.47. p. 83-96. 2012.

- LIN, J.; WEN, P.; FENG, C.; LIN, S.; KO, F. Policy target, feed-in tariff, and technological progress of PV in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. V. 39. P.628-639. 2014.
- LIU, J. S.; KUAN, C.; CHA, S.; CHUANG, W.; GAU, G, J.; JENG, J. Photovoltaic technology development: A perspective from patente growth analysis. *Solar Energy Materials & Solar Cells*. v.95 . p.3130-3136. 2011.
- MARKVART T. *Solar electricity*. New York: John Wiley; 2002
- MCT - MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Fator Médio Mensal (tCO₂/MWh). Disponível em:< <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html>> (2015), acesso em janeiro de 2016.
- MENEZES NETO, O. L.; COSTA A. A.; RAMALHO F. P.; ESTIMATIVA DE RADIAÇÃO SOLAR VIA MODELAGEM ATMOSFÉRICA DE MESOESCALA APLICADA À REGIÃO NORDESTE DO BRASIL. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.24, n.3, 339-345, 2009.
- MINTS, P., How Grid Parity (Among Other Fallacies) Almost Killed The Solar Industry and why it will survive despite it..2012. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/10/how-grid-parity-among-ther-fallacies-almost-killed-the-solar-industry>>. acesso em janeiro de 2016.
- MIRZAHOSSEINI, A, H.; TAHERI, T. Environmental, technical and financial feasibility study of solar power plants by RETScreen, according to the targeting of energy subsidies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 16. p. 2806-2811. 2012.
- MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Energia no Mundo: Matrizes Energéticas e Matrizes Elétricas. Brasília, outubro de 2015. Acesso em Janeiro 2016 www.mme.gov.br.
- MOLION L. C. B., Perspectivas climáticas para os próximos 20 anos. *Revista Brasileira de Climatologia Instituto de Ciências Atmosféricas*, Universidade Federal de Alagoas. Agosto 2008
- NGS,www.newgenerationsolar.com.au/files/SB2000HF%20SB2500HF%20SB3000HF%20D atasheet.pdf, acesso em Janeiro de 2016.
- OLIVEIRA, C. P., S.O.BERNARDO e L.C.B. MOLION, 2005. Possível relação entre a Oscilação Decadal do Pacífico e a variabilidade climática no Brasil. *Departamento de Meteorologia*, UFAL (em fase de conclusão).

- RAZYKOV, T. M.; FERKIDES, C. S.; MOREL, D.; STEFANAKOS, E.; ULLAL, H, S.; UPADHYAYA, H. M. Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects. *Solar Energy*. v. 85. p. 1580-1608. 2011.
- RETScreen - Clean Energy Project Analysis Software 4.0, Natural Resources, acesso em Janeiro de 2016.
- Retscreen International, Renewable Energy Project Analysis Software, Textbook, 2010. <http://www.etscreen.net>. Acesso em janeiro de 2016.
- ROTHENBERG, C. E., NASCIMENTO, M. R., SALVADOR, M. R.. OpenFlow e redes definidas por software : um novo paradigma de controle e inovação em redes de pacotes. *Control*, 7:65–75. 2011.
- SACRAMENTO, E, M.; SALES, A, D.; LIMA, L, C.; VERIZOGLU, T, N. A solar-wind hydrogen energy system for the Ceará state – Brazil. *International Journal of Hydrogen Energy*. v.33. p. 5304-5311. 2008.
- SAHU, B, K.; A study on global solar PV energy developments and policies with special focus on the top ten solar PV power producing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 43. p. 621-634.
- SALY V., RUZINSKY M., BARATKA S.. Photovoltaics in Slovakia status and conditions for development within integrating Europe. *Renewable Energy* 2006; 31: 865 – 75.
- SANTOS, S. M.; SOUZA, M. P. Análise das contribuições potenciais da Avaliação Ambiental Estratégica ao Plano Energético Brasileiro. *Eng Sanit Ambient* | v.16 n.4 | out/dez 2011 | 369-378.
- SUÁREZ-DOMÍNGUEZ, FRANCISCO JOSÉ; PRENDES-GERO, MARÍA BELÉN; MARTÍN-RODRÍGUEZ, ÁNGEL; HIGUERA-GARRIDO, ALBERTO. IR thermography applies to the detection of solar panel. *Journal of Construction*. 14(3), 2015.
- SUNDARAM S., BABU J. S. C., Performance evaluation and validation of 5 MWp grid connected solar photovoltaic plant in South India. *Energy Conversion and Management* 100 (2015) 429–439.
- TARIGAN, E.; KARTIKASARI, D, F, D.; Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. *Conference and Exhibition Indonesia - New, Renewable Energy and Energy Conservation (The 3rd Indo-EBTKE ConEx 2014)*. v.65. p. 90-99. 2015.
-

VIANA, T. S.; RUTHER, R.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; Assessing the potential of concentrating solar photovoltaic generation in Brazil with satellite-derived direct normal irradiation. *Solar Energy*. v.85. p. 486-495. 2011.

VIEIRA M., S. A. O meio ambiente sustentável e a energia solar. *Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas*. Sergipe. v. 1, n. 15. pag. 131-139. Out. 2012.

WEISSER, D. A guide to life-cycle greenhouse gas (GHG) emissions from electric supply technologies. *Energy*, v. 32, p. 1543-1559, 2007.