



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

PAULO CÉSAR PINHEIRO RANGEL

**LEVANTAMENTO DA VIABILIDADE ECONÔMICA-TÉCNICA-AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM CANAIS DE INTEGRAÇÃO DO
CEARÁ**

FORTALEZA

2017

Paulo César Pinheiro Rangel

**LEVANTAMENTO DA VIABILIDADE ECONÔMICA-TÉCNICA-AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM CANAIS DE INTEGRAÇÃO DO
CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias Renováveis.

Orientador(a): Prof. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R155I Rangel, Paulo César Pinheiro.
Levantamento da viabilidade econômica-técnica-ambiental da geração de energia fotovoltaica em canais de integração do Ceará / Paulo César Pinheiro Rangel. – 2017.
77 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.

Orientação: Profa. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida.

1. Viabilidade. 2. Canais de Integração. 3. Geração Fotovoltaica. I. Título.

CDD 620.1

PAULO CÉSAR PINHEIRO RANGEL

**LEVANTAMENTO DA VIABILIDADE ECONÔMICA-TÉCNICA-AMBIENTAL DA
GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM CANAIS DE INTEGRAÇÃO DO
CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Energias Renováveis da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias Renováveis.

Aprovada em: 11/07/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Fabiola Leite Almeida (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Ms. Paulo Herbet França Maia Júnior
Faculdade Maurício de Nassau (Ser Educacional)

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Francisco Rangel e Sidênia
Rangel.

AGRADECIMENTOS

A Prof. Dra. Fabiola Almeida, pela excelente orientação.

Aos professores participantes da banca examinadora prof. Ms. Paulo Herbet e prof. Dr. Ronaldo Stefanutti pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos professores entrevistados, pelo tempo concedido nas entrevistas.

Aos meus amigos Ana Paula Silva, João Pedro Torres, Henrique Sousa e Pedro Paiva.

“O mundo espera algo mais que meias medidas”, Ban Ki-moon, secretário-geral das Nações Unidas (ONU).

RESUMO

Por se tratar de um estudo teórico, o levantamento da viabilidade econômica-técnica-ambiental da geração de energia fotovoltaica em canais de integração no Ceará, serão apresentados: detalhes sobre o panorama hídrico do estado do Ceará e os canais de integração; os aspectos gerais da geração fotovoltaica (FV) de energia e a situação atual no mundo, no Brasil e no Ceará; estudos de caso de unidades de geração FV em canais de integração no Brasil e no mundo; levantamento do potencial de mitigação e os benefícios à adaptação, com a apresentação de estudos sobre a evaporação de água em canais de integração do Ceará e a redução de emissões com a substituição de termelétricas por plantas fotovoltaicas..

Palavras-chave: Viabilidade. Canais de Integração. Geração Fotovoltaica.

ABSTRACT

As it is a theoretical study, the survey of the economic-technical-environmental viability of photovoltaic energy generation in non-Ceará integration channels, stage: details about the water scenario of the state of Ceará and the integration channels; (FV) of energy and a current situation in the world, in Brazil and in Ceará; Case studies of FV units in integration channels in Brazil and worldwide; Survey of mitigation potential and benefits to adaptation, with presentation of studies on water evaporation in integration channels of Ceará and reduction of emissions with a substitution of thermoelectric plants by photovoltaic plants.

Keywords: Viability. Channels. Photovoltaics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Infraestrutura Hídrica do Ceará.....	17
Figura 2: Eixão das Águas.	18
Figura 3: Eixão das Águas: extensão das obras.....	20
Figura 4: Canal do Trabalhador..	21
Figura 5: Extensão do Cinturão das Águas (CAC)..	23
Figura 6: Trecho 1 do Cinturão das Águas.	24
Figura 7: Mapa das obras do Projeto São Francisco..	25
Figura 8: Irradiação solar média anual ao redor do mundo.	31
Figura 9: Índices de Irradiação solar: no Brasil (à esquerda) e na Alemanha (à direita)..	35
Figura 10: Usina MPX Tauá.....	41
Figura 11: Parque Solar Santelisa Embalagens. Grupo Telles.....	41
Figura 12 : Sistema fotovoltaico em canal de integração na Índia.	42
Figura 13: Situação dos reservatórios do estado do Ceará	46
Figura 14: Sistema de compensação de energia.	61
Figura 15: Exemplo de divisão de créditos de energia.	63
Figura 16: Conexão da unidade FV com a rede elétrica.	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Declínio do custo de células fotovoltaicas.	27
Gráfico 2: Influencia da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V (para uma irradiância de 1000 W/m ²).....	30
Gráfico 3: Produção mundial de células fotovoltaicas.	31
Gráfico 4: Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas em 2012.	33
Gráfico 5: Nível dos reservatórios do Nordeste nos últimos 15 anos no mês de setembro.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Situação das bacias hidrográficas do estado do Ceará.	16
Tabela 2: Geração e potência instalada solar no mundo – 2015..	31
Tabela 3: Geração solar por país.	32
Tabela 4: Capacidade Instalada de Geração Elétrica por fonte. Fonte: Ministério de Minas e Energias.	39
Tabela 5: Dados dos Leilões de energia de reserva.	40
Tabela 6: Resumos dos Cálculos de Evaporação.	40
Tabela 7: Níveis de tensão de fornecimento.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica
ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABSLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ADECE - Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento
BIPV - Building Integrated Photovoltaics
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAC - Cinturão das Águas
CAMEX - Câmara de Comercio Exterior
CdTe - Telureto de Cádmio
CEA - Companhia Energética do Amapá
CEMAR - Companhia Energética do Maranhão
CEPEL - Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CGEE - Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
CIGS - Disseleneto de Cobre-Índio-Gálio
CO₂ - Dióxido de Carbono
COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONFAZ - Conselho Nacional de Política Fazendária
COP 21 - 21ª Conferência do Clima
CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
EBC - Empresa Brasil de Comunicação S/A
EEG - German Renewable Energy Sources Act
EPA - Environmental Protection Agency
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
FIES - Fundo de Incentivo à Energia Solar
FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos
FV - Fotovoltaica
GEE - Gases de Efeito Estufa
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS - Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IEA - Agencia Internacional de Energia
IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para a Agricultura
INMETRO - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IREDA - Indian Renewable Energy Development Agency
MIGDIs - Microsistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica
MIN- Ministério da Integração Nacional
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PB - Paraíba
PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia
PE - Pernambuco
PIRSF - Projeto de Integração do Rio São Francisco
PIS - Programa de Integração Social
PNE - Plano Nacional de Energia
PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
ProGD - Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída da Energia Elétrica
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PUC-RS - Pontifícia Universidade do Rio Grande do Sul
RMF - Região Metropolitana de Fortaleza
SELIC - Sistema Especial de Liquidação e de Custódia
SIGFIs - Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica por Fontes Intermitentes
SIN - Sistema Elétrico Interligado Nacional
SRECs - Certificados de Energia Solar Renovável
SRH - Secretaria de Recursos Hídricos
SWERA - Solar and Wind Energy Resource Assessment
TIR - Taxa Interna de Retorno
TUSD - Tarifa do Uso dos Sistemas Elétricos de Distribuição
TUST - Tarifa de Uso dos Sistemas Elétricos de Transmissão
UFES - Universidade federal do Espírito Santo

SUMÁRIO

1. Introdução	14
2. Objetivo Geral e Objetivo Específico.....	15
3. Panorama Hídrico do Ceará.....	16
3.1.1 Canais de integração do Ceará.....	17
3.1.2. Eixão das águas	19
3.1.3. Canal do trabalhador	20
3.1.4 Cinturão das águas	23
3.1.5 Transposição do rio São Francisco.....	25
3.2 Geração fotovoltaica de energia	27
3.2.1 Aspectos gerais.....	29
3.2.2 Panorama mundial	30
3.2.3 Cenário brasileiro	34
3.2.4 Situação atual no Ceará	38
3.3 Geração fotovoltaica em canais de integração.....	41
3.3.1. Estudo de casos no Brasil e no mundo.....	41
3.4. Levantamento do potencial de mitigação e de benefícios à adaptação.....	42
3.4.1. Evaporação de água em canais de integração no Ceará.....	43
3.4.2. Conceito de Evaporação em Recursos Hídricos.....	43
3.4.3. Importância da Avaliação das Perdas por Evaporação no Ceará	44
4. Metodologia	46
4.1. Metodologia adotada para Estimativa das Perdas por Evaporação.....	47
4.2. Estimativa das perdas em canais no Ceará.....	49
5. Resultados e Discussões.....	51
5.1 Aspectos Ambientais	52
5.1.1. Resoluções.....	52

5.1.2. Análises da redução de emissões pela substituição de termoelétricas por plantas fotovoltaicas.....	55
5.2. Estudo de alternativas para projeto de uma unidade de geração fotovoltaica em canais de integração no Ceará	56
5.2.1. Definições Iniciais	57
5.2.1.1. Destino da energia elétrica gerada.....	57
5.2.1.1.1 Resolução normativa 482/2012 da ANEEL.....	58
5.2.1.1.2. Consumidor da energia gerada	53
5.2.1.2 Conexão com a rede elétrica	53
5.2.2 Análise de locais para instalação da unidade geradora	64
5.2.2.1 Aspectos Analisados.....	65
5.2.2.1.1. Demanda de energia elétrica.....	65
5.2.2.1.2 Tensão de Fornecimento.....	67
5.2.2.1.3 Modalidade Tarifária.....	68
6. Conclusão.....	69
7. Referências bibliográficas.....	71
8. Sugestões para Trabalhos Futuros.....	74

1. INTRODUÇÃO

A tendência mundial é a busca por novas fontes de energia que possam atender ao acelerado crescimento da demanda de forma não poluente e sustentável. Embora abundante na Terra, a energia solar para produção de energia elétrica ainda é pouco utilizada. Porém, o mercado de energia solar fotovoltaica teve um grande crescimento nos últimos anos em diversos países, impulsionado pela criação de programas governamentais de incentivos fiscais. Tais incentivos obrigam a compra de energia elétrica por parte das concessionárias, atraindo investidores que fomentam a melhoria da eficiência dos equipamentos e a redução dos custos dos componentes, aumentando a participação dos sistemas fotovoltaicos na geração de energia elétrica por meio de subsídios e incentivos à indústria de equipamentos fotovoltaicos para barateamento da tecnologia. As principais motivações de tais programas são a necessidade de se adotar um modelo energético sustentável e ambientalmente correto, mas, apesar de motivados por questões comuns, cada país adotou sua própria linha de incentivo. (Ministério do Meio-Ambiente)

O fenômeno da evaporação no semiárido tem papel fundamental no dimensionamento e manejo de obras hídricas, que deve ser minuciosamente investigado para subsidiar ações de planejamento e gerenciamento na busca de um melhor aproveitamento das águas. (SILVA 2010)

A geração FV de energia em canais de integração ainda não foi difundida no Brasil e ao redor do mundo, apesar dos benefícios à sua adaptação. Entre esses benefícios, pode-se citar a redução da evaporação de água, com a montagem de módulos FV sobre os canais de integração, evitando a incidência direta dos raios solares sobre a água nos canais. Além deste benefício, tem-se a vantagem de evitar o uso de solos com potencial agrícola para a montagem dos módulos FV.

2. OBJETIVOS GERAIS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Esse projeto busca reduzir a evaporação da água que escoar pelos canais de integração utilizando uma cobertura de painéis solares. Dessa forma haveria uma economia de água e geração de energia sustentável.

Esse trabalho busca fazer um levantamento técnico-econômico-ambiental do tema, buscando soluções tecnológicas para os problemas levantados. O projeto busca uma ferramenta de avaliação técnica-econômica-ambiental para uma parceria Público-Privada com objetivo de mitigar e adaptar às mudanças climáticas. O projeto busca ainda fazer uma estimativa quantitativa teórica dos benefícios à adaptação de usinas de Geração FV em canais de integração.

O trabalho busca descrever as formas de parcerias Público-Privadas para esse tipo de empreendimento com a nova legislação de geração distribuída, a Resolução Normativa nº 482/2012 e o menor custo global. Além disso, o trabalho busca mostrar alternativas para avaliar o empreendimento tomando como base exemplos parecidos em outros países, analisando a legislação e os incentivos.

3. PANORÂMICA HÍDRICO DO CEARÁ

A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) - sociedade de economia mista (parceria público-privada), vinculada à Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH) - é responsável pelo gerenciamento e disciplinamento de mais de 90% das águas acumuladas no Estado, de forma descentralizada, integrada e participativa. Estão sob a administração da Companhia os mais importantes açudes públicos estaduais e federais, além de reservatórios, canais e adutoras das 12 bacias hidrográficas do Ceará, grande parte das informações dos canais de integração foram obtidas através desta Companhia. (COGERH)

A média de chuva no estado para os meses de fevereiro, março, abril e maio, medidas entre os anos de 1981 e 2010, é de 600,7 mm. Em 2016, a média de chuva ficou em 329,3mm, caracterizando a oitava pior quadra chuvosa registrada no Ceará, desde 1983, onde registrou 307,9 mm. Em 2016 o estado apresentou um quadro de chuvas pior que em 2015, quando teve desvio de -30,3%. (Diário do Nordeste)

O Governo Estadual, sensibilizado pela gravidade do panorama da seca no Ceará, que chega em 2016 ao quinto ano consecutivo, enxerga a importância do prognóstico e trata a questão dos recursos hídricos como prioridade. A Tabela 1 mostra a situação das bacias hidrográficas do Ceará no ano de 2016. (Portal Hidrológico do Ceará)

Tabela 1: Situação das bacias hidrográficas do estado do Ceará.

	Capac. (hm ³)	Vol. atual (hm ³)	Vol. perc. (%)
▶ Acaraú	1.721,82 hm ³	155,81 hm ³	9,05 %
▶ Alto Jaguaribe	2.778,52 hm ³	557,15 hm ³	20,05 %
▶ Baixo Jaguaribe	24,00 hm ³	0,06 hm ³	0,25 %
▶ Banabuiú	2.767,49 hm ³	68,71 hm ³	2,48 %
▶ Coreaú	308,66 hm ³	111,39 hm ³	36,09 %
▶ Curu	1.028,21 hm ³	23,25 hm ³	2,26 %
▶ Litoral	214,92 hm ³	79,36 hm ³	36,93 %
▶ Médio Jaguaribe	7.386,69 hm ³	465,18 hm ³	6,30 %
▶ Metropolitana	1.371,41 hm ³	211,79 hm ³	15,44 %
▶ Salgado	488,01 hm ³	57,63 hm ³	11,81 %
▶ Serra da Ibiapaba	141,00 hm ³	25,84 hm ³	18,33 %
▶ Sertões de Crateús	448,04 hm ³	12,27 hm ³	2,74 %

Estado	*Qnt	Capac. (hm ³)	Vol. atual (hm ³)	Vol. perc. (%)
Ceará	153	18.674,0	1.763,0	9,4

Reservatórios em Alertas

0 Açudes Sangrando

0 Açudes com Volumes acima de 90%

128 Açudes com Volumes inferior a 30%

Dados extraídos às 20:30:06 06/09/2016

Informações atualizadas automaticamente a cada 7 minutos

Monitoramento dos açudes federais é realizado com apoio do DNOCS.

3.1. Canais de Integração do Ceará

Compreendem os canais de integração do Ceará (Figura 1): Eixão das águas; Canal do Trabalhador; Cinturão das Águas; e o trecho em andamento correspondente à transposição do Rio São Francisco.

Figura 1: Infraestrutura Hídrica do Ceará.



Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos.

3.1.1 Eixão das Águas

O Eixão das águas é um conjunto de obras composto por uma estação de bombeamento, canais, adutoras, sifões, e túnel que possibilita a transposição das águas do Açude Castanhão até a região metropolitana de Fortaleza e o Complexo Portuário e Industrial do Pecém. Com 255 km e investimento total de R\$ 1,47 bilhão, o Eixão das Águas é a maior obra de infraestrutura hídrica do Ceará. Todos os trechos da obra já se encontram concluídos, beneficiando 4,2 milhões de habitantes e garantindo o abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza pelos próximos 30 anos (ADECE).

O Eixão possibilita o surgimento de pólos de desenvolvimento hidroagrícola nas áreas irrigáveis a partir do Vale do Jaguaribe, beneficiando milhares de hectares e terras férteis, além de garantir o abastecimento humano não só da Região Metropolitana de Fortaleza, mas também de todas as comunidades dos municípios de Alto Santo, Jaguaribara, Morada Nova, Ibicuitinga, Russas, Ocara, Cascavel, Pacajus, Horizonte, Itaitinga, Pacatuba, Maranguape, Maracanaú, Caucaia e São Gonçalo do Amarante.

A vazão máxima de dimensionamento é de 22 m³, dos quais 19 m³ destinam-se ao abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza, incluindo-se o Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Os 255 km de extensão são divididos em cinco trechos, como mostrado na Figura 2, dos quais:

- Trecho 1 – do açude Castanhão ao açude Curral Velho;
- Trecho 2 – do açude Curral Velho à Serra do Félix;
- Trecho 3 – da Serra do Félix ao açude Pacajus;
- Trecho 4 – do açude Pacajus ao açude Gavião;
- Trecho 5 – do açude Gavião ao Porto do Pecém.

Figura 2: Eixão das Águas.



Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos

Os Comitês aprovaram os seguintes critérios para operação 2016.2 da vazão média de 5,5 m³/s a ser liberado pela válvula do açude Castanhão para o rio Jaguaribe:

1. A vazão deverá assegurar a perenização, no mínimo, até o município de Jaguaruana;
2. Ações de garantia do abastecimento humano das sedes municipais e comunidades rurais;
3. Pequenos irrigantes não passarão por redução de oferta de água se tiver áreas de até 5 há para culturas permanentes e até 3 ha para culturas temporárias;
4. Suspensão no vale perenizado de irrigações com métodos de irrigação de baixa eficiência (superficiais, como inundações, sulcos);
5. Não será permitido, com água de perenização do Rio Jaguaribe: Novos usuários (empreendimentos instalados após alocação de 2015) e carcinicultura;
6. Intensificação da fiscalização por parte da Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (SRH) /COGERH para coibir usos irregulares;
7. Suspensão da irrigação de culturas temporárias de áreas acima de 3 ha;
8. Redução em 50% na oferta da vazão das culturas perenes acima de 5 ha e perímetros públicos, tendo como vazão de referência a operação do segundo semestre de 2014.(COGERH)

O trecho I, que vai do Açude Castanhão ao Açude Curral Velho, tem 54,7 km e está em funcionamento desde 2005. O trecho II, do Açude Curral Velho à Serra do Félix, está em funcionamento desde 2009 e tem extensão de 45,9 km. O trecho III, com 66,3 km, da Serra do Félix ao Açude Pacajus, entrou em funcionamento também em 2009. Os investimentos nos três primeiros trechos somam cerca de R\$ 1 bilhão, com financiamentos do Banco Mundial, do Bando Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e contrapartida do governo do Estado (Ceará News).

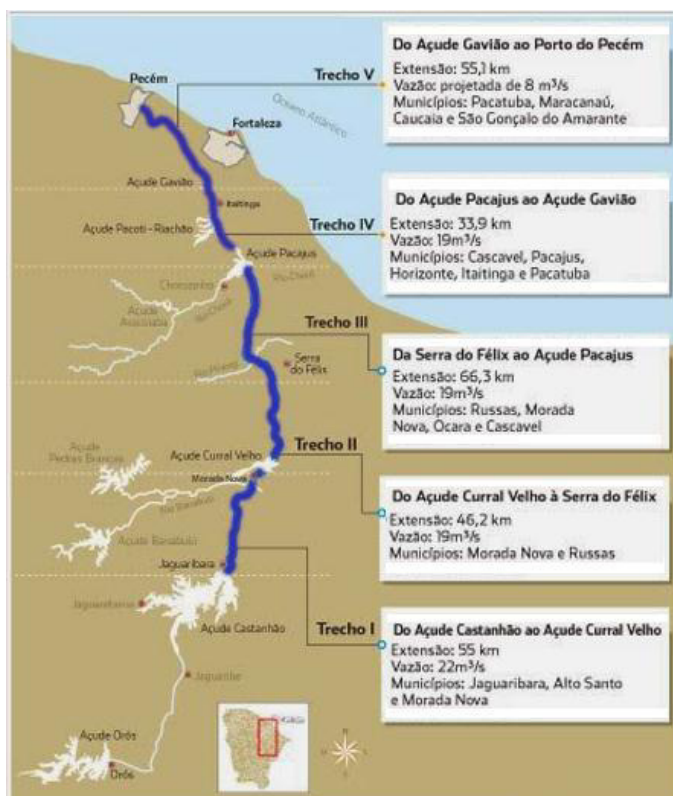
O trecho IV, inaugurado em 2012, vai do Açude Pacajus ao Açude Gavião. É composto por cerca de 33,9 km de canais abertos, 2,9 km sifões, 1.075 m de túneis e um aqueduto de 110 m que passa sobre o Canal do Trabalhador. Foram investidos no trecho IV cerca de R\$ 195 milhões, onde o Governo Federal participa - através do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) - com cerca de R\$ 148 milhões, e R\$ 47 milhões pelo Governo do Estado, na forma de contrapartida (Governo do Estado).

Em março de 2014 foi inaugurado o quinto e último trecho - que recebeu investimento de R\$ 314,97 milhões, sendo R\$ 261,52 milhões do Orçamento Geral da União e R\$ 53,45 milhões do Governo do Ceará – fechando a obra do Eixão das águas. O trecho V é um sistema

adutor com 57,6 km, que liga o Açude Gavião à região metropolitana de Fortaleza e ao Complexo Industrial e Portuário de Pecém, abrangendo os municípios de Pacatuba, Maranguape, Caucaia e São Gonçalo do Amarante (Governo do Estado).

A Figura 3 mostra a extensão das obras para o Eixão das Águas. O Estado já está sendo atendido pelos Trechos IV e V do Eixão das Águas, beneficiando 4,2 milhões de habitantes (Governo do Estado do Ceará).

Figura 3: Eixão das Águas: extensão das obras.



Fonte: SRH.

3.1.2 Canal do Trabalhador

O Canal do Trabalhador representado na figura 4 tem extensão de 102,5 km (95 km em canal aberto) e opera desde 1993. O canal capta águas do rio Jaguaribe proveniente do Açude Castanhão, despejando-as no Açude Pacajus, garantindo o abastecimento de comunidades no seu entorno, manutenção de lagoas, irrigação de áreas marginais bem como reforça o abastecimento de água da RMF. As águas são transportadas para o Açude Pacoti/Riachão, via o Canal do Ererê, e em seguida para o Açude Gavião, via o Canal Riachão-Gavião. O Canal do Trabalhador atravessa os municípios de Itaiçaba, Palhano, Cascavel e Pacajus com uma capacidade de transporte máxima de vazão

de 6 m³/s (COGERH).

Figura 4: Canal do Trabalhador.



Fonte: COGERH.

A construção do referido Canal coincidiu com a Criação da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) do Estado do Ceará. Foi construído com a nobre missão de abastecimento populacional de toda a Região Metropolitana de Fortaleza. No entanto, com a entrega dos trechos 2 e 3 do Canal da Integração, ele passará a atender prioritariamente as populações dos diversos distritos, algumas sedes municipais e assentamentos de trabalhadores rurais, bem como para possibilitar o incremento da agricultura familiar e das áreas irrigadas.

A obra teve um custo de US\$ 48 milhões e empregou 2800 pessoas diretamente e 10 mil pessoas indiretamente. Utilizando 450 equipamentos de terraplanagem, movimentou-se 17.940.000 m³ de terra. O canal é basicamente construído por blocos de seção trapezoidal 5 m x 12 m x 3,5 m (Canal do Trabalhador, Um Marco para o nordeste do Brasil).

Existem ao longo do Canal do Trabalhador, no trecho entre as cidades de Itaiçaba e Aracati, no Vale do Jaguaribe, dezenas de sifões que retiram água do canal e seguem para algumas comunidades e fazendas. Por serem ligações artesanais, aparentemente parecem clandestinas. Porém, a COGERH afirmou que a prática é regulamentada e fiscalizada pelo órgão.

O Canal do Trabalhador vem se tornando um instrumento que possibilita um ganho social extraordinário ao longo dos seus 102 km. O canal que antes levava certeza de abastecimento a Região Metropolitana de Fortaleza, agora leva o resgate da dignidade humana às populações difusas, aos distritos municipais e até de suas sedes.

Atualmente, é responsável pelo atendimento de aproximadamente 27.000 pessoas, mas que no segundo semestre desse ano esse número pode chegar a quase 40.000 pessoas, quando o Canal é responsável pelo aporte hídrico de mais de 11 lagoas (COGERH).

Ainda este ano o Canal do Trabalhador irá atender as sedes dos municípios de Aracati e Fortim, com uma população total estimada em quase 85 mil habitantes. Este canal já atende a sede do município de Palhano e é o grande suporte para os carros-pipas que abastecem comunidades mais distantes nas épocas de seca.

As águas do Canal ainda levam desenvolvimento econômico, a exemplo da expansão da área irrigada ao longo do citado canal. Hoje já são irrigados mais de 1.400 ha, sendo 950 ha pertencentes ao empreendimento privado. As principais culturas irrigadas são: caju anão precoce, acerola, melão, abacaxi e coco (COGERH).

A partir de fevereiro de 2016, a COGERH reduziu ainda mais a oferta de água para as atividades da agricultura irrigada no Baixo Jaguaribe. Assim, a pouca água liberada beneficiará apenas o trecho entre a barragem do Castanhão e a cidade de Limoeiro do Norte. Daí em diante, o baixo volume de água será consumido, no meio do caminho, pela infiltração e pela evaporação. Isto quer dizer que de Limoeiro até Itaiçaba, onde está a barragem de captação do Canal do Trabalhador, não haverá água. E quer dizer ainda que, por falta dessa água, será paralisada a operação do Canal do Trabalhador, que até agora vinha transportando 5 m³/s para o sistema de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (Diário do Nordeste).

3.1.3 Cinturão das Águas

O projeto do Cinturão das Águas do Ceará (CAC) prevê a construção de 1,3 mil quilômetros de canais com a localização evidenciada na Figura 5, sifões e túneis que levarão água para 12 bacias hidrográficas do Ceará.

Figura 5: Extensão do Cinturão das Águas (CAC).



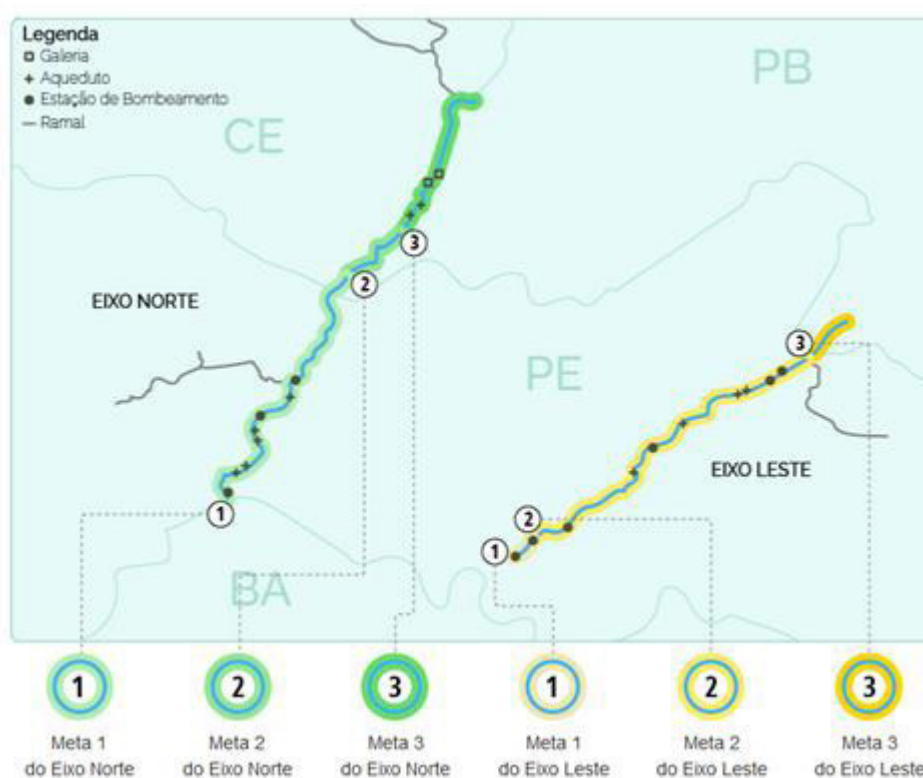
Fonte: COGERH.

Atualmente, apenas o trecho 1 foi concluído (Figura 6). O equipamento vai beneficiar mais de um milhão de pessoas na Região do Cariri, atendendo diretamente às cidades de Jati, Brejo Santo, Porteiras, Abaiara, Missão Velha, Barbalha, Crato, Nova Olinda, Milagres, Farias Brito, Lavras da Mangabeira, Iguatu, Icó, Orós, Mauriti, Aurora, Cariús e Quixelô. Nesse trecho, a tomada d'água para o CAC ocorre na barragem Jati, que fica a 484 m de altitude, onde haverá a captação das vazões transpostas pelo Projeto PIRSF. Esse trecho tem extensão total de 145,3 km, terminando na travessia do rio Cariús, através de sistema gravitacional com vazão máxima de 30 m³/s. (COGERH).

entregue no ano passado. (MIN).

O início do caminho das águas é o São Francisco. Com cerca de 2,8 mil km de extensão, o rio passa por cinco estados: Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe e Alagoas. Do “Velho Chico” até as primeiras estações de bombeamento, a água será transportada por gravidade. De acordo com o governo, serão retirados 26,4 m³/s (26,4 mil litros) do rio em períodos de seca e 127 m³/s (127 mil litros) com rio cheio. Na Figura 7 são apresentados mais detalhes sobre cada ponto do projeto. (MIN).

Figura 7: Mapa das obras do Projeto São Francisco.



Fonte: COGERH.

Vale ressaltar que mesmo que as obras de transposição estejam prontas, a água só chegará às torneiras das pessoas beneficiadas após obras de sistemas de abastecimento serem feitas para tratar a água dos reservatórios e fazer com que ela chegue às cidades. (MIN).

Do Rio São Francisco até a casa dos moradores da região, a água passa por um longo caminho. Abaixo as etapas do percurso:

- 1 – A água sai do rio e desce por gravidade até uma estação de bombeamento.
- 2 – Na estação, ela é elevada e volta aos canais. Lá continua a descer por gravidade.

3 – Para descer sempre no mesmo ritmo, a água passa por aquedutos e túneis subterrâneos.

4 – No meio do caminho, saídas de água vão abastecer diretamente 390 comunidades vizinhas à obra.

5 – A água que continua pelos canais vai para reservatórios. Em alguns casos, será usada também para gerar energia elétrica.

6 – Dos reservatórios, a água deve chegar até as cidades por meio de planos de saneamento básico. Depois de todo esse processo, enfim, chega às torneiras das casas e à agricultura (Empresa Brasil de Comunicação S/A – EBC).

As obras de transposição das águas do Rio São Francisco na Paraíba estão 85% concluídas, segundo o Ministério da Integração Nacional. Para o estado, estão sendo construídos dois trechos com acesso pelas cidades de Monte Horebe, no Sertão, e Monteiro, no Cariri paraibano. Já o trecho do Ceará conta com 73,7% de execução, localizado nos municípios cearenses de Penaforte, Brejo Santo, Jati e Mauriti, nas metas do eixo Norte, 2N e 3N.

A obra é considerada uma das maiores do mundo e tem um investimento de R\$ 8 bilhões, tendo estimativa de ser concluída entre o final deste ano e o início de 2017, segundo o ministro interino da integração nacional, Carlos Vieira.

3.2. A Energia Solar Fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico é um conjunto de dispositivos e equipamentos responsáveis por fazer a conversão da energia incidente do Sol em energia elétrica pronta para uso. Os componentes de um sistema fotovoltaico podem variar dependendo da aplicação e das características das cargas a serem alimentadas. Os principais componentes para sistemas FV conectados à rede elétrica são: arranjo fotovoltaico – módulo ou conjunto de módulos que geram energia elétrica em corrente contínua - e inversores (EPE 2012).

Os inversores são responsáveis por:

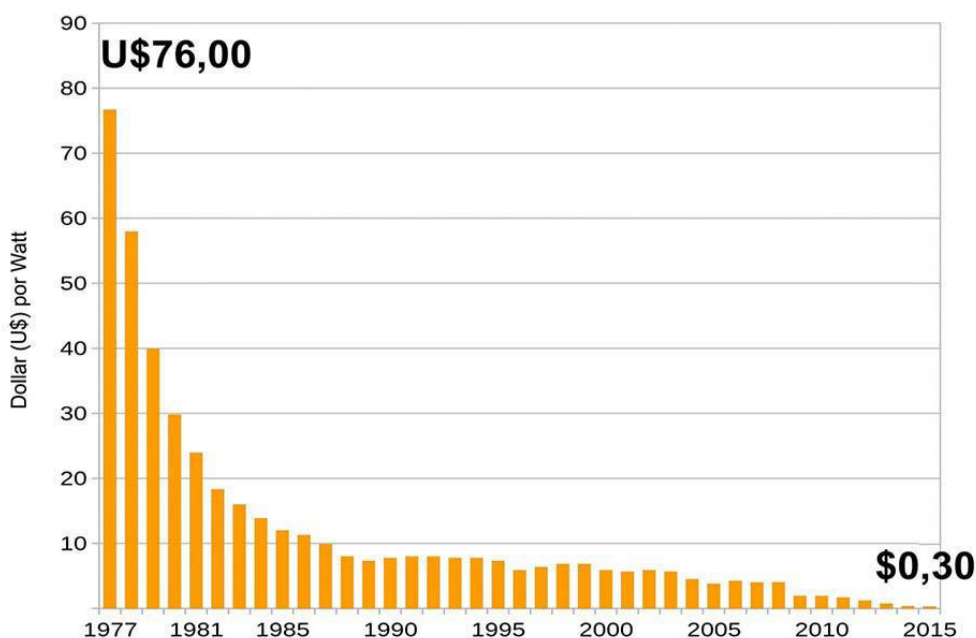
- realizar conversão da corrente contínua fornecida pelo arranjo fotovoltaico em corrente alternada, quando demandado pela carga;
- manter a sincronia com a rede elétrica em um sistema conectado à rede;

- fazer o reconhecimento de defeitos internos à instalação;
- proteger o sistema de sobretensão e sobrecorrente;
- realizar o ajuste contínuo do ponto de máxima potência em função da temperatura e irradiação;
- fazer a adequação do comportamento dinâmico da geração em resposta às necessidades específicas da rede elétrica ou da carga.

Nos sistemas conectados à rede, o arranjo fotovoltaico é ligado diretamente à rede elétrica, sem unidade de armazenamento, por meio de inversores, que devem atender requisitos de qualidade e segurança de modo a não degradar a qualidade do sistema elétrico conectado. A regulação não permite a operação ilhada desses sistemas, ou seja, em caso de falta de energia na rede, o sistema fotovoltaico deixa de funcionar (CEPEL-CRESESB, 2014).

A utilização da geração fotovoltaica tem crescido em todo o mundo, movida pelas metas de desenvolvimento sustentável e pela diminuição dos custos dos equipamentos envolvidos neste tipo de geração, apresentando um balanço positivo entre as vantagens e as desvantagens da sua utilização. O gráfico 1 apresenta a redução de custo da tecnologia de fabricação da célula fotovoltaica unitária.

Gráfico 1: Declínio do custo de células fotovoltaicas.



Fonte: CRECESB.

Como vantagens da tecnologia FV, pode-se citar:

a) é fonte de energia limpa, renovável e inesgotável, com impactos ambientais reduzidos, não

havendo emissão de poluentes;

b) os módulos fotovoltaicos são de fácil instalação e se adequam a locais de difícil acesso, pois a sua instalação em pequena escala não obriga a um enorme investimento em linhas de transmissão;

c) modularidade, podendo ser utilizada em aplicações tanto de baixa como de alta potência;

d) os módulos e os demais equipamentos envolvidos possuem baixa necessidade de manutenção;

e) a vida útil dos módulos geralmente é de 25 anos, podendo superar os 30 anos (SolarThermic, 2016);

f) a variabilidade intra-anual, em relação à média de longo prazo, da fonte de energia é menor do que a observada em outras formas de geração, como a hidroelétrica e a eólica, reduzindo as incertezas quanto à disponibilidade energética da fonte (EPE, 2012).

Entre as desvantagens desse tipo de geração, tem-se que:

a) a captação da energia incidente depende de fatores como tempo, clima e orientação do módulo em relação ao Sol, com redução da geração em dias chuvosos e nublados e não aproveitamento da fonte de energia no período noturno;

b) o custo de compra e instalação dos equipamentos envolvidos ainda é elevado, pois necessita de tecnologia bastante específica para fabricação, apesar da tecnologia ter evoluído nos últimos anos;

c) a eficiência das células fotovoltaicas é baixa, atualmente atingindo valores máximos de 16,5% a nível industrial (CRESESB, 2014).

d) sistemas isolados (*off-grid*) requerem dispositivos para armazenamento, o que eleva os custos do sistema.

e) a obtenção do silício grau solar, utilizado nas células fotovoltaicas, requer acentuado gasto de energia. As principais rotas de produção são: Processo Siemens; Union Carbide; Processo Ethyl; Rota Elkem, sendo a última com menor gasto energético.

Os impactos ambientais para a produção das células fotovoltaicas estão relacionados aos meios físico e biótico. Durante a extração do silício, o impacto sobre o meio biótico se dá com a degradação visual da paisagem. Já sobre o meio físico, são apontados: poluição da água pela mineração, desmonte de maciços rochosos e terrosos compactados e emissão de poeiras e gases devido a perfuração de rochas. Sobre o meio socioeconômico também há impactos, como os ruídos e vibrações devido ao desmonte de material consolidado. (IETEC)

Na metalurgia do silício, o impacto sobre o meio físico é o alto consumo energético para a produção e a emissão de pó sílica formado como um subproduto do processo de

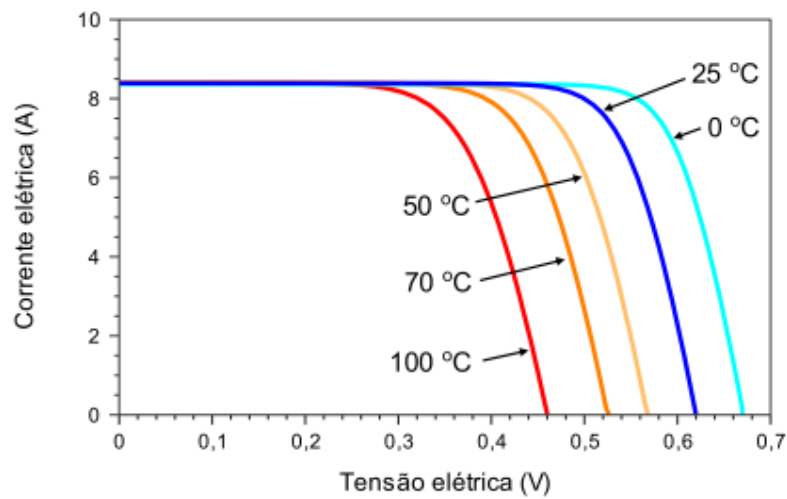
fundição. No processo de purificação do silício, o impacto sobre o meio físico está ligado à emissão de hexafluoreto de enxofre, usado para limpar reatores, que é um potente gás de efeito estufa, além de chuva ácida. O tetracloreto de silício, uma substância extremamente tóxica que reage violentamente com a água, podendo causar queimaduras na pele, problemas no sistema respiratório e irritação dos olhos, causando impactos socioeconômicos. Além destes, outros impactos relacionados ao uso de outros produtos químicos corrosivos (ácido clorídrico, sulfúrico, nítrico e fluorídrico) utilizados para remover as impurezas e materiais de limpeza de semicondutores. Na montagem de placas, há impactos sobre o meio físico, devido ao uso de materiais como o chumbo usado para fiação e algumas pastas de impressão, e também o uso de prata e o alumínio para fazer os contatos elétricos da célula. (IETEC)

Cerca de 90% das células solares disponíveis no mercado atualmente são à base de silício, dos tipos mono e policristalino. Apresentam eficiências máximas entre 16,5% e 21%, para as células de silício policristalino e monocristalino, respectivamente. Os fabricantes garantem que os painéis operem com eficiências de até 80% em 25 anos. Porém, costumam operar por cerca de 30 anos com eficiências aceitáveis. (Solar Volt)

Em muitos parques em funcionamento, no Brasil e em outros países, após o fim da vida útil dos equipamentos a empresa que administra o parque é responsável pelo desmonte e reflorestamento da área desmatada. Essa determinação é preestabelecida em contratos de acordo com a legislação ambiental de cada país. Os equipamentos fotovoltaicos, após sua vida útil, são de responsabilidade do fabricante, sendo função da administração do parque o envio dos equipamentos e obrigação do fabricante de receber tais equipamentos. Uma vez recebido os fabricantes devem reciclar algumas peças e destinar os resíduos em locais apropriados segundo a legislação do país. (Solar Volt).

As variações de irradiância solar incidente e da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos. O aumento da irradiância e/ou da temperatura ambiente produz um aumento da temperatura da célula e, conseqüentemente, tende a reduzir a sua eficiência. Isso se deve ao fato de que a tensão da célula diminui significativamente com o aumento de temperatura, enquanto que sua corrente sofre uma elevação muito pequena, quase desprezível, como mostra a figura abaixo (CEPEL-CRESESB 2014).

Gráfico 2: Influência da temperatura da célula fotovoltaica na curva I-V (para uma irradiância de 1000 W/m^2).



Fonte: CRESESB, 2014.

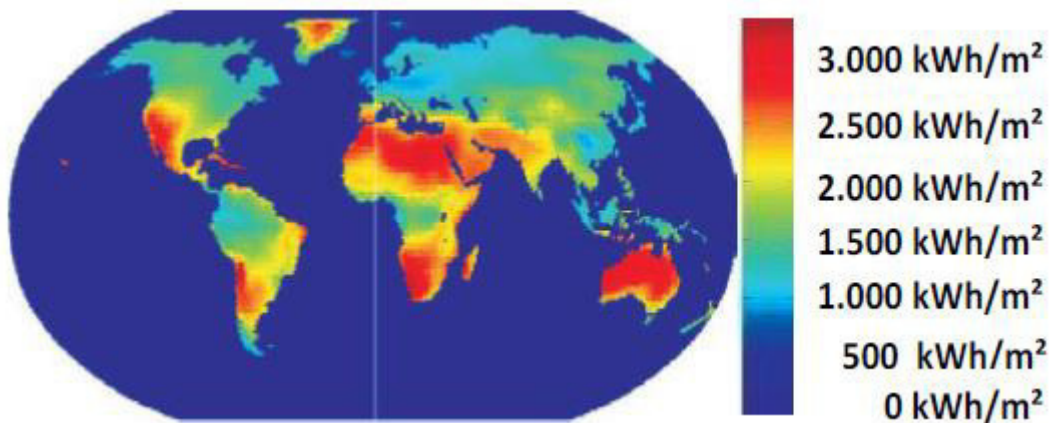
Comparando os coeficientes de perda de eficiência por temperatura para os painéis de silício mono e policristalino, representados no Gráfico 2 têm-se valores em torno de $-0,45 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ e $-0,38 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Estes valores correspondem às características de temperatura para os painéis de silício monocristalino da americana SunEdson e para os de silício policristalinos da fabricante espanhola Atersa. (SunEdson,2014).

3.2.1 Cenário Mundial

Uma das iniciativas mais bem-sucedidas é o caso da tarifa prêmio que será abordada posteriormente. Utilizado em vários países do mundo, esse mecanismo consiste em um pagamento diferenciado por MWh produzido, conforme o custo de geração de cada energia. Como a energia fotovoltaica tem um valor mais alto de produção, os produtores recebem um valor diferenciado, que no longo prazo diminui, para incentivar a redução dos custos com o tempo. (MME).

A Figura 8 mostra os locais do mundo com maiores valores de irradiação solar média anual. A irradiação média anual brasileira varia entre 1.200 e $2.400 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, bem acima da média da Europa. Porém, há no mundo regiões com valores acima de $3.000 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, como Austrália, norte e sul da África, Oriente Médio, parte da Ásia Central, parte da Índia, sudoeste dos Estados Unidos, além de México, Chile, Peru e Bolívia. (MME).

Figura 8: Irradiação solar média anual ao redor do mundo.



Fonte: (MME, 2016)

Em 2015, o mundo contava com uma potência total instalada solar de 234 GW, sendo 229 GW de FV e 5 GW de sistemas solares térmico (tipo de energia solar fotovoltaica que utiliza lentes, espelhos curvados e outros tipos de ópticas para concentrar uma grande quantidade de radiação solar em uma pequena área de células fotovoltaicas para geração de eletricidade). A geração total foi de 253 TWh, resultando num fator de capacidade médio de 13,9%, como mostrado na Tabela 2 (MME, 2016).

Tabela 2: Geração e potência instalada solar no mundo – 2015.

País	Geração (TWh)	% da Geração Total	Potência Instalada (MW)	Fator de Capacidade (%)	Expansão no Ano (GW)
1 China	39,2	0,6	43.480	13,0	15,2
2 Estados Unidos	39,0	0,9	25.577	19,5	7,3
3 Alemanha	38,4	6,4	39.698	11,2	1,4
4 Japão	30,9	3,1	35.409	12,2	12,0
5 Itália	25,2	9,3	18.922	15,4	0,3
6 Espanha	13,9	5,1	5.432	29,3	0,1
7 Reino Unido	7,6	2,4	9.071	11,9	3,6
8 França	7,3	1,3	6.557	13,6	0,9
9 Índia	6,6	0,5	4.453	19,7	1,4
10 Austrália	6,1	2,4	5.065	14,8	0,9
11 Coreia do Sul	3,8	0,7	3.408	15,0	1,0
12 Grécia	3,5	7,8	2.606	15,4	0,0
13 Bélgica	3,2	4,7	3.251	11,3	0,1
14 Canadá	2,6	0,4	2.504	13,4	0,6
15 Tailândia	2,4	1,4	1.420	20,4	0,1
Outros	23,3	0,3	27.324	11,2	7,0
Mundo	253,0	1,0	234.178	13,9	51,8
% do mundo	1,0		3,8		22,2

Fonte: MME, 2016.

Os cinco primeiros países em potência instalada respondem por 68% do total mundial. Em 2015, a China foi o país que mais investiu no setor, aumentando em mais de 15 GW a sua capacidade de geração de energia, chegando a 43,2 GW, o que supera a capacidade da Alemanha e dos Estados Unidos. Em 2018, o Brasil deverá estar entre os 20 países maiores geradores de energia solar, ao se considerar a operação da potência já contratada, de 2,6 GW (MME, 2016).

A Tabela 3 mostra a porcentagem da potência instalada em diferentes países em relação a potência instalada mundial ao longo dos anos.

Tabela 3: Geração solar por país.

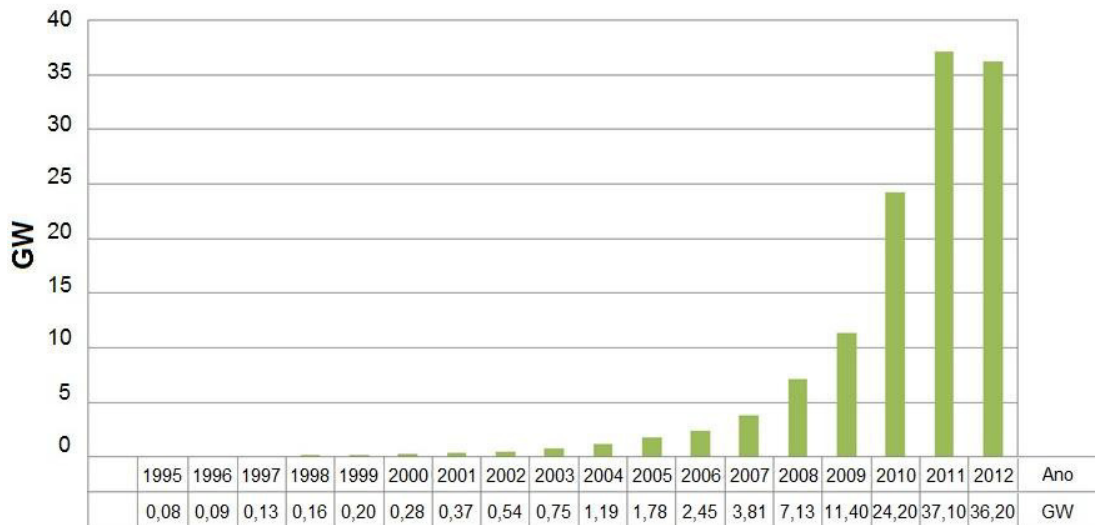
nº	País	1990	2000	2010	2013	2014	2015
1	China	0,5	2,0	2,1	10,9	12,1	15,5
2	Estados Unidos	95,9	47,6	9,0	11,2	14,4	15,4
3	Alemanha	0,3	5,5	35,2	21,7	18,9	15,2
4	Japão	0,3	26,0	9,8	7,5	10,2	12,2
5	Itália	1,0	1,7	5,7	15,1	11,7	10,0
6	Espanha	1,5	1,6	21,3	8,9	7,2	5,5
7	Reino Unido	-	0,1	0,1	1,4	2,1	3,0
8	França	-	0,5	1,9	3,3	3,1	2,9
9	Índia	-	0,6	0,8	2,0	2,3	2,6
10	Austrália	-	4,3	2,9	2,7	2,6	2,4
11	Coréia do Sul	-	0,5	2,3	1,1	1,3	1,5
12	Grécia	-	-	0,5	2,6	2,0	1,4
13	Bélgica	-	-	1,7	1,9	1,5	1,2
14	Canadá	-	1,5	0,7	0,9	1,0	1,0
15	Tailândia	-	-	0,1	0,8	1,0	1,0
	Outros	0,5	8,2	5,9	8,1	8,6	9,2
	Mundo	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Mundo (TWh)	0,4	1,1	33,3	142,6	190,8	253,0
	%/total *	0,003	0,007	0,16	0,6	0,8	1,0

* % sobre a geração mundial de energia elétrica

Fonte: MME, 2016

O Gráfico 3 apresenta a evolução da produção mundial de células fotovoltaicas, tendo sido produzidos, em 2012, cerca de 36,2 GWp. Esta potência equivale a mais de duas vezes e meia a potência da usina hidroelétrica de Itaipu, a maior central de produção de energia elétrica do Brasil. Porém, sabe-se que a produção hidrelétrica é contínua, enquanto a produção fotovoltaica está atrelada aos horários de maior incidência solar. De 2001 a 2012, o crescimento anual médio da indústria de células e módulos fotovoltaicos foi de 54,2% (CRESESB, 2014). É possível observar uma pequena redução na produção no ano de 2012, com relação ao ano de 2011. Tal redução possivelmente foi ocasionada pela crise que se instalou na Europa naquele ano.

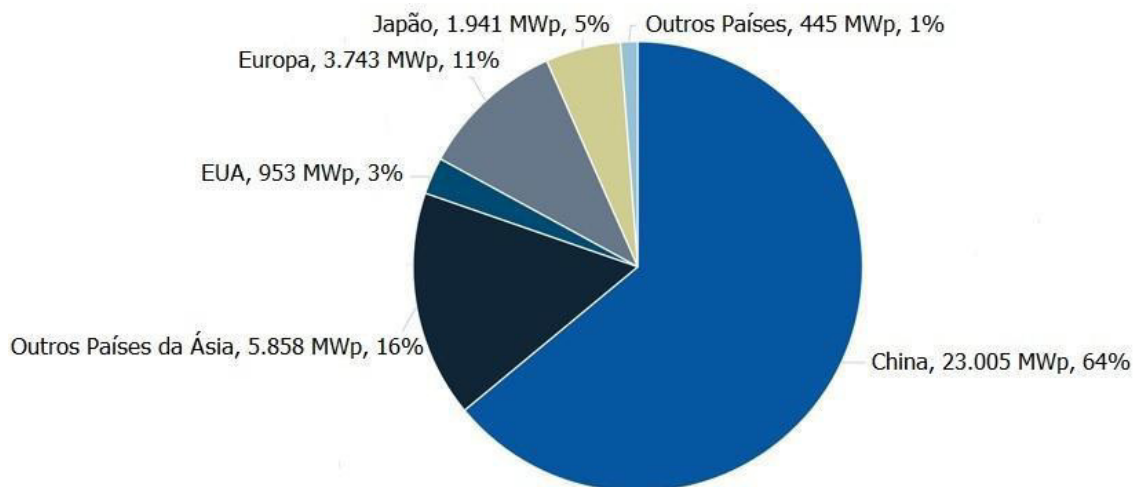
Gráfico 3: Produção mundial de células fotovoltaicas.



Fonte: (CRESESB, 2014).

O Gráfico 4 mostra a distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas no ano de 2012. As indústrias instaladas em países asiáticos, não necessariamente com tecnologia desenvolvida nacionalmente, dominam o mercado, com 85%. Deve-se observar que muitas empresas europeias e norte-americanas deslocaram suas fábricas para a Ásia, em busca de redução de custos de produção, em função da existência de uma cadeia produtiva estabelecida, mão de obra qualificada e barata, e incentivos por meio de fontes de financiamento para implantação de fábricas (CRESESB, 2014).

Gráfico 4: Distribuição da produção mundial de células fotovoltaicas em 2012.



Fonte: (CRESESB, 2014).

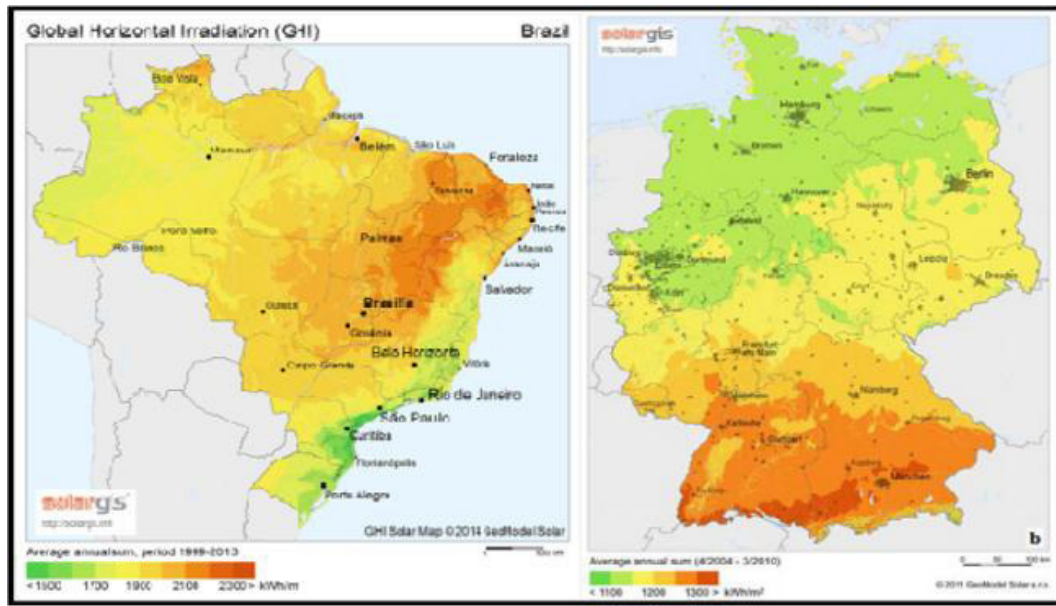
O custo das células fotovoltaicas é, ainda hoje, um grande desafio para a indústria e o principal empecilho para a difusão dos sistemas fotovoltaicos em larga escala. No entanto, a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva em razão tanto dos seus custos decrescentes, quanto dos custos crescentes das demais formas de produção de energia, inclusive em função da internalização de fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais. No final de 2013, para venda em grande escala, o preço do módulo fotovoltaico de c-Si encontrava-se em cerca de 0,60 €/Wp na Europa, de 0,65 US\$/Wp nos EUA e menos de 3 R\$/Wp no Brasil (CRESESB, 2014).

Para 2019, estima-se que a potência total alcançará 396 GWp (cenário moderado) ou até 540 GWp (cenário otimista). Em um cenário moderado, da Agência Internacional de Energia (IEA), a energia solar poderia responder por cerca de 11% da oferta mundial de energia elétrica em 2050, algo próximo de 5.000 TWh. A área coberta pelas instalações seria de 8 mil km² (300 W/m² e FC de 25%), equivalente a um quadrado de 90 km de lado (MME, 2016).

3.2.2 Cenário Brasileiro

Com relação ao Brasil, primeiramente analisando-se o potencial para o desenvolvimento da geração fotovoltaica, tem-se que, devido à sua localização geográfica, o país possui uma extensa área com potencial para exploração da irradiação solar com condições favoráveis durante praticamente o ano inteiro, com valores médios anuais de irradiação entre 1200 e 2400 kWh/m²/ano. Estes valores são superiores à maioria dos países europeus, como Alemanha (1250 kWh/m²/ano), França (entre 900 e 1650 kWh/m²/ano) e Espanha (entre 1200 e 1850 kWh/m²/ano) (EPE, 2012).

Figura 9: Índices de Irradiação solar: no Brasil (à esquerda) e na Alemanha (à direita).



Fonte: Geomodel Solar.

A Figura 9 mostra os índices de irradiação solar no Brasil e na Alemanha, a título de comparação. A região menos ensolarada do Brasil recebe índice de insolação de 1500 W/m^2 , valor maior que a região mais ensolarada da Alemanha (1200 W/m^2), comprovando todo o potencial de aplicação da tecnologia fotovoltaica do país.

A região Nordeste ainda é a que apresenta os maiores valores de irradiação solar global, com a maior média e a menor variabilidade anual, dentre todas as regiões geográficas. Os valores máximos de irradiação solar são observados na região central da Bahia e no noroeste de Minas Gerais.

Se fosse aproveitada a energia solar captada em menos de 3% da área urbanizada, seria possível cobrir 10% da demanda atual de energia elétrica do Brasil (MOREIRA; MILLIKAN, 2012).

Além disso, no Brasil há um grande potencial mercadológico para o desenvolvimento da tecnologia, visto existirem 80.342.715 consumidores de energia elétrica fornecida pela rede até setembro de 2016 (EPE, 2016).

Com um grande mercado a ser explorado temos, como ponto forte para o desenvolvimento da geração fotovoltaica no país, a presença de aspectos favoráveis para o estabelecimento de uma indústria fotovoltaica, segundo CGEE (2010). O primeiro deles é o fato do país deter uma das maiores reservas mundiais de quartzo de qualidade, mineral de onde o silício é extraído. Outro ponto forte é o fato de já possuir indústrias estabelecidas de

beneficiamento do silício até o grau metalúrgico, necessitando apenas de incentivos e investimentos para a obtenção do silício grau solar.

Um último ponto forte é o fato de já existir indústria de componentes elétricos e eletrônicos no país e a mesma poder se adaptar, atendendo às especificações, rapidamente e sem grandes dificuldades para fornecimento de disjuntores, acumuladores, inversores e conectores, em resposta a demanda da geração FV (EPE, 2012).

A tecnologia FV é madura, confiável e tecnicamente viável. No entanto, a falta de um mercado consolidado no país faz seu custo de geração ainda ser alto em comparação aos valores médios praticados no mercado elétrico nacional, embora sua utilização possa resultar em uma série de benefícios (MOCELIN, 2014). De acordo com informações de revendedores, o preço do kW instalado de geração FV fica entre R\$ 7.000 e R\$ 13.000,00 (MME, 2016).

O apoio governamental é muito decisivo na diversificação da matriz energética, uma vez que novas tecnologias geralmente são caras e pouco difundidas, devendo o governo estimulá-las.

A expansão da geração fotovoltaica no Brasil apresenta avanços principalmente nas esferas da regulamentação e da normatização (NEGREIROS, 2015). Desde a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em 1996, vários decretos, leis e resoluções tiveram relação direta ou indireta com o incentivo ao uso de energias renováveis no Brasil.

Nos últimos anos, o contexto político-regulatório sinalizou avanços que favorecem particularmente a implantação da tecnologia fotovoltaica, destacando-se neste contexto a atuação da ANEEL, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), cujos esforços para publicação de resoluções, normas técnicas e portarias trouxeram regras claras para as concessionárias de energia e garantias técnicas e comerciais para os consumidores, promovendo um cenário de segurança jurídica para investidores (NEGREIROS, 2015).

Neste contexto, pode-se destacar a aprovação da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. Além dessa lei da universalização, a Resolução ANEEL nº 493, de 05 de junho de 2012, que regulamenta o uso de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica por Fontes Intermitentes (SIGFIs) e de Microssistemas Isolados de Geração e Distribuição de Energia Elétrica (MIGDIs) para cumprimento das metas de universalização, e a Resolução nº 687/2015, em complemento à Resolução nº 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração (potência instalada até 75 kW) e minigeração (potência instalada entre 75 kW e 5 MW) distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e as regras para o sistema de

compensação das concessionárias, são exemplos dos avanços ocorridos na esfera normativa. Com isso, é esperado um crescimento da geração descentralizada de fontes alternativas, devido ao sistema de compensação de energia gerada (NEGREIROS, 2015).

Uma importante inovação trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012 é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora. Dessa forma, a energia elétrica gerada por essas unidades consumidoras é cedida à distribuidora local, sendo posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica dessa mesma unidade consumidora (ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade). De acordo com as novas regras, o prazo de validade dos créditos passou de 36 para 60 meses, sendo que eles podem também ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto”.

Um exemplo é o da microgeração por fonte solar fotovoltaica: de dia, o excedente da energia gerada pela central é passada para a rede; à noite, a rede devolve a energia para a unidade consumidora e supre necessidades adicionais. Portanto, a rede funciona como uma bateria, armazenando o excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora. (ANEEL)

Na prática, se em um determinado ciclo de faturamento a energia injetada na rede pelo micro ou minigerador for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) na próxima fatura. Caso contrário, o consumidor pagará apenas a diferença entre a energia consumida e a gerada. Vale ressaltar que, dependendo da forma de incidência dos impostos em cada Estado, o consumidor terá ainda que pagar os impostos (ICMS e PIS/COFINS) incidentes sobre o total da energia absorvida da rede. Contudo, já foi definido para a geração distribuída de energia solar a aprovação pelo CONFAZ de cobrança de ICMS sobre o saldo de energia que receber da distribuidora. Segundo a Absolar, pelo menos dez estados já formalizaram essa isenção, incluindo o Ceará (ABSOLAR, 2016).

Pode-se citar também outros incentivos, como:

- **ProGD** – O Ministério de Minas e Energia lançou, em 15/12/2015, o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, com o objetivo

de aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores (residencial, comercial, indústria e agropecuária), com base em fontes renováveis, em especial, a solar fotovoltaica.

- **Isenção de IPI** - De acordo com o Decreto nº 7.212, de 15/06/2010, são imunes à incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados, a energia elétrica, derivados de petróleo, combustíveis e minerais.
- **Isenção de ICMS** - Pelo Convênio ICMS 101/97, celebrado entre as secretarias de Fazenda de todos os estados, há isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias (ICMS) para as operações com equipamentos e componentes para o aproveitamento das energias solar e eólica, válido até 31/12/2021.
- **Desconto na TUST/TUSD** - A RN ANEEL 481/2012, ampliou para 80% o desconto na tarifa de uso do sistema de transmissão/distribuição (TUST/TUSD) para empreendimentos com potência inferior a 30 MW.
- **Isenção de ICMS, PIS e Cofins na Geração Distribuída** – Os convênios ICMS 16, 44 e 52, 130 e 157, de 2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), firmados por AC, TO, MA, CE, RN, PE, AL, BA, MG, RJ, SP, RS, MS, MT, GO e DF, isentam o ICMS sobre a energia que o consumidor gerar. O tributo se aplica apenas sobre o excedente que ele consumir da rede, e para instalações inferiores a 1 MW. O mesmo vale para o PIS e Cofins (Lei 13.169, de 6/10/2015).
- **Redução do Imposto de Importação** – A Resolução CAMEX 22, de 24/03/2016, prorroga até 31/12/2017 a manutenção de 2% para a alíquota incidente sobre bens de capital destinados à produção de equipamentos de geração solar fotovoltaica.
- **Inclusão no programa “Mais Alimentos”** - A partir de novembro de 2015, os equipamentos para produção de energia solar e eólica passaram a fazer parte do programa “Mais Alimentos”, o que possibilita financiamentos a juros mais baixos.
- **Apoio BNDES:** pela Lei 13.203, de 8/12/2015, o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, foi autorizado a financiar, com taxas diferenciadas, os projetos de geração distribuída em hospitais e escolas públicas.
- **Plano Inova Energia** – Fundo de R\$ 3 bilhões, criado em 2013, pelo BNDES, Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e ANEEL, com foco na empresa

privada e com o objetivo de pesquisa e inovação tecnológica nas áreas de: redes inteligentes de energia elétrica, linhas de transmissão de longa distância em alta tensão; energias alternativas, como a solar; e eficiência de veículos elétricos.

- **Geração Compartilhada** – A ANEEL criou ainda a figura da geração compartilhada, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados. Diminuindo assim o custo do sistema instalado.

3.2.3 Situação do Ceará

Os recursos de energia elétrica fotovoltaica alcançarão 7.000 MW no Brasil até 2024, sem contar com a geração distribuída. O dado consta no Plano Decenal de Energia Elétrica 2024 (PDE 2024).

A inserção de energia fotovoltaica no Brasil começou efetivamente no ano de 2010, quando foi citada pela primeira vez no relatório de balanço energético nacional de 2016 do Ministério de Minas e Energias, como dado na Tabela 4.

Tabela 4: Capacidade Instalada de Geração Elétrica por fonte.

	MW									
Usinas em Operação / Plants in operation	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
UHE / Hydro	72.005	74.937	74.901	75.484	77.090	78.347	79.956	81.132	84.095	86.366
PCH / Hydro	1.566	1.820	2.490	2.953	3.428	3.896	4.101	4.620	4.790	4.886
CGH / Hydro	107	112	154	173	185	216	236	266	308	398
EOL / Wind	237	247	398	602	927	1.426	1.894	2.202	4.888	7.633
SOL / Solar	-	-	-	-	1	1	2	5	15	21

Fonte: Ministério de Minas e Energias.

De modo a incentivar a expansão da tecnologia fotovoltaica no território nacional, o governo federal viabilizou o 1º Leilão de energia de reserva (1º LER) em 2014, que foi destinado a projetos de energias renováveis, onde o Ceará participou com 15 projetos com capacidade de 324 MW. Nesse primeiro leilão, participaram 400 projetos de energia fotovoltaica em todo o Brasil totalizando 10790 MW.

A Tabela 5 inclui os leilões realizados para energia fotovoltaica e seus respectivos projetos cadastrados.

Tabela 5: Dados dos Leilões de energia de reserva.

Leilão	Numero de Projetos cadastrados	MW	Número de Projetos Cearenses	MW
1º LER 2014	400	10790	15	324
Leilão de energia A5 2014	179	4872	1	30
1º LER 2015	341	11261	11	351
2º LER 2015	33	1115	-	-
1º LER 2016	295	9210	19	522
2º LER 2016	419	13388	36	1046

Fonte: MME.

Entre os empreendimentos já instalados no Ceará, a MPX Tauá – do Grupo EBX - foi a primeira usina solar comercial do Brasil, situada no município de Tauá, a 344 km de Fortaleza representada na figura 10.

A usina tem capacidade inicial de gerar 1 MW de potência e conta com 4.680 painéis fotovoltaicos, fabricados pela empresa japonesa Kyocera, suficiente para abastecer 1,5 mil famílias. A usina solar é ligada ao Sistema Interligado Nacional por meio de uma subestação da empresa distribuidora de energia do Ceará, a Coelce, atual ENEL.

O investimento custou R\$ 10 milhões e contou com aporte de US\$ 700 mil do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). O Governo do Estado do Ceará incentivou o empreendimento com a criação do Fundo de Incentivo à Energia Solar (FIES). O FIES garante a compensação tarifária entre a energia elétrica solar e a energia elétrica convencional.

O município foi escolhido devido à forte incidência solar que recebe ao longo do ano. A cidade também forneceu metade dos operários que fizeram a montagem da usina, segundo a empresa, a usina gerou 9 mil empregos diretos.

Figura 10: Usina MPX Tauá.



Fonte: MME.

Outro empreendimento já instalado fica na cidade de Pindoretama, pertencente ao Grupo Telles, implantado dentro dos domínios da empresa Santelisa Embalagens, mostrado na figura 11. A usina tem capacidade de potência instalada de 3MW essa energia atende parte da demanda mensal da empresa, onde até o fim de 2017 tem a pretensão de tornar-se autossuficiente com a produção de 5 MW. A tecnologia dos módulos utilizados foi à base de silício monocristalino, da marca SunEdson.

Figura 11: Parque Solar Santelisa Embalagens.



Fonte: Grupo Telles.

No tocante a micro e minigeração distribuída, para que o potencial solar seja bem aproveitado e atrativo aos consumidores, é preciso também que haja incentivos governamentais, com redução nos impostos sobre o setor e linhas de financiamento específicas para empresas e pessoas físicas.

O Ceará está entre os melhores lugares para investir em energia fotovoltaica, segundo análise da Comerc Solar. Atualmente no Ceará existem 48 empresas atuantes no mercado fotovoltaico, à exemplo da Satrix, Sun Pasa, Prátil, entre outras.

3.3. Geração fotovoltaica em canais de integração

A geração FV de energia em canais de integração ainda não foi difundida no Brasil e ao redor do mundo, apesar dos benefícios à sua adaptação. Entre esses benefícios, pode-se citar a redução da evaporação de água, com a montagem de módulos FV sobre os canais de integração, evitando a incidência direta dos raios solares sobre a água nos canais. Além deste benefício, tem-se a vantagem de evitar o uso de solos com potencial agrícola para a montagem dos módulos FV.

3.3.1. Estudo de caso no Brasil e no mundo

Com a pouca difusão deste tipo de solução, o único sistema de geração de energia fotovoltaica em canais de integração ao redor do mundo, foi encontrado em Gujarat, na Índia. A *Gujarat State Electricity Corp* foi responsável por contratar a empresa norte americana SunEdison, que construiu o projeto piloto de 1 MW. Inaugurado no ano de 2012, contou com um trecho de 750 metros de extensão da rede de canais Narmada, para a instalação dos módulos fotovoltaicos suspensos (Figura 12).

Figura 12: Sistema fotovoltaico em canal de integração na Índia.



Com a instalação dos módulos, evita-se a evaporação de 9000 quilolitros de água por ano a partir do canal. O projeto praticamente elimina a necessidade de desapropriar grandes extensões de terra, e limita a evaporação da água nos 750 metros de comprimento em que atua este sistema no canal. Portanto o projeto gera dois benefícios simultaneamente, fornecendo segurança energética e água.

A conexão desse sistema é feita por quadros elétricos de corrente contínua e eletrodutos subterrâneos localizados nas margens do canal, estes são levados até uma subestação elevadora e conectadas à rede. Dessa forma, a conexão à rede não caracteriza um custo mais elevado quando comparado a outros sistemas em solo.

O contrato de engenharia para o projeto foi atribuído a SunEdison a um custo de US \$ 2,6 milhões. O custo por megawatt de energia solar, neste caso, era menor do que usinas de energia solar tradicionais, já que as duas margens do canal, que já estão desapropriadas, estão sendo usadas para cobrir o canal através da instalação dos módulos FV, onde o governo não teve que gastar muito em criação de infraestrutura básica e aquisição de terras.

Em Gujarat o comprimento total do canal, incluindo sub-ramos, é de cerca de 19.000 km. Assumindo uma utilização de apenas 10% da rede de canais existente, estima-se que 2.200 MW de potência de geração de energia solar podem ser instaladas sob canais. Isto também implica que 45 km² de terra podem ser potencialmente conservadas juntamente com cerca de 20 bilhões de litros de água economizados por ano.

Verificado toda a potencialidade apresentada na Índia, o Brasil tem todas as condições de instalação e adaptação de módulos FV em canais de integração, uma vez que existe principalmente na região nordeste, uma demanda em ascensão por energia elétrica e uma crescente preocupação com a falta de água, com elevados volumes de água sendo perdidos por evaporação em canais de integração e em açudes.

3.4. Levantamento do potencial de mitigação e de benefícios à adaptação

Entre o potencial de mitigação e os benefícios que a adaptação da geração FV em canais de integração poderia trazer, pode-se citar, como exemplos, a redução da evaporação de água nos canais e a redução de emissões.

A seguir são descritos estudos sobre a evaporação de água existente nos canais de integração do Ceará e as reduções de emissões pela substituição de termoelétricas por plantas fotovoltaicas.

3.4.1. Evaporação de água em canais de integração no Ceará

Cerca de 70% da quantidade de água precipitada sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera pelos efeitos da evaporação e transpiração. Devido a isso, a mensuração desses dois processos é fundamental na elaboração de projetos, visto que afeta diretamente o rendimento de bacias hidrográficas, a determinação da capacidade do reservatório, projetos de irrigação e disponibilidade para o abastecimento de cidades, entre outros (UFES/ Departamento de Geografia/Climatologia).

Em zonas áridas, como o nordeste brasileiro, em que a evaporação anual pode atingir valores superiores a 2 metros de coluna de água por ano, a desconsideração do fenômeno implicaria em uma superestimativa das disponibilidades hídricas (UFES/ Departamento de Geografia/Climatologia).

3.4.2. Conceito de Evaporação em Recursos Hídricos

A evaporação e a evapotranspiração, fisicamente, dizem respeito ao mesmo fenômeno, que é a mudança de fase da água, da fase líquida para vapor. Entretanto, no estudo da evaporação, considera-se apenas a água perdida pelo solo e por superfícies de água livre (p. ex. açudes), enquanto que na evapotranspiração leva-se em conta a perda conjunta de água pelo solo e pela planta (UFES/ Departamento de Geografia/Climatologia).

O processo de evaporação consiste na absorção de energia por parte de moléculas d'água, às quais mudam de fase. Para tanto, é necessário que:

- a) existência de uma fonte de energia que pode ser a radiação solar, calor sensível da atmosfera ou da superfície evaporante. Em geral, a radiação solar é a principal fonte para a evaporação.
- b) existência de um gradiente de concentração de vapor, isto é, uma diferença entre a pressão de saturação do vapor na atmosfera à temperatura da superfície e a pressão parcial de vapor d'água na atmosfera.

Destaca-se o fato que a evaporação se torna bastante complexa quando a superfície evaporante não é uniforme, pois neste caso, é necessário considerar-se o vapor removido pela ascensão do ar, causado pelo transporte turbulento do ar da camada junto à superfície (convecção), que por sua vez é provocado pelas diferenças de temperatura e densidade do ar (UFES/ Departamento de Geografia/Climatologia). Assim, a evaporação é afetada pelos seguintes parâmetros básicos:

- a) Temperatura e umidade do ar;

- b) Velocidade do vento;
- c) Saldo de radiação à superfície.

Quanto aos fatores intervenientes na evaporação dos corpos hídricos:

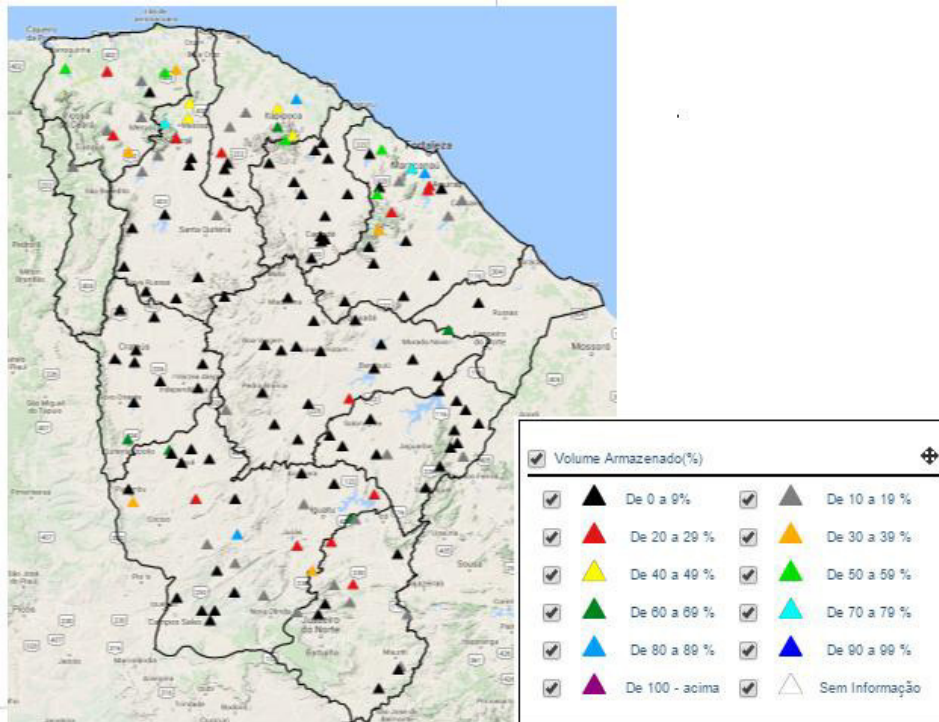
- Temperatura: a elevação da temperatura ocasiona uma maior pressão de saturação do vapor (es), adquirindo o ar uma capacidade adicional de conter vapor d'água.
- Umidade: o ar seco tem maior capacidade de absorver vapor d'água adicional que o ar úmido, desta forma, a medida em que ele se aproxima da saturação, a taxa de evaporação diminui, tendendo a se anular, caso não haja vento para promover a substituição desse ar.
- Vento: a ação do vento consiste em deslocar as parcelas de ar mais úmidas, encontradas na camada limite superficial, substituindo-as por outras mais secas. Inexistindo o vento, o processo de evaporação cessaria tão logo o ar atingisse a saturação, uma vez que estaria esgotada sua capacidade de absorver vapor d'água.
- Radiação solar: a energia necessária para o processo de evaporação tem como fonte primária o sol; a incidência de sua radiação varia com a latitude, clima e estação do ano.

3.4.3. Importância da Avaliação das Perdas por Evaporação no Ceará

O estado do Ceará tem cerca de 70 % de sua área inserida no semiárido brasileiro. O clima semiárido é caracterizado pelas baixas precipitações irregulares tanto espacialmente quanto temporalmente, concentradas em uma estação de 3 a 5 meses de duração e uma variação em torno de 30% dos totais pluviométricos anuais, chegando a 50% em pontos mais críticos (IICA, 2002).

Para o atendimento das necessidades de água para os múltiplos usos nos períodos de estiagens, aproveitando-se a água excedente dos meses úmidos, se faz necessária a construção de reservatórios. A Figura 13 apresenta a situação atual dos níveis de água nos reservatórios.

Figura 13: Situação dos reservatórios do estado do Ceará.



Fonte: COGERH.

No Nordeste, o volume de água deve fechar setembro em apenas 15% da capacidade, inferior ao verificado em agosto, quando o nível esteve em 20% no fim do mês. O nível é o mais baixo dos últimos 15 anos para o período, superando apenas o ano passado, quando ficou em 14% como pode ser verificado no Gráfico 5. (PANORAMA COMERC).

Gráfico 5: Nível dos reservatórios do Nordeste nos últimos 15 anos no mês de setembro.



Fonte: PANORAMA COMERC.

As altas taxas de evaporação, que atuam nas superfícies livres de água, representam uma perda significativa na disponibilidade hídrica do estado do Ceará. As perdas por evaporação são determinantes para a avaliação do volume de água potencial disponível,

informação de suma importância para políticas de manejo dos recursos hídricos da região.

A evaporação é uma variável crítica dentro do balanço hídrico de regiões semiáridas, chegando a representar no Ceará mais do dobro do volume precipitado anual médio. Estudos realizados no semiárido estimam que cerca de 40% das águas acumuladas em reservatórios se perde com a evaporação (SUASSUNA, 2002).

A gestão das águas consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais, econômicos e políticos objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção desse recurso, disciplinando as ações antrópicas de acordo com a política estabelecida para a mesma, de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável (SILVA, 2000).

A implementação dessa gestão, inclui o diagnóstico atual da situação dos recursos hídricos, o balanço contemplando os aspectos de qualidade e quantidade, entre disponibilidades e demandas atual e futura, a identificação de conflitos potenciais e proposição de medidas para o aumento da oferta hídrica.

A escassez hídrica se constitui num dos principais limitadores do desenvolvimento socioeconômico da região: freia a implantação de importantes empreendimentos e irrigação de cultivos, inclusive para exportação e indústrias de grande porte, por exemplo.

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante devido ao elevado consumo e as restrições de disponibilidade de água. Avaliações de projetos de irrigação no mundo inteiro indicam que mais da metade da água derivada para irrigação perde-se antes de alcançar a zona radicular dos cultivos. Outro fato preocupante é velocidade de degradação dos recursos hídricos, com o despejo de resíduos domésticos e industriais nos rios e lagos.

No Ceará, a capacidade de armazenamento em reservatórios (açudes) está quase esgotada com a açudagem atual e falta de outros grandes boqueirões barráveis decorrente de limitações topográficas. Ações de melhoria de oferta de água passam necessariamente pela redução das perdas. A evaporação se constitui na maior responsável e deve ser obrigatoriamente minimizada.

Estas perdas no Ceará ultrapassam dois metros de coluna de água por ano em todo corpo de água incluindo açudes, lagos, canais e rios. A água não evaporada permitirá o aumento da oferta para diversos usos.

4. METODOLOGIA

A pesquisa tem como procedimento inicial a identificação do problema de pesquisa, finalizando com a resposta deste. A pesquisa realizada possui caráter exploratório e descritivo a respeito do tema.

No que se refere à pesquisa, com foco principalmente nos objetivos relacionados a este estudo, caracteriza-se como descritiva. De acordo com Gil (2002, p. 42), este tipo de pesquisa “[...] tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno, ou então, o estabelecimento de relações entre variáveis”. Em complemento, Triviños (1987, p. 110), expõe que os estudos descritivos não ficam simplesmente na coleta, ordenação, classificação dos dados, eles podem estabelecer relações entre variáveis. Neste tipo de estudo o pesquisador necessita conhecer o assunto para assim, analisar os resultados sem a interferência pessoal.

As principais fontes utilizadas na pesquisa foram: EPE, CRESESB, COGERH, MME, FUNCEME e ANEEL.

Os resultados técnicos sobre a evaporação terão abordagem quantitativa, pois é importante para garantir a precisão dos resultados, evitando assim, distorções de análise e interpretação, permitindo uma margem de segurança com relação a possíveis interferências, buscando analisar o comportamento do problema apresentado.

4.1. Metodologia adotada para a estimativa das perdas em canais no Ceará

Foram simuladas as evaporações em três canais do estado do Ceará:

- O Eixão das águas que permite a transferência de água do açude Castanhão para a Região Metropolitana de Fortaleza e é composto por 4 trechos em canais;
- O Canal do Trabalhador captando do rio Jaguaribe, em Itaiçaba, e desaguando no açude Pacajús;
- O Cinturão das Águas do Ceará (CAC), em fase de implantação, que quando implantando, permitirá a derivação das águas do Projeto São Francisco para o Ceará. Neste estudo considerou-se o trecho inicial, em obras que vai do açude Juti até o rio Cariús.

As estimativas de evaporação foram feitas pelos métodos amplamente usados no Brasil derivados da fórmula geral da evaporação de Penman e Jobson. Os valores adotados corresponderam às evaporações médias entre os dois métodos.

Não se utilizou outros métodos pela indisponibilidade de informações climatológicas precisas necessárias para o desenvolvimento dos mesmos.

Os dados climatológicos de Velocidades do Vento, Umidades Relativa do Ar, Temperaturas Médias adotados na aplicação das fórmulas de Penman e Jobson foram os das Normas Climatológicas publicadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET do período 1961 a 1990.

As estações climatológicas consideradas foram:

- Para o Eixão das Águas – Estação Morada Nova para os trechos 1 e 2; Estação Fortaleza para os Trechos 3 e 4.
- Para o Canal do Trabalhador – Estação Fortaleza.
- Para o CAC – Estação Barbalha.

4.2. Estimativa das Perdas por Evaporação

A perda por evaporação é a quantidade de água evaporada por unidade de área horizontal, geralmente expressa em mm.

Intensidade de evaporação trata-se da velocidade com que se processa a perda por evaporação, geralmente expressa em mm/dia ou mm/mês.

Como não podem ser medidas diretamente, a evaporação de um corpo d'água, como lago ou reservatório, rios ou canais é feito através de métodos indiretos, em que se pode destacar:

a) Método do balanço hídrico

Considerando que são conhecidos os estados de um corpo de água e que todas as afluições e defluências possam ser medidas em um dado intervalo de tempo, a evaporação pode ser calculada por:

$$E = DS + P + A - D - I \dots \dots \dots (1)$$

Em que:

E: evaporação;

P: precipitação direta sobre o espelho d'água;

A e D: somas das afluições e defluências, respectivamente;

I: infiltração;

DS: alteração de volume no intervalo de tempo considerado.

b) Métodos Baseados na Fórmula Geral da Evaporação

A primeira equação para o cálculo da evaporação de uma superfície foi proposta por Dalton (1928):

$$ET_o = C * (e_s - e_a) \dots \dots \dots (2)$$

Em que:

ET_o: evaporação;

C: coeficiente empírico, relativo a elementos meteorológicos;

e_s: pressão de saturação à temperatura da superfície;

e_a: pressão de vapor do ar.

Várias equações foram propostas para a estimativa da evaporação baseadas na equação de Dalton ou mesmo sendo a própria equação de Dalton, variando a função C para cada localidade.

Quanto ao efeito da lei de Dalton, quanto menor UR, para uma dada temperatura, menor e_a e, conseqüentemente, maior a evaporação.

As fórmulas derivadas da geral de evaporação de Dalton são as mais usadas nos cálculos e evaporação em canais pela sua facilidade de aplicação e precisão nos resultados.

Destas fórmulas vamos destacar duas, a de Penman e a de Jobson.

b1) fórmula de Penman (1948)

Esta metodologia é baseada na transferência de massas (Dalton). O método de transferência de massa para achar a evaporação de superfícies líquidas é um método simples e razoavelmente preciso conforme Xu (2002). Tem sido aplicado em evaporação de lagos e existe da forma de muitas fórmulas empíricas. Todas se baseiam na equação original de Dalton feita em 1802.

A fórmula tem como condicionantes a umidade relativa do ar do mês e a umidade de saturação bem como a velocidade do vento a 2 m de altura.

Podemos estimar a evaporação em mm/dia de uma superfície livre conforme o Método de transferência de massas de Penman, com a seguinte fórmula:

$$E_{to} = 0,35 * (1 + 0,24 * u_2) * (e_s - e_a) \dots \dots \dots (3)$$

Sendo:

ET_o: evaporação de superfície líquida (mm/dia);

e_s: umidade de saturação do ar (mb);

e_a: umidade de vapor de água a temperatura ambiente (mb);

u₂: velocidade do vento a 2 m de altura (m/s);

O parâmetro e_s é calculado por:

$$e_s = 0,61 * e^{17,27 * \frac{T}{237,3+T}} \dots\dots\dots(4)$$

Sendo:

e_s : tensão de saturação de vapor (kPa); olhar

T: temperatura média do mês (°C);

e: 2,7183 (base do logaritmo neperiano).

A pressão de vapor da água à temperatura ambiente e a é estimada por:

$$e_a = (UR / 100) * e_s$$

Onde:

e_a = pressão de vapor de água a temperatura ambiente (kPa)

UR= umidade relativa do ar média mensal fornecida (%)

e_s = tensão de saturação de vapor (kPa)

b2) Evaporação usando a equação de Jobson, 1980

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (Environmental Protection Agency, EPA, ou às vezes USEPA, em inglês) é uma agência federal do governo dos Estados Unidos da América, encarregada de proteger a saúde humana e o meio ambiente: ar, água e terra. A EPA começou a funcionar em 2 de dezembro de 1970, quando foi instituída pelo presidente Richard Nixon.

A USEPA, recomenda como a melhor equação para se achar a evaporação de um lago, rios e canais a equação feita em 1980 por Jobson.

$$E_{T0} = 3,01 + 1,13 * u_2 * (e_s - e_a) \dots\dots\dots(5)$$

Em que:

E_{T0} : evaporação de superfície líquida (mm/dia);

e_s : umidade de saturação do ar (kPa);

e_a : umidade relativa do ar do mês (kPa);

u_2 : velocidade do vento a 2 m de altura (m/s).

c) Método baseado na medição por tanques evaporimétricos

Em função da limitação de obtenção de alguns parâmetros no método do balanço hídrico, bem como a aquisição de alguns elementos na fórmula de Penman, a medição indireta através de tanques evaporimétricos é amplamente utilizada.

O “tanque classe A” é o mais comum. Trata-se de um tanque circular, de ferro galvanizado sem pintura, com diâmetro de 122 cm e altura de 25,4 cm e a sua instalação deve ser permitida variação maior que 2,5 cm.

As alturas (lâminas) de evaporação são acumuladas em períodos semanais, decendiais, quinzenais ou mensais, conforme a aplicação que se vai dar aos dados de evaporação.

O estrado colocado no tanque classe A visa impedir o fluxo de calor para o solo.

No tanque, as paredes sofrem com a influência da radiação e da transferência de calor sensível o que provoca a superestimação da evaporação.

A evaporação real estimada a partir dos dados de medições do tanque classe A pode ser calculada por:

$$Er = Kt * Et \dots\dots\dots(6)$$

Et: evaporação no tanque;

Kt: fator que relaciona a evaporação de um corpo de água e do tanque classe A que oscila entre 0,6 e 0,8, sendo 0,7 o valor mais utilizado;

Er: evaporação real.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o Eixão estima-se para os Trechos 1 e 2, que se estendem desde o Açude Castanhão até a Serra do Félix uma evaporação anual de 2.719 mm que corresponde a uma perda de 33.989 m³/km/ano no trecho 1 e 21.215 m³/km/ano no trecho 2. Os meses de maior evaporação são outubro e novembro (mais de 300 mm/mês), enquanto a menor evaporação ocorre nos meses mais chuvosos de março e abril quando evapora menos de 160 mm/mês.

Nos Eixos 3 e 4 do Eixão das Águas, que se desenvolve desde a Serra do Félix até a Região Metropolitana de Fortaleza, a evaporação média obtida foi de 1.937 mm/ano. O valor calculado projeta perdas por evaporação de 22.242 m³/km de canal. Os meses de maior evaporação correspondem ao trimestre setembro, outubro e novembro (mais de 200 mm/mês), enquanto a menor evaporação ocorre nos meses mais chuvosos de março e abril, quando evapora menos de 110 mm/mês.

A situação das perdas no Canal do Trabalhador, pelas proximidades com os Trechos 3 e 4 do Eixão, são similares às dos referidos trechos do Eixão das Águas. A lâmina de evaporação média obtida foi 1.937 mm/ano. O valor calculado projeta perdas por evaporação de 21.312 m³/km no canal. Os meses de maior evaporação correspondem ao trimestre setembro, outubro e novembro (mais de 200 mm/mês), enquanto a menor evaporação ocorre nos meses mais chuvosos de março e abril quando evapora menos de 110 mm/mês. A perda anual média por evaporação em todo o Canal do Trabalhador é de 2.024.668 m³.

O trecho 1 do CAC se desenvolve no sopé da Chapada do Araripe e teve sua evaporação simulada a partir dos dados da estação meteorológica do INMET – Barbalha. A lâmina de evaporação média anual estimada foi 2.437. O volume de água correspondente a perdas por evaporação é de 41.432 m³/km naquele canal. Em todo o segundo semestre (julho a dezembro) as evaporações 210 mm atingindo o pico em dezembro com 354 mm. As menores taxas de evaporação ocorrem nos meses mais chuvosos de março e abril quando evapora menos de 120 mm/mês. A perda anual média por evaporação em todo o Trecho 1 do Cinturão das Águas é de 4.942.458,02 m³.

Para que se tenha uma ideia do porte destas perdas por evaporação salientamos que uma pessoa consome em média 54,75 m³/ano (150 l/pessoa/dia) e 1 hectare irrigado cerca de 15.000 m³/ano. Baseado nestes consumos médios, a água evaporada nos canais do trecho 1 do CAC, possibilitaria o abastecimento de 90.273 pessoas ou a irrigação de aproximadamente 330 ha.

A Tabela 6 apresenta o resumo dos resultados obtidos com os cálculos de evaporação.

Tabela 6: Resumo dos cálculos de evaporação.

Canal	Extensão (km)	Vazão de Adução em m ³ /ano	Evaporação anual (%)	Evaporação (m ³ /ano)	Pessoas que podem ser abastecidas	Área que pode ser irrigada (ha)
Eixão (T1, T2, T3 e T4)	160,49	2.459.808.000,00	0,17%	4.270.558,32	78.001	284,70
Canal do Trabalhador	95,00	189.216.000,00	1,07%	2.024.668,57	36.980	134,98
CAC (Jati-Cariús)	119,29	946.080.000,00	0,52%	4.942.458,02	90.273	329,50
TOTAIS	374,78	3.595.104.000,00	0,31%	11.237.684,91	205.254,52	749,18

Fonte: Quanta Consultoria

5.1.Aspectos Ambientais

5.1.1. Resoluções

Outros aspectos importantes a serem analisados são os ambientais, de modo, a saber, se a área onde o parque FV será instalado possui alguma restrição quanto a sua utilização. Do ponto de vista ambiental, é competência da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) o licenciamento do mencionado empreendimento, tendo como amparo legal a Lei nº 11.411, de 28/12/1987, a Lei nº 12.274, de 05/04/1994 e a Resolução COEMA de nº 03, de 07/04/2016.

Os procedimentos para licenciamento de instalações com microgeração e minigeração a Resolução nº 03 do COEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente), de 07/04/2016, estabeleceu o seguinte:

Art. 3º. Os sistemas de microgeração solar fotovoltaica ou eólica, bem como os de minigeração eólica, serão isentos de licenças ambientais, desde que não interfira em Áreas de Preservação Permanente – APP e/ou Unidade de Conservação.

§1º – Quando houver a necessidade de supressão vegetal para instalação de sistemas de micro e minigeração distribuída de energia elétrica renovável, a autorização para a mesma deverá ser requerida ao órgão ambiental competente.

§2º – Quando houver a necessidade de intervenção em Áreas de Preservação Permanente – APP para instalação de sistemas e micro e minigeração distribuída de energia elétrica renovável, a autorização para a mesma deverá ser requerida ao órgão ambiental competente, bem como Anuência do órgão gestor da Unidade de Conservação – UC.

Caso o empreendimento de geração solar seja instalado em área de preservação

permanente (APP), ele não poderá valer-se da isenção prevista no mencionado artigo 3º, ou seja, deverá proceder com o devido licenciamento da atividade perante a Superintendência Estadual do Meio Ambiente, bem como junto a unidade gestora da APP.

Sobre as Áreas de Preservação Permanente (APPs) é importante destacar que tratam-se de espaços territoriais protegidos sob a égide do inciso III, §1º, do artigo 225 da Constituição Federal:

Art. 225. Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

§ 1º Para assegurar a efetividade desse direito, incumbe ao Poder Público:

III - definir, em todas as unidades da Federação, espaços territoriais e seus componentes a serem especialmente protegidos, sendo a alteração e a supressão permitidas somente através de lei, vedada qualquer utilização que comprometa a integridade dos atributos que justifiquem sua proteção;

O Código Florestal (Lei Federal nº 12.651/2012) traz um detalhamento preciso das APPS, aplicáveis em áreas urbanas e rurais, de Reserva Legal (aplicável às áreas rurais), além de definir outros espaços de uso limitado, nos seguintes termos:

Art. 3o Para os efeitos desta Lei, entende-se por:

II - Área de Preservação Permanente - APP: área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas;

O conceito legal de APP relaciona tais áreas, independente da cobertura vegetal, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Registre-se que, tendo em vista que os projetos de geração de energia elétrica são detentores de utilidade pública (artigo 3º, VIII, b, da Lei 12.651/2012), o que autoriza a intervenção em áreas de preservação permanente.

Nesse sentido, a possibilidade de supressão de área de preservação permanente para os fins de implantação dos projetos de infraestrutura foi originariamente estabelecida pela MP Nº. 2.166-67, de 2001, que foi incorporada ao Código Florestal e cuja constitucionalidade foi declarada pelo Supremo Tribunal Federal (STF) na ADIN nº 3540/DF.

Posteriormente essa MP foi revogada pela Lei 12.651/2012 (Novo Código Florestal) e

estabeleceu que:

Do Regime de Proteção das Áreas de Preservação Permanente:

Art. 7o A vegetação situada em Área de Preservação Permanente deverá ser mantida pelo proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado.

§ 1o Tendo ocorrido supressão de vegetação situada em Área de Preservação Permanente, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação, ressalvados os usos autorizados previstos nesta Lei.

Art. 8o A intervenção ou a supressão de vegetação nativa em Área de Preservação Permanente somente ocorrerá nas hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental previstas nesta Lei.

Assim, o procedimento para a obtenção do licenciamento ambiental de empreendimento de geração solar a ser enquadrado no conceito de minigeração em área de preservação permanente é viável e deverá tramitar perante a égide da Resolução 03/2016 do CONAMA e na Lei nº 12.651/2012.

No entorno de açudes existem áreas de proteção permanente (APP), com comprimento variando de acordo com o açude em questão. Com isso, caso a unidade consumidora esteja localizada no entorno de algum açude, haverá restrições quanto ao uso da terra e serão necessários custos adicionais com o processo de licenciamento ambiental.

5.1.2. Análises da redução de emissões pela substituição de termoeletricas por plantas fotovoltaicas

A análise a seguir calcula a redução de emissões devido à substituição de termoeletricas a gás natural e a carvão por plantas fotovoltaicas com a mesma produção de eletricidade. Os cálculos foram realizados com o programa RETSCREEN, desenvolvido pelo governo do Canadá. O fator de capacidade para as plantas fotovoltaicas de 20% está baseado em medições realizadas em Fortaleza, CE. Duas plantas fotovoltaicas são consideradas na análise: 1 MW e 5 MW. Foram empregados módulos de silício policristalino.

- Caso 1: Planta fotovoltaica de 1 MW

10.000 unidades de silício policristalino de 100 Wp cada

Fator de capacidade: 20%

Produção anual de eletricidade: 1.752 MWh

Planta a ser substituída: termoeletrica com gás natural

Fator de emissão: 0,424 t CO₂/MWh

Redução anual de 743 t CO₂

Equivalente a 319.246 litros de gasolina não consumidos

Planta a ser substituída: termoelétrica com carvão

Fator de emissão: 1,563 t CO₂/MWh

Redução anual de 2.738 t CO₂

Equivalente a 1.176.442 litros de gasolina não consumidos

Quando é injetado na rede energia por fontes renováveis há uma redução da contribuição da energia térmica no sistema elétrico, pois as térmicas são acionadas devido à necessidade da rede, sendo operada pela ONS, portanto ao gerar energia fotovoltaica inicialmente, desligar-se-ia do sistema a energia com origem mais cara, que hoje no Brasil, são as termoelétricas.

- Caso 2: Planta fotovoltaica de 5 MW

50.000 unidades de silício policristalino de 100 Wp cada

Fator de capacidade: 20%

Produção anual de eletricidade: 8.760 MWh

Planta a ser substituída: termoelétrica com gás natural

Fator de emissão: 0,424 t CO₂/MWh

Redução anual de 3.716 t CO₂

Equivalente a 1.597.091 litros de gasolina não consumidos

Planta a ser substituída: termoelétrica com carvão

Fator de emissão: 1,563 t CO₂/MWh

Redução anual de 13.691 t CO₂

Equivalente a 5.882.642 litros de gasolina não consumidos

5.2. Estudo de alternativas para projeto de uma unidade de geração fotovoltaica em canais de integração no Ceará

Para o estudo de viabilidade técnica/econômica/ambiental da geração FV em canais de integração do Ceará, deve-se fazer, primeiramente, um levantamento e análise das alternativas de projeto e de localização da unidade de geração FV (ou parque FV).

Neste tópico serão descritas as definições iniciais do projeto da unidade FV,

estabelecendo qual será o destino da energia elétrica gerada e a forma de conexão com a rede elétrica, serão mostrados os aspectos analisados para selecionar os possíveis locais para a instalação e conexão do parque FV, além de apresentar um resumo com as características dos locais selecionados.

5.2.1. Definições iniciais

A seleção dos possíveis locais, ao longo da extensão dos canais de integração do Ceará, para se instalar uma unidade de geração FV, passa primeiro por definições essenciais de projeto. É necessário saber qual será o destino da energia elétrica gerada, definindo a forma de geração de energia, se de forma centralizada ou distribuída (neste caso definindo o consumidor da energia gerada também), e como se dará a conexão do parque com a rede elétrica local. Com estas definições, é possível se ter uma melhor noção de quais locais podem ser utilizados para a instalação e conexão do parque FV.

5.2.1.1. Destino da energia elétrica gerada

Para a definição de qual será o destino da energia elétrica gerada pelo parque FV, primeiramente, deve-se definir qual será a forma de geração de energia, se centralizada ou distribuída.

A geração centralizada é a forma convencional de geração de energia, onde é utilizada uma grande fonte geradora, como termelétricas ou hidrelétricas, e são necessárias linhas de transmissão e distribuição para que a energia chegue até o consumidor final.

Já na geração distribuída, essas linhas não são necessárias porque o que se faz é construir pequenas fontes de geração de energia, independente da carga, o mais próximo possível do consumidor final, evitando assim, todos os custos e impactos inerentes à geração centralizada.

Uma das vantagens da geração distribuída sobre a geração convencional é que é possível evitar as chamadas “perdas técnicas” de energia que ocorrem nas linhas da transmissão e distribuição ocasionadas pelo “efeito joule” e que contribui diretamente no custo da energia elétrica convencional. Outro fator que contribui para este custo são os materiais e todo o trabalho que envolve a construção destas linhas de transmissão e distribuição, além dos custos ambientais.

Em 2004, ocorreu um grande avanço em relação à GD, quando esta foi mencionada na Lei 10.848/04 como uma das possíveis fontes de geração de energia. O detalhamento do Decreto 5.163/04 fornece características que ajudarão as empresas distribuidoras, que até então se opunham a esta forma de geração, a enxergarem na GD uma das formas de mitigar

riscos de planejamento.

Com a geração distribuída também se tem um aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por adicionar fonte não sujeita a falhas na transmissão e distribuição, e um aumento da diversificação da matriz energética.

São consideradas mini ou microgeração distribuída à produção de energia elétrica a partir de pequenas centrais que utilizam fontes renováveis de energia elétrica conectada à rede de distribuição por unidades consumidoras. A microgeração possui potência instalada menor ou igual a 75 kW, enquanto que a minigeração distribuída tem potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW, para a fonte hídrica, ou 5 MW para as demais fontes.

Tomando como base que a potência do parque a ser instalado nos canais de integração do Ceará será de no mínimo 1 MW, e visando, em um primeiro momento para o projeto piloto, que a potência de projeto não seja muito superior a este valor, de forma a não aumentar as complexidades envolvidas e o tempo para execução do projeto e construção do parque, definiu-se que a forma de geração de energia seria a distribuída.

Para a definição do destino da energia elétrica gerada, tendo como base a definição de que a potência do parque FV é de no mínimo 1 MW, fez-se uma análise da resolução normativa nº 482/2012 da ANEEL, complementada posteriormente pela resolução nº 687/2015, anteriormente citada no tópico 2 deste produto, que trata da minigeração e microgeração distribuída.

5.2.1.1.1. Resolução normativa 482/2012 da ANEEL

Publicada em 17 de abril de 2012, a resolução 482 da ANEEL foi, definitivamente, um marco na geração distribuída no Brasil. Esta resolução estabeleceu o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, além de outras providências.

O grande objetivo desta resolução é incentivar o consumo próprio de energia elétrica, visando com que o produtor tenha um abatimento considerável na fatura de energia do micro ou mini gerador e não o enriquecimento do mesmo. Por isso, com veremos mais a frente, a resolução não permite a comercialização por meios monetários de energia excedente, diferentemente do que ocorre em países europeus.

A resolução 482 de abril de 2012 regulamenta não somente os termos para geração distribuída solar fotovoltaica, mas também de diversas outras fontes de energia, tais como eólica, hidráulica e biomassa.

O artigo 2º da referida norma estabeleceu as diferenças entre microgeração e

minigeração, nos seguintes termos:

Art. 2º Para efeitos desta Resolução ficam adotadas as seguintes definições:

I - microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

II - minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

(Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

Além da diferença na nomenclatura recebida devido as diferentes potências, os prazos referentes ao processo de regulação das plantas junto a concessionaria também diferem, sendo o processo referente a plantas mini geradoras mais longo, por se tratar de plantas maiores.

Ademais, o inciso III desse artigo disciplinou a maneira pela qual a energia gerada pelo consumidor será compensada, com o advento do conceito de sistema de compensação de energia elétrica:

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

(Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015).

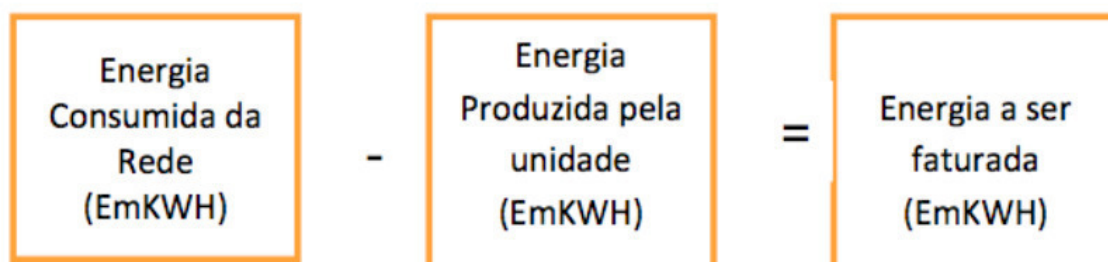
Dessa forma, o sistema de mini/microgeração ligado ao sistema de distribuição dá-se da seguinte forma: o microgerador (aerogerador/painel fotovoltaico) abastece a unidade consumidora a qual está conectada. Caso a energia gerada não seja suficiente para suprir a unidade consumidora, a diferença será complementada pela energia disponibilizada pela rede da distribuidora.

Por outro lado, caso a energia produzida seja superior à demanda da unidade consumidora, a energia excedente é injetada na rede da distribuidora mediante uma cessão não onerosa.

Portanto, fica claro que ao conectar-se ao sistema da Distribuidora de energia local, o consumidor injeta a energia excedente produzida na rede de distribuição e compensa com o

consumo de energia. Nessa circunstância, caso o consumidor injete 500kWh e consuma 800kWh, por exemplo, a fatura deverá vir constando [800kWh (Energia consumida)] – [500kWh (Energia injetada)] = 300kWh (fatura). A Figura 14 ilustra esse sistema de compensação de energia.

Figura 14: Sistema de compensação de energia.



Fonte: ANEEL

Destaque-se ainda que, para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (artigo 6º, §1º, da Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015).

Ou seja, na hipótese de o consumidor injetar na rede da distribuidora mais energia que consumiu um crédito de energia será computado mediante o sistema de medição e faturamento responsável pelo sistema de compensação e poderá ser utilizado no prazo de 60 (sessenta) meses. Pode-se, inclusive, ser abatido em posto tarifário diferente (para consumidores com tarifa horaria) ou na fatura dos meses subsequentes, respeitando a validade de 60 (sessenta) meses dos créditos de energia gerados.

Diante desse panorama, é possível concluir que o sistema de compensação de energia elétrica instituído pela Resolução Normativa nº 482/2012 e posteriormente alterada pela Resolução Normativa nº 687/2015, ambas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) não se confunde com um modelo de comercialização de energia, ao passo que a própria Resolução veda qualquer vinculação de R\$/kWh nos acordos firmados por consumidores e proprietários de lotes ou terrenos com unidade de microgeração ou minigeração de energia.

Observação: Art. 6-A A distribuidora não pode incluir os consumidores no sistema de compensação de energia elétrica nos casos em que for detectado, no documento que comprova a posse ou propriedade do imóvel onde se encontra instalada a microgeração ou

minigeração distribuída, que o consumidor tenha alugado ou arrendado terrenos, lotes e propriedades em condições nas quais o valor do aluguel ou do arrendamento se dê em reais por unidade de energia elétrica. (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

Importante ressaltar que, para unidades consumidoras conectadas em baixa tensão (grupo B), ainda que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, será devido o pagamento referente ao custo de disponibilidade – valor em reais equivalente a 30 kWh (monofásico), 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). De forma análoga, para os consumidores conectados em alta tensão (grupo A) será devida apenas a parcela da fatura correspondente à demanda contratada.

Feitas essas considerações preliminares, saliente-se que há a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas junto a distribuidora, podendo ser caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios).

Para tanto, as unidades consumidoras devem estar dentro da mesma área de concessão (no caso do Estado do Ceará, a detentora da concessão de distribuição é a Companhia Energética do Ceará – COELCE), estando, inclusive, em localidades diferentes do ponto de consumo.

O modelo que mais se enquadra ao projeto de geração solar sob análise é o de autoconsumo remoto, definido pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 da seguinte forma:

Art. 2º

[...]

VIII – autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada. (Incluído pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015).

Desse modo, é viável a conexão de uma unidade geradora em uma unidade consumidora e o abatimento do consumo de energia em outras unidades pertencentes a uma mesma pessoa jurídica, podendo ser matriz ou filial.

Uma unidade consumidora integrante do sistema de compensação deve observar as seguintes regras para o faturamento da energia:

Art. 7º No faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica devem ser observados os seguintes procedimentos: (Redação dada pela REN

ANEEL 687, de 24.11.2015.)

[...]

VI – o excedente de energia que não tenha sido compensado na própria unidade consumidora pode ser utilizado para compensar o consumo de outras unidades consumidoras, observando o enquadramento como empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, geração compartilhada ou autoconsumo remoto; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

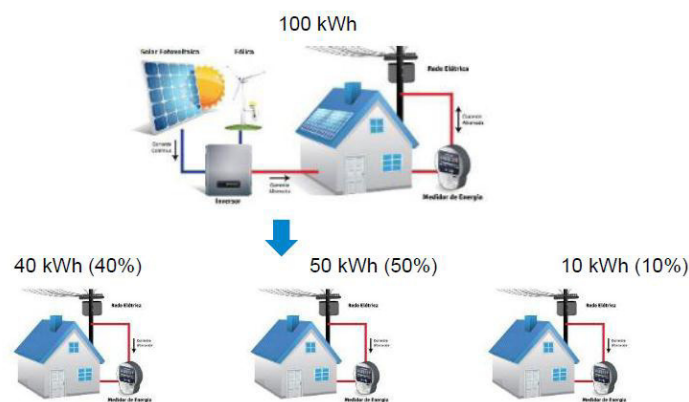
IX – para cada unidade consumidora participante do sistema de compensação de energia elétrica, encerrada a compensação de energia dentro do mesmo ciclo de faturamento, os créditos remanescentes devem permanecer na unidade consumidora a que foram destinados; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

A alocação dos créditos para as unidades consumidoras integrantes de um modelo de autoconsumo remoto segue as seguintes premissas:

- O excedente de energia, que é a diferença positiva entre a energia injetada e a consumida, pode ser alocado para abater o consumo das unidades consumidoras que integram o autoconsumo remoto;
- Cabe ao titular da unidade consumidora com a geração distribuída informar à distribuidora o percentual da energia excedente a ser alocado para cada unidade integrante do sistema de compensação;

Consideremos que o consumidor possua outras unidades consumidoras e instale uma unidade geradora de com capacidade de injetar na rede 100 kWh. É possível a divisão dos créditos entre unidades sob sua titularidade, conforme se depreende da figura 15, como um exemplo.

Figura 15: Exemplo de divisão de créditos de energia.



Fonte: ANEEL

Nesse modelo, encerrada a compensação de energia dentro do mesmo ciclo de faturamento, os créditos remanescentes devem permanecer na unidade consumidora a que foram destinados e são válidos pelo prazo de 60 (sessenta) meses, não sendo possível a transferência de créditos entre unidades consumidoras.

A proposta da resolução não segue uma ideia de enriquecimento através da comercialização de energia elétrica, mas sim foca na produção para o autoconsumo e redução no valor a ser pago na conta de energia.

Este fato é confirmado também no seguinte parágrafo, presente no artigo 4 do capítulo II:

§1º A potência instalada da microgeração ou minigeração distribuída participante do sistema de compensação de energia elétrica fica limitada à carga instalada, no caso de unidade consumidora do grupo B, ou à demanda contratada, no caso de unidade consumidora do grupo A. (ANEEL,2012)

§2º Caso o consumidor deseje instalar microgeração ou minigeração distribuída com potência superior ao limite estabelecido no §1º, deve solicitar aumento da carga instalada, no caso de unidade consumidora do grupo B, ou aumento da demanda contratada, no caso de unidade consumidora do grupo A. (ANEEL, 2012)

Logo, existe um limite da potência da planta, vinculada à potência instalada ou à demanda contratada da unidade consumidora.

5.2.1.1.2. Consumidor da energia gerada

Como visto acima, por meio da resolução 482/2012 não pode haver a venda de energia na geração distribuída. Com isso, a pessoa física ou jurídica que possuir o parque FV deve ser também o consumidor da energia elétrica gerada pelo mesmo.

Devido ao fato dos canais de integração do Ceará estarem sob a administração da COGERH, toda a extensão dos canais e as suas respectivas faixas de domínio estão sob domínio da mesma COGERH. Além disso, ao longo da extensão dos canais existem unidades consumidoras da COGERH para realizar o gerenciamento dos recursos hídricos, com estações de bombeamento (EB), comportas, sistemas de proteção catódica, entre outros dispositivos que consomem energia elétrica.

Com isso, como o parque FV a ser projetado será instalado ao longo da extensão dos canais de integração, o consumidor em potencial da energia elétrica gerada pelo mesmo seria a COGERH, que possui a área necessária para instalação do parque, o ponto de conexão (a unidade consumidora) e um consumo de energia elétrica elevado, superior ao que será gerado

pelo futuro parque.

Contudo, havendo uma parceria público-privada, o sistema de geração pode ser feito em forma de consórcio com outras pessoas físicas ou jurídicas além da COGERH. Caso haja uma concessão da área sobre os canais à alguma empresa pode também ser realizado um sistema de consumo remoto, modelo explicado anteriormente.

A tarifa média da energia elétrica para consumidores em média tensão para 2017 é de R\$ 0,472/Kwh, para consumidores de baixa tensão a média é de R\$ 0,705/Kwh. Para o investidor desse sistema, quanto maior for à tarifa de energia e o seu consumo mais rápido haveria o retorno do investimento.

5.2.1.2. Conexão com a rede elétrica

Pelas normas da COELCE, o fornecimento de energia para a unidade consumidora conectada a uma unidade de minigeração de 1 MW deve ser de 13,8 kV ou 69 kV, conforme mostrado na Tabela 7.

Tabela 7: Níveis de tensão de fornecimento.

Potência Instalada da Central Geradora	Nível de Tensão no Ponto de Conexão	Sistema Elétrico
10 kW	220 V	SDBT (monofásico)
10 a 75 kW	380V	SDBT (trifásico)
76 a 150 kW	380V / 13.800V	SDBT (trifásico) / SDMT
151 a 500 kW	380V / 13.800V	SDBT (trifásico) / SDMT
501 kW a 10MW	13.800V / 69.000V	SDMT / SDAT
11 a 30 MW	13.800 V / 69.000V	SDMT / SDAT
> 30 MW	69.000 V	SDAT

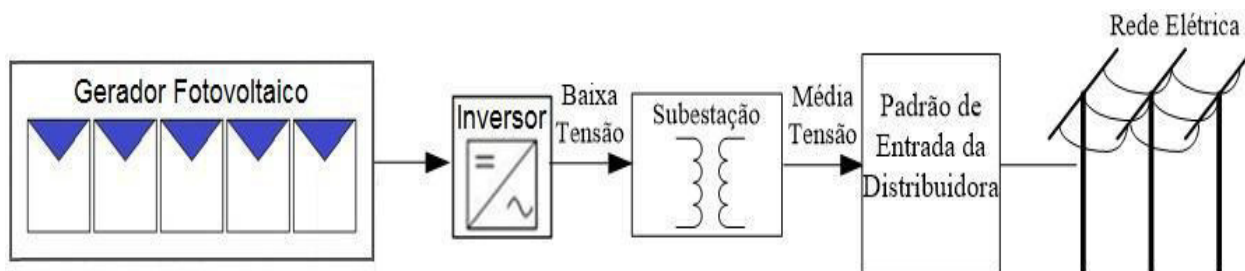
Fonte: Normas COELCE

Com isso, a unidade consumidora deve possuir uma subestação para abaixamento da tensão de fornecimento para a baixa tensão (380/200 V).

Tendo em vista os gastos elevados com o projeto e construção de subestações de média tensão, que por meio de estudos correspondem a aproximadamente 10 % do valor total do parque FV a ser conectado, definiu-se que a conexão do parque FV a ser projetado seria feita no cubículo de baixa tensão da subestação própria da unidade consumidora da COGERH, evitando-se gastos com a construção de uma nova subestação.

A Figura 16 mostra o esquema da ligação da unidade FV com a rede elétrica.

Figura 16: Conexão da unidade FV com a rede elétrica.



Fonte: CRESESB, 2014

5.2.2. Análise de locais para instalação da unidade geradora

Com base nessas definições iniciais, foi possível se minimizar a quantidade de locais, ao longo da extensão dos canais de integração do Ceará, que podem ser utilizados para se fazer a instalação e conexão do parque FV, pois se pôde verificar que o local deve ser relativamente próximo a uma unidade consumidora. Caso não seja possível, o licenciamento do empreendimento deve levar em consideração as normas do autoconsumo remoto. Além disso, nesta última modalidade é necessário adequar o sistema à rede elétrica ao redor do empreendimento, sempre analisando o custo benefício do ponto de conexão com a rede.

Com isso, foi feita uma verificação de quais locais possuem estes requisitos mínimos e, a partir desses locais selecionados, definiu-se critérios para avaliar qual (is) local (is) teria (m) as características técnicas/financeiras/ambientais mais favoráveis para a instalação e conexão do parque.

5.2.2.1. Aspectos analisados

A seguir será feita uma descrição de todos os aspectos (técnicos, financeiros e ambientais) analisados em cada um dos locais, selecionados a partir das definições iniciais, para se obter os critérios eliminatórios e classificatórios no processo de seleção dos locais em potencial, com características mais favoráveis, para a instalação e conexão do parque FV a ser projetado.

5.2.2.1.1. Demanda de energia elétrica

O primeiro aspecto analisado é a demanda de energia elétrica da unidade de consumo. Demanda é a potência total que a instalação está utilizando em um determinado momento, ou seja, a soma das potências de todos os equipamentos ligados em um dado momento. Pode também ser verificada pelo consumo de energia da instalação dividido pelo tempo de consumo. Para faturamento de energia pela concessionária, são utilizados intervalos de 15

minutos. Assim, a sua demanda de energia (medida em kW), é igual ao consumo a cada 15 minutos (medido em kWh) dividido por 1/4 de hora. Em um mês, ocorrem quase 3 mil intervalos de quinze minutos. Assim, a sua demanda será medida quase 3 mil vezes ao longo do mês, devendo ser considerado para o faturamento o valor mais alto (COELCE, 2016).

Pelas normas de faturamento da concessionária de distribuição de energia do Ceará, a Coelce, o valor de demanda faturada na conta de energia será o maior valor entre a demanda máxima medida e a contratada, exceto se classificada como rural ou reconhecida como sazonal. Para as unidades consumidoras enquadradas como rural ou reconhecida como sazonal, a demanda (kW) a ser faturada, será o maior valor entre a demanda máxima medida no ciclo de faturamento e 10% (dez por cento) da demanda contratada (COELCE, 2016).

A tarifa de ultrapassagem, será aplicada sobre a parcela de demanda medida (kW) que superar a respectiva demanda contratada, cujo preço corresponde a 03 (três) vezes o valor da tarifa normal de fornecimento, nos limites mínimos de tolerância descritos a seguir:

- 05 % (cinco por cento) para unidade consumidora atendida em tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV;
- 10 % (dez por cento) para unidade consumidora atendida em tensão de fornecimento inferior a 69 kV.

Como visto anteriormente, pela resolução normativa 482/2012 da ANEEL, a potência instalada do sistema de minigeração deve ser igual ou inferior à demanda contratada da unidade consumidora. Com isso, para uma unidade consumidora poder ser considerada como um local possível para a instalação e conexão do parque FV a ser projetado, esta deve possuir uma demanda contratada junto à concessionária de distribuição igual ou superior à 1 MW, valor igual à potência mínima do parque.

Além disso, pelas normas de faturamento da Coelce, o ideal é que a unidade consumidora possua uma demanda faturada igual ou superior à potência instalada do parque, para que o parque não venha a aumentar o valor de demanda medida e, conseqüentemente, da demanda faturada paga na conta de energia elétrica, aumentando os custos envolvidos com o projeto do parque e contribuindo de forma negativa na análise de viabilidade financeira do mesmo.

Então, a partir de valores de demanda de energia elétrica da unidade consumidora, têm-se dois critérios, um eliminatório e outro classificatório, para seleção dos possíveis locais para a instalação e conexão do parque. O critério eliminatório é que a unidade consumidora tenha uma demanda contratada igual ou superior a 1 MW e o critério classificatório é que a

unidade consumidora tenha uma demanda faturada igual ou superior a 1 MW.

5.2.2.1.2 . Tensão de fornecimento

O segundo aspecto analisado é a tensão de fornecimento de energia elétrica para a unidade consumidora. Como citado no item 3.1.2, o parque FV a ser projetado será conectado no cubículo de baixa tensão da subestação da unidade consumidora. Para a unidade consumidora possuir uma subestação, o fornecimento de energia elétrica da distribuidora para a unidade consumidora deve ser em média tensão (entre 1 kV e 50 kV) ou alta tensão (acima de 50 kV).

A tensão de fornecimento de energia é regulamentada pelo artigo 6º da Resolução 456 da ANEEL e deve obedecer aos seguintes limites:

I) Tensão primária de distribuição em 13.8 kV:

Quando a carga instalada na unidade consumidora for superior a 75 kW e a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for igual ou inferior a 2.500 kW.

II) Tensão primária de distribuição em 69 kV:

Quando a demanda contratada ou estimada pelo interessado, para o fornecimento, for superior a 2.500 kW.

Quanto menor for o valor da tensão de fornecimento para a unidade consumidora, menores serão as complexidades técnicas envolvidas com a conexão do parque FV a ser projetado com a rede elétrica, exigindo dispositivos e instalações mais simples e com menor custo. Isto faz com que os custos do projeto do parque sejam menores, podendo trazer melhores resultados na análise de viabilidade financeira.

Com isso, foi considerado como um critério classificatório, para a seleção de quais locais seriam mais favoráveis à instalação do parque FV, que o fato da unidade consumidora possuir o fornecimento em 13,8 kV seria mais favorável tecnicamente do que caso o fornecimento fosse feito em 69 kV.

5.2.2.1.3. Modalidade tarifária

Outro aspecto importante a ser analisado é a modalidade tarifária da unidade consumidora.

Pelo sistema de compensação de energia da resolução 482/2012, 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.

De modo a se ter uma maior redução no valor da conta de energia, quanto maior for a tarifa de consumo de energia elétrica da unidade consumidora, maior será a redução no valor da conta de energia com a energia injetada pelo sistema de minigeração. Com isso, de certa forma, a energia gerada estaria sendo mais valorizada, sendo revertida em uma maior economia na conta de energia e trazendo melhores resultados na análise de viabilidade financeira do parque.

Portanto, um critério classificatório para a seleção do local mais favorável para a instalação e conexão do parque FV é o valor da tarifa de consumo de energia paga pela unidade consumidora.

Por meio de uma análise dos valores das tarifas de fornecimento de energia para clientes do grupo A (com fornecimento em média ou alta tensão), verificou-se que as unidades consumidoras com modalidade tarifária rural possuem os menores valores de tarifas, se tornando menos favoráveis para ser o local para instalação do parque FV.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento humano está intimamente ligado à disponibilidade de recursos energéticos. Esta afirmação se torna ainda mais evidente nos chamados “países em desenvolvimento”, entre os quais se inclui o Brasil. A demanda energética, notadamente de energia elétrica, é de tal forma imperiosa que, mesmo em períodos de baixa atividade econômica, a taxa de crescimento do setor elétrico mantém níveis superiores. Como confirmação deste processo, dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) mostram que, considerando o período de 2015 – 2014, enquanto o PIB apresentou uma evolução negativa de 3,8%, a geração eólica atingiu a marca de 21,6 TWh (crescimento no período de 77,1%) e ultrapassou a geração nuclear. A geração solar fotovoltaica alcançou a produção de 59 GWh (crescimento no período de 268,75%). Estes dados confirmam a tendência irreversível da matriz elétrica brasileira no caminho da diversificação. Ainda segundo a EPE, projeções do governo apontam para um cenário em que a geração de eletricidade pela fonte hídrica representará cerca de 35% da capacidade em 2050, ante os 61% atuais. As fontes solar e eólica, enquanto isso deverá disparar para quase 30% da matriz elétrica em 2050, frente aos cerca de 6% atuais.

A região Nordeste do Brasil se apresenta como a de maior potencial eólico e solar do país. No setor eólico, de acordo com o Centro de Estratégias em Recursos Naturais & Energia (Cerne), considerando a capacidade total de potência (contando com os parques em operação, construção, contratados e vencedores de leilão), os estados nordestinos da Bahia (5,39 GW), Rio Grande do Norte (4,93 GW) e Ceará (2,67 GW), lideram no país. O mesmo processo se verifica no setor fotovoltaico, com as maiores plantas fotovoltaicas se concentrando no Nordeste brasileiro.

A energia solar e a energia eólica têm importante papel na garantia de um desenvolvimento sustentável. A manutenção da sustentabilidade, na atual conjuntura, está intimamente ligada à mitigação das mudanças climáticas globais, associadas principalmente ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, que por sua vez tem como origem o processo de industrialização das sociedades modernas, iniciado com a Revolução Industrial no final do século XVIII e que é verificado até os dias de hoje.

Tendo grande potencial eólico e solar, o Nordeste tem sofrido ao longo da história com o processo cíclico de distribuição irregular de chuvas. No caso específico do estado do Ceará, a média de chuva no estado para a estação chuvosa, medida entre 1981 e 2010, é de 600,7 mm. Em 2016, a média de chuva ficou em 329,3 mm, caracterizando a oitava pior quadra

chuvosa registrada no Ceará. Assim, fica evidente que a sustentabilidade de qualquer modelo de desenvolvimento para o estado passa pelo uso racional do recurso hídrico.

Desta forma, o presente projeto concilia fatores decisivos para a construção de modelos sustentáveis de desenvolvimento:

- Mitigação das mudanças climáticas globais, evitando a emissão de gases de efeito estufa na atmosfera com o uso de planta solar fotovoltaica;
- Uso racional do recurso hídrico, com a redução do processo de evaporação através do uso de painéis fotovoltaicos sobre o espelho d'água de reservatórios e/ou canais;
- Diversificação da matriz elétrica brasileira, reduzindo a atual elevada dependência das hidroelétricas de grande porte.

Como primeiro passo para o desenvolvimento do presente estudo de viabilidade, apresentou-se neste relatório um estudo de alternativas para alocação de uma unidade de geração FV de energia em canais de integração, mostrando as definições iniciais de projeto e selecionando, a partir de aspectos técnicos/financeiros/ambientais, locais onde seriam mais favoráveis a instalação e conexão da unidade FV.

7. SUGESTÕES PARA NOVOS TRABALHOS

Os conhecimentos obtidos através do desenvolvimento deste estudo podem ser consideravelmente ampliados através de um trabalho de pesquisa. A disponibilidade de maior quantidade de material viabilizaria diversos empreendimentos no setor de energias renováveis. Por ser uma área com poucos trabalhos publicados, a incerteza dos investidores deste setor faz com que os investimentos sejam diminuídos.

Há ainda incertezas decorrentes da transitoriedade (ou interinidade) da situação política. Esta, por sua vez, torna as ações das autoridades econômicas também transitórias, gerando muita insegurança para o investidor.

Eis as sugestões para trabalhos futuros: Pesquisas sobre formas de estruturas de fixação com alta resistência e que possam aletar o sistema, para que haja a redução da temperatura dos painéis em um sistema sobre canais de integração.

Pesquisas sobre sistemas elétricos e formas de fabricação que possam baratear os custos de subestações e dos sistemas elétricos fotovoltaicos.

Determinar o efeito da diminuição de temperatura do painel fotovoltaico em diferentes distâncias da água. Quantificar os riscos e os benefícios de sistemas FV flutuantes. Com isso fazer um levantamento de projetos já realizados ao redor do mundo.

Fazer uma análise de custos de diferentes tipos de sistemas FV, identificando as tarifas médias das contas de energia que possam viabilizar tais sistemas. Mostrar em todos os sistemas: riscos, benefícios, e tempo de Playback de cada investimento.

REFERÊNCIAS

ABINEE. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira**. Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica, São Paulo, 2012.

Ambiente Energia – Revista. **Previsões apontam crescimento significativo da energia solar no Brasil**. Disponível em:

<<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2016/01/previsoes-apontam-crescimento-significativo-da-energia-solar-brasil/27845>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica (Nota técnica)**. Brasília (DF), 2009.

COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Histórico**. Disponível em:<<http://portal.cogerh.com.br/a-companhia/historico.html>>. Acesso em: 14 ago. 2016.

CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2014.

EBES – Empresa Brasileira de Energia Solar. **O mundo está se movendo com a energia solar fotovoltaica**. Disponível em: <<http://www.ebes.com.br/o-mundo-esta-se-movendo-com-energia-solar-fotovoltaica/>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Nota Técnica – Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira. 2012.

EPIA – European Photovoltaic Industry Association. **Global market outlook for photovoltaics 2014-2018**. Belgium, 2014. ISBN 9789082228403

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Atlas Solarimétrico do Ceará 1963 – 2008**. Fortaleza. 2010. 94p.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência 2015**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/14+->

+Energia+Solar+2015+-+Brasil+e+Mundo+(PDF)/edd64ef8-ac0f-4909-8de9-eb06dc9adbc0?version=1.0>. Acesso em: 9 ago. 2016.

MOCELIN, André Ricardo. **Qualificação profissional e capacitação laboratorial em sistemas fotovoltaicos**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOREIRA, P. F.; MILLIKAN, B. **O Setor Elétrico Brasileiro e a Sustentabilidade no Século 21: Oportunidades e Desafios**. 2. ed. Brasília: International Rivers Network - Brasil, 2012.

NEGREIROS, Igor Soares. **Desenvolvimento do sistema de rastreamento de um protótipo de concentrador solar Fresnel linear**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SolarThermic Comércio e Serviços LTDA. **Qual o tempo de vida útil real dos painéis solares fotovoltaicos**. Disponível em: <<http://www.solarthermic.com.br/Noticias/Exibir/qual-o-tempo-de-vida-util-real-dos-paineis-solares-fotovoltaicos>>. Acesso em: 8 ago. 2016.

A News Cafe. **Solar-powered Canals – Are They the Future in California?** 2015. Disponível em: <<http://www.renewableenergyworld.com/articles/print/volume-12/issue-3/solar-energy/solar-trackers-facing-the-sun.html>>. Acesso em: 4 ago. 2016.

Resource Reports. **Sprawling Carports and Shaded Canals: Ingenious Solar Installations**. 2015. Disponível em: <<http://www.resourcereports.com/sprawling-carports-shaded-canals-ingenious-solar-installations/>>. Acesso em: 9 ago. 2016.

Portal Hidrológico do Ceará. **Situação dos Reservatórios do Estado do Ceará**. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>

Portal Diário do Nordeste. **Seca de 2016 no Ceará está entre as piores da história; veja a lista**. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/online/seca-de-2016-no-ceara-esta-entre-as-piores-da-historia-veja-a-lista-1.1565486>

Portal FUNCEME. **Funceme aponta maior probabilidade de seca no próximo trimestre.**

Disponível em: <http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/644-funceme-aponta-maior-probabilidade-de-seca-no-pr%C3%B3ximo-trimestre>

Portal ADECE. **Eixão das Águas.** Disponível em:

<http://www.adece.ce.gov.br/index.php/recursos-hidricos/eixao-das-aguas>

Portal Na Boca do Povo. **Eixão das Águas garantirá o abastecimento em Fortaleza nos próximos 30 anos.** Disponível em:

<http://nabocadopovolavras.blogspot.com.br/2014/03/eixao-das-aguas-garantira-o.html>

Portal da Secretaria de Recursos Hídricos. **Projeto Cinturão das Águas - CAC.** Disponível em: http://atlas.srh.ce.gov.br/arquivos/documentos/Apreuset_Cinturao_das_Aguas.pdf

Portal da EBC. **Transposição do São Francisco usa gravidade e bombeamento para levar água a 12 milhões.** Disponível em: <http://www.ebc.com.br/tecnologia/2015/09/saiba-como-funciona-obra-de-transposicao-do-rio-sao-francisco>

Portal G1. **Obras da transposição das águas do São Francisco na PB chegam a 85%.**

Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2016/03/obras-da-transposicao-das-aguas-do-sao-francisco-na-pb-chegam-85.html>

Portal da ANEEL. **Geração distribuída amplia número de conexões em 2015.** Disponível em:

http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=9044&id_area=90

Portal do Diário do Nordeste. **Um hectare de terra no Ceará custa R\$ 2.092.** Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/um-hectare-de-terra-no-ceara-custa-r-2-092-1.1560753>

Portal da ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>

Portal Brasil. **Projeto prevê investimento privado de R\$ 100 bi em energia solar até 2030.**

Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/12/projeto-preve-investimento-privado-de-r-100-bi-em-energia-solar-ate-2030>

Portal Solar. **O mercado de energia solar teve crescimento recorde em 2015.** Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/mercado-de-energia-solar-no-brasil.html>

Portal Brasil. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono.** Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>

Portal Infopetro. **Integração de energia solar fotovoltaica em larga escala: a experiência alemã.** Disponível em: <https://infopetro.wordpress.com/2012/07/23/integracao-de-energia-solar-fotovoltaica-em-larga-escala-a-experiencia-alema/>

Portal Vidro Impresso. **Usina fotovoltaica no Ceará.** Disponível em: <http://www.vidroimpresso.com.br/flash/edicao13/Usina-fotovoltaica-no-Cear%C3%A1>

Portal do Diário do Nordeste. **Ceará apresenta 5 projetos fotovoltaicos para 1º leilão de energia solar do País.** Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/negocios/online/ceara-apresenta-5-projetos-fotovoltaicos-para-1-leilao-de-energia-solar-do-pais-1.853221>

Portal EPE. **Leilão de energia para 2016 contrata 1.211,5 MW de 42 projetos de geração.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/leiloes/Paginas/Leil%C3%A3o%20de%20Energia%20A-5%202011/Leil%C3%A3odeenergiapara2016contrata1211,5MWde42projetosdegera%C3%A7%C3%A3o.aspx?CategoriaID=6780>

Portal EPE. **O Compromisso do Brasil no Combate às Mudanças Climáticas: Produção e Uso de Energia .** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/NT%20COP21%20iNDC.pdf>

Portal Solar. **Quanto custa a energia solar.** Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/quanto-custa-a-energia-solar-fotovoltaica.htm>