

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA**



**Daniel Vieira de Melo Carlini**

Estudo da Viabilidade do Uso de Painéis Solares na Geração  
de Energia Elétrica em Aeroportos no Brasil

Trabalho de Graduação  
2014

**Civil-Aeronáutica**

Daniel Vieira de Melo Carlini

**Estudo da Viabilidade do Uso de Painéis Solares na Geração de  
Energia Elétrica em Aeroportos no Brasil**

Orientadores

Maj. Eng. Márcio Antonio da Silva Pimentel (ITA)

**Engenharia Civil-Aeronáutica**

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2014

## Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

### Divisão de Informação e Documentação

Carlini, Daniel  
Estudo da Viabilidade do Uso de Painéis Solares na Geração de Energia Elétrica em Aeroportos no Brasil/ Daniel Vieira de Melo Carlini.  
São José dos Campos, 2014.  
106f.

Trabalho de Graduação – Engenharia Civil-Aeronáutica –  
Instituto Tecnológico de Aeronáutica, ano. Orientadores: Prof. Dr. Maj. Márcio Pimentel

1. Conversão de energia 2. Efeito voltaico 3. Fontes de energia 4. Aeroportos 5. Infraestrutura (transporte) 6. Energia elétrica 7. Engenharia elétrica.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CARLINI, Daniel. **Estudo da Viabilidade do Uso de Painéis Solares na Geração de Energia Elétrica em Aeroportos no Brasil**. 2014. 106. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Daniel Vieira de Melo Carlini

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo da Viabilidade do Uso de Painéis Solares na Geração de Energia Elétrica em Aeroportos no Brasil

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2014

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Daniel Vieira de Melo Carlini

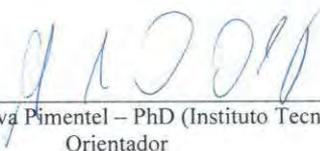
Rua Visconde de Taunay, 443 – Vila Cruzeiro. São Paulo - SP

**ESTUDO DA VIABILIDADE DO USO DE PAINÉIS SOLARES NA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA EM AEROPORTOS NO BRASIL**  
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



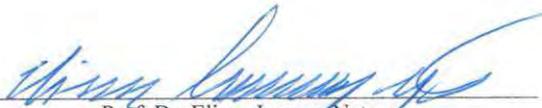
---

Daniel Vieira de Melo Carlini  
Autor



---

Maj. Eng. Marcio Antonio da Silva Pimentel – PhD (Instituto Tecnológico de Aeronáutica)  
Orientador



---

Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto  
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

São José dos Campos, 27 de Novembro de 2014



## Dedicatória

Dedico esse trabalho a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que ele pudesse ser iniciado, desenvolvido e concluído: Meus pais, minha namorada, meus amigos, meu orientador e, sobretudo, Deus.

## Agradecimentos

Agradeço a meus pais, por me incentivarem sempre a dar o melhor de mim e a acreditar em mim mesmo. A minha namorada, por sempre me cobrar a seriedade que esse trabalho exigiu e por acompanhá-lo do início ao fim. A meus amigos Túlio, Pedro e Werneck, por me fazerem companhia nas madrugadas nas quais a maior parte do trabalho se desenvolveu.

Agradeço, também e, sobretudo, a meu orientador, Maj. Márcio, pela confiança dada desde o início e pelas orientações sempre sábias que me guiaram por um assunto que no início me era obscuro, mas que, com a devida orientação, foi se iluminando no decorrer do trabalho.

Agradeço, por fim, a Deus, a quem tudo devo.

## Citação

“A persistência é o menor caminho do êxito”. (Charles Chaplin)

## Resumo

A crise elétrica que o Brasil enfrenta, dentre outros motivos, pela escassez de chuva e, conseqüentemente, de energia hidrelétrica evidencia a necessidade de se repensar a matriz elétrica nacional dando abertura para novas fontes que sejam, ao mesmo tempo, abundantes, limpas e economicamente viáveis.

Diante desse cenário, a energia fotovoltaica surge como uma opção de redução dessa dependência de uma única fonte de energia. Unindo-se isso e o fato de aeroportos serem construções ideais para receber esse tipo de sistema (planos, espaçosos e livres de sombra), esse trabalho inicia com a hipótese de que os aeroportos poderiam constituir uma eficiente porta de entrada para essa fonte de tecnologia na matriz elétrica do país. Busca-se aqui, avaliar a viabilidade de uso de energia fotovoltaica nos aeroportos do país, para que se verifique a validade dessa hipótese.

## Abstract

The power crisis that Brazil faces, among other reasons, by low rainfall and ,hence ,hydropower crisis, highlights the need to rethink the national energy matrix giving openness to new sources that are at the same time, abundant, clean and economically viable.

Given this scenario, photovoltaic energy appears as an option to reduce that dependence on a single energy source. Adding together this and the fact that airports are ideal constructions to receive this type of system (plans, spacious and shadow-free), this work begins with the hypothesis that airports could be an efficient gateway to this source technology in Brazillian energy matrix. It´s goal to assess the viability of photovoltaic energy use in the country's airports, in order to check the validity of this hypothesis.

## Lista de figuras

- Figura 1: Matriz elétrica mundial
- Figura 2: Preço das energias renováveis – Cents de Euro
- Figura 3: Matriz Elétrica Brasileira em 2012
- Figura 4: Índice de Chuva no Brasil -  $10^3$  mm/km<sup>2</sup>
- Figura 5: Primeiro equipamento comercial a usar a luz do sol como fonte de energia
- Figura 6: Evolução da Capacidade Instalada de Solar FV
- Figura 7: Participação na Capacidade Instalada de Solar
- Figura 8: Atratividade para investimentos em de Solar FV
- Figura 9: Níveis de irradiação no Brasil
- Figura 10: Níveis de irradiação na Europa
- Figura 11: Cadeia de valor da energia solar
- Figura 12: Sistema fotovoltaico do aeroporto de Thunder Bay – Canadá
- Figura 13: Aeroporto internacional de Indianápolis
- Figura 14: Coordenadas geográficas do aeroporto de São José dos Campos
- Figura 15: Temperaturas máximas (média entre 1961 e 1990) no Brasil
- Figura 16: Característica V-I a radiação constante para diferentes temperaturas
- Figura 17: Dados de irradiação em Campina Grande – PB
- Figura 18: Cálculo do ângulo ótimo de inclinação
- Figura 19: Esquematização da projeção da sombra de um painel solar
- Figura 20: Curvas I-V e P-V do módulo Pluto 240-Wde
- Figura 21: Inversor monofásico
- Figura 22: Inversor trifásico
- Figura 23: Esquematização da cadeia produtiva de energia elétrica
- Figura 24: Mapa do Sistema Interligado Nacional – SIN
- Figura 25: Mapa das concessões de distribuição de energia elétrica no Brasil
- Figura 26: Estrutura do setor elétrico brasileiro
- Figura 27: Perdas de energia no sistema elétrico do Brasil
- Figura 28: Análise comparativa da reflexão da luz do sol
- Figura 29: Aeroporto internacional de Dusseldorf
- Figura 30: Aeroporto Internacional de Denver
- Figura 31: Aeroporto de São José dos Campos
- Figura 32: Aeroporto de Joinville
- Figura 33: Aeroporto de Corumbá
- Figura 34: Aeroporto de Boa Vista
- Figura 35: Aeroporto de Campina Grande
- Figura 36: Aeroporto de Palmas
- Figura 37: Evolução da tarifa elétrica no Brasil
- Figura 38: Evolução do preço da energia fotovoltaica
- Figura 39: Passo-a-passo do dimensionamento
- Figura 44: Modelo de dimensionamento em Excel®
- Figura 45: Correlação entre movimentação e consumo

- Figura 46: Evolução na movimentação aeroportuária
- Figura 47: Evolução do consumo dos aeroportos
- Figura 48: Evolução do consumo do aeroporto de Palmas - TO
- Figura 49: Evolução da tarifa elétrica – Cenário Favorável
- Figura 50: Evolução da tarifa elétrica – Cenário Intermediário
- Figura 51: Evolução da tarifa – Cenário Desfavorável
- Figura 52: Análise financeira – Aeroporto de São José dos Campos, 2015 (cenário favorável)
- Figura 53: Análise financeira – Aeroporto de Campina Grande, 2019 (cenário favorável)
- Figura 54: Análise financeira – Aeroporto de Corumbá, 2018 (cenário favorável)
- Figura 55: Análise financeira – Aeroporto de Boa Vista, 2020 (cenário favorável)
- Figura 56: Análise financeira – Aeroporto de Joinville, 2015 (cenário favorável)
- Figura 57: Análise financeira – Aeroporto de Palmas, 2016 (cenário favorável)
- Figura 58: Matriz de atratividade de sistemas fotovoltaicos nos aeroportos em estudo
- Figura 59: Matriz de atratividade de sistemas fotovoltaicos nos estados em 2020
- Figura 60: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

## Lista de tabelas

- Tabela 1: Emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia de geração de eletricidade
- Tabela 2: Dados do Sistema Solar do Aeroporto Changi
- Tabela 3: Dados do Sistema Solar do Aeroporto de Thunder Bay
- Tabela 4: Dados do Sistema Solar do Aeroporto de Indianópolis
- Tabela 5: Acréscimo de temperatura em relação à fixação
- Tabela 6: Fator de correção da inclinação (aeroporto de Campina Grande; inclinação dos painéis = 10o e Latitude = 7o)
- Tabela 7: Latitude das cidades analisadas
- Tabela 8: Alturas solares das cidades analisadas no dia e na hora de máxima sombra
- Tabela 9: Capacidade de geração por tipo de energia
- Tabela 10: Estimativa inicial do número de painéis solares necessários
- Tabela 11: Cálculo preliminar da área necessária para implantação dos painéis solares
- Tabela 12: Lista dos modelos de painéis solares testados
- Tabela 13: Potência de pico dos painéis testados
- Tabela 14: Tensão em máxima potência dos painéis testados
- Tabela 15: Corrente em máxima potência dos painéis testados
- Tabela 16: Tensão em circuito aberto dos painéis testados
- Tabela 17: Corrente de curto-circuito dos painéis testados
- Tabela 18: Lista dos modelos de inversores solares testados
- Tabela 19: Rendimento dos inversores testados
- Tabela 20: Tensão máxima na entrada dos inversores testados
- Tabela 21: Corrente máxima de entrada dos inversores testados
- Tabela 22: Potência máxima de entrada dos inversores testados
- Tabela 23: Crescimento médio da tarifa elétrica no Brasil
- Tabela 24: Dados de movimentação e consumo dos aeroportos
- Tabela 25: Tarifas aeroportuárias nos aeroportos do estudo
- Tabela 26: Coordenadas geográficas dos aeroportos
- Tabela 27: Níveis de radiação diária
- Tabela 28: Altura solar e ângulo de inclinação dos painéis
- Tabela 29: Quantidade de painéis necessários
- Tabela 30: Quantidade de inversores necessários
- Tabela 31: Área Necessária para instalação do sistema fotovoltaico
- Tabela 32: Preço unitário dos painéis
- Tabela 33: Investimento necessário em painéis – Cenário favorável
- Tabela 34: Investimento necessário em painéis – Cenário intermediário
- Tabela 35: Investimento necessário em painéis – Cenário desfavorável
- Tabela 36: Preço unitário dos inversores
- Tabela 37: Investimento necessário em inversores
- Tabela 38: Investimento total – Cenário favorável
- Tabela 39: Investimento total – Cenário intermediário
- Tabela 40: Investimento total – Cenário desfavorável

Tabela 41: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 42: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 43: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 44: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2016 (cenário favorável)  
Tabela 45: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 46: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 47: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 48: Estudo financeiro – Campina Grande, 2019 (cenário favorável)  
Tabela 49: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 50: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 51: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 52: Estudo financeiro – Corumbá, 2018 (cenário favorável)  
Tabela 53: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 54: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 55: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 56: Estudo financeiro – Boa Vista, 2020 (cenário favorável)  
Tabela 57: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 58: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 59: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 60: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário favorável)  
Tabela 61: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário intermediário)  
Tabela 62: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário desfavorável)  
Tabela 63: Estudo financeiro – Palmas, 2016 (cenário favorável)  
Tabela 64: Análise financeira – São José dos Campos, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)  
Tabela 65: Análise financeira – Campina Gande, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)  
Tabela 66: Análise financeira – Corumbá, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)  
Tabela 67: Análise financeira – Boa Vista, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)  
Tabela 68: Análise financeira – Joinville, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)  
Tabela 69: Análise financeira – Palmas, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

# Sumário

<b>1. Introdução</b>	17
1.1. Situação da Matriz Elétrica Mundial	17
1.2. Situação da Matriz Elétrica Brasileira	19
1.3. Energia Fotovoltaica no Mundo	21
1.3.1. Surgimento	21
1.3.2. Evolução	22
1.4. Energia Fotovoltaica no Brasil	24
1.5. Cadeia de Valor da Energia Solar	25
1.6. Objetivos	26
1.6.1. Objetivos Gerais	26
1.6.2. Objetivos Específicos	27
<b>2. Revisão Bibliográfica</b>	28
2.1. Geração Fotovoltaica Distribuída	28
2.2. Estudos de Casos de Aeroportos do Mundo	30
2.2.1. Aeroporto de Changi - Singapura	30
2.2.2. Aeroporto de Thunder Bay - Canadá	30
2.2.3. Aeroporto de Indianápolis - Estados Unidos	31
2.3. Estudos de Casos de Aeroportos do Brasil	32
2.3.1. Aeroporto de Congonhas - São Paulo	32
2.3.2. Aeroporto de Florianópolis - Santa Catarina	32
2.4. Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos de Geração Distribuída	33
2.4.1. Consumo	35
2.4.2. Clima	38
2.4.2.1. Coordenadas Geográficas	38
2.4.2.2. Temperatura Máxima	38
2.4.2.3. Radiação	40
2.4.3. Inclinação Ótima dos Painéis	41
2.4.4. Afastamento Entre os Painéis	42
2.4.5. Características dos Painéis	44
2.4.6. Características dos Inversores	46
2.4.7. Metodologia Financeira	48
2.4.8. Outras Considerações	49
2.4.8.1. Perdas na Distribuição	49
2.4.8.2. Reflexo do Sol nos Painéis	53
<b>3. Metodologia</b>	55
3.1. Escolha dos Aeroportos	55
3.2. Escolha dos Painéis	59
3.3. Escolha dos Inversores	61
3.4. Metodologia de evolução dos preços da eletricidade	62
3.4.1. Evolução do Preço da Tarifa Convencional	62
3.4.2. Evolução do Preço da Energia Elétrica Fotovoltaica	63
3.5. Modelo de Dimensionamento	64
<b>4. Resultados e Discussões</b>	65

4.1. Dados Para o Dimensionamento	65
4.1.1. Consumo de energia elétrica	65
4.1.2. Tarifa da energia elétrica	67
4.1.3. Características Geográfico-Climáticas	68
4.2. Resultados do Dimensionamento	69
4.2.1. Quantidade de Painéis	69
4.2.2. Quantidade de Inversores	69
4.2.3. Área Necessária	70
4.3. Resultados Financeiros	70
4.3.1. Investimentos Necessários	70
4.3.2. Tempo de Retorno	72
4.3.2.1. Análise Financeira - São José dos Campos	72
4.3.2.2. Análise Financeira - Campina Grande	76
4.3.2.3. Análise Financeira - Corumbá	80
4.3.2.4. Análise Financeira - Boa Vista	84
4.3.2.5. Análise Financeira - Joinville	88
4.3.2.6. Análise Financeira - Palmas	92
4.4. Análise da Atratividade	95
4.5. Mecanismos de Viabilização	97
<b>5. Conclusões</b>	<b>104</b>
<b>6. Referências Bibliográficas</b>	<b>105</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Situação da Matriz Elétrica Mundial

A evolução tecnológica, a escassez de alguns recursos naturais e o efeito danoso do uso de algumas das formas de energia que vêm ou vinham sendo utilizadas levaram a humanidade a buscar novas alternativas de suprir a demanda atual.

O aumento acelerado do consumo de energia elétrica em todo o mundo expôs a necessidade da diminuição da dependência de combustíveis fósseis, que têm abundância limitada e são poluidores. Nesse aspecto, buscam-se fontes renováveis e limpas de energia.

Energias renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis para os padrões humanos de utilização. Ao passo que fontes limpas, muitas vezes associadas de forma equivocada ao conceito de fontes renováveis, se referem a fontes de energia que, quando comparadas a combustíveis fósseis, praticamente não geram resíduos ou emissões de poluentes (Neto-Carvalho, 2012).

As fontes tradicionais de energia ainda constituem a base mundial da geração de eletricidade – como as grandes usinas hidroelétricas, termelétricas a carvão e petróleo e usinas nucleares. Entretanto, observa-se um aumento da presença de fontes alternativas de energia. Alguns exemplos são as pequenas centrais hidrelétricas, os geradores eólicos, os sistemas fotovoltaicos e o uso acoplado de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos.

Segundo a International Energy Agency (IEA, 2010), as fontes renováveis de energia, que em 1973 forneciam menos do que 0,6% da energia elétrica mundial, atingiram a marca de 3,7% em 2010. Apesar de ainda se tratar de uma participação modesta.

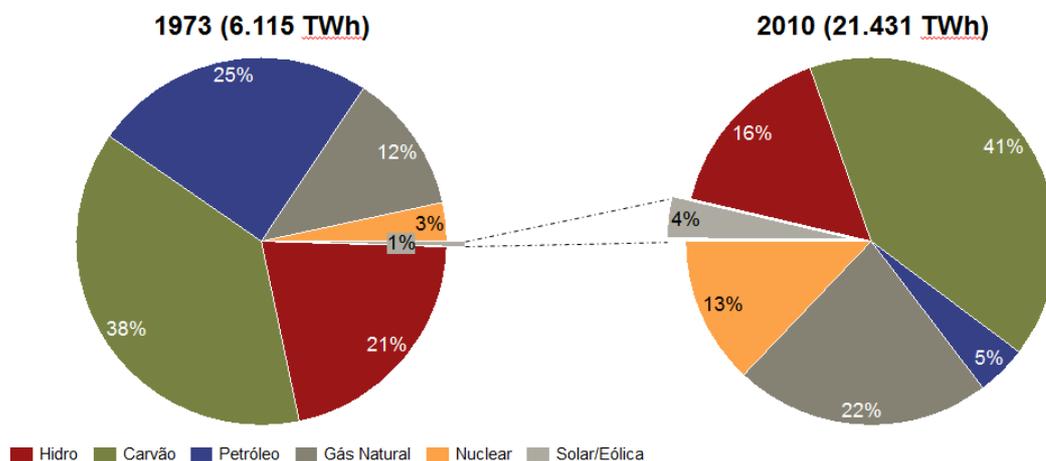


Figura 1: Matriz elétrica mundial (Adaptado de IEA, 2010)

Embora a presença dessas fontes alternativas ainda seja tímida, elas têm ocupado um espaço cada vez maior na matriz elétrica mundial e têm recebido importante espaço nas políticas públicas e nos investimentos privados. O principal motivo para isso é que, o ganho de escala tem reduzido os custos de implantação dessas fontes e, conseqüentemente, os custos da energia por ela gerada, tornando-a mais atrativa. A

Figura 2, elaborada pelo Energy Analysis Office (EAO, 2002) confirma essa tendência de redução do preço das energias renováveis.

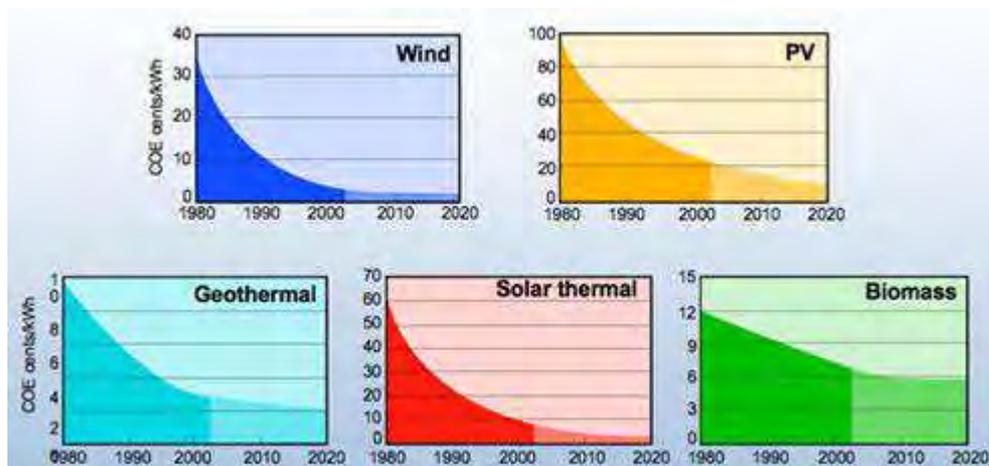


Figura 2: Preço das energias renováveis – Cents de Euro (Fonte: EAO, 2002)

Apesar do cenário de crescimento da influência das energias renováveis permitir certo otimismo em relação ao futuro, a análise do cenário ambiental atual revela a necessidade de inserir mais rapidamente esse tipo de energia no contexto global.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (PIMC, 2013), se a emissão de gases continuar no ritmo atual, a temperatura média do planeta se elevará entre 1,4 e 5,8°C e o nível dos oceanos se elevará entre 18 e 59 cm. Além disso, serão intensificadas as ocorrências de secas, inundações e outros desastres. Cabe ressaltar que o PIMC só divulga resultados que são consenso entre seus especialistas e têm probabilidade de ocorrência maior que 90% (noventa por cento).

Boa parte da emissão desses gases é oriunda da geração de queima de combustíveis fósseis para geração de energia. Analisando-se a Tabela 1, percebe-se que as fontes limpas de energia (solar e eólica, principalmente) emitem muito menos gases geradores de efeito estufa do que as fontes atuais.

Tabela 1: Emissão de CO<sub>2</sub> por tipo de tecnologia de geração de eletricidade (World Energy Council, 1993)

Tecnologias	Emissões de CO <sub>2</sub> (ton/GWh)			
	Extração	Construção	Operação	Total
Planta convencional de queima de carvão	1	1	962	964
Planta de queima de óleo combustível	0	0	726	726
Planta de queima de gás	0	0	484	484
Energia térmica dos oceanos	ND	4	300	304
Plantas geotérmicas	<1	1	56	57
Pequenas hidrelétricas	ND	10	ND	10
Reatores nucleares	2	1	5	8
Energia eólica	ND	7	ND	7
Solar fotovoltaico	ND	5	ND	5
Grandes hidrelétricas	ND	4	ND	4
<b>Solar térmico</b>	<b>ND</b>	<b>3</b>	<b>ND</b>	<b>3</b>
Lenha	-1509	3	1346	-160

Assim sendo, fica evidente a necessidade de redefinir a matriz elétrica global.

### 1.2. Situação da Matriz Elétrica Brasileira:

No Brasil, o cenário difere do cenário mundial como um todo. Mundialmente, como visto na Figura 1, além da influência das Hidroelétricas na geração de energia não chegar a 20% do total gerado, ela está diminuindo, ao passo que no Brasil essa fonte de energia é a mais representativa.

Em seu Plano Decenal de Expansão de Energia 2022, o Ministério de Minas e Energia divulgou o perfil da matriz elétrica brasileira no final de 2012. A distribuição da geração de energia é mostrada na Figura 3 abaixo, que evidencia a predominância absoluta das hidroelétricas na geração de energia para o país.

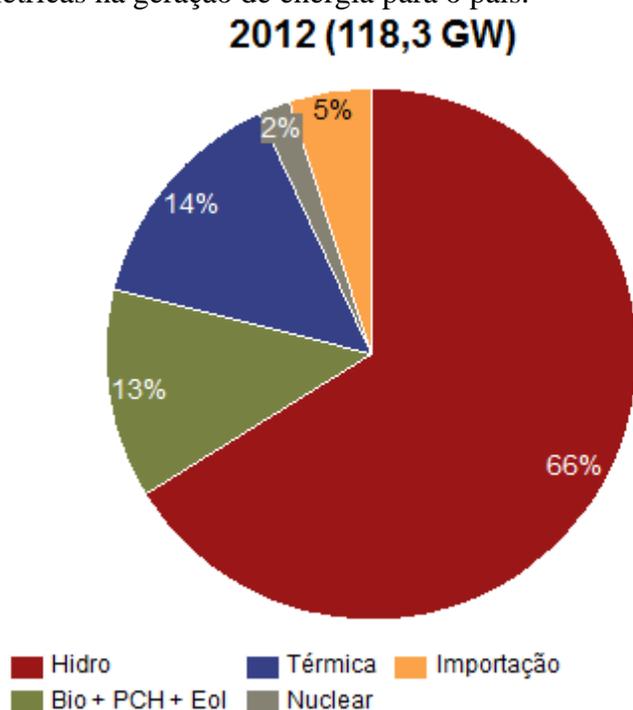


Figura 3: Matriz Elétrica Brasileira em 2012 (Fonte: PDE 2022)

Neto-Carvalho (2012) explicam que hidrelétrica é a fonte de energia renovável mais utilizada no mundo. Entretanto, pode-se questionar sua classificação como inesgotável, pois, ao contrário da luz do sol e da força dos ventos, a água dos rios tem sofrido forte interferência humana direta e indiretamente. A escassez de chuva, conforme previsto pelo PIMC, tem ocorrido com certa frequência. Dessa forma, diminui-se a confiabilidade nessa fonte de energia, de forma que se faz necessária a busca por fontes alternativas.

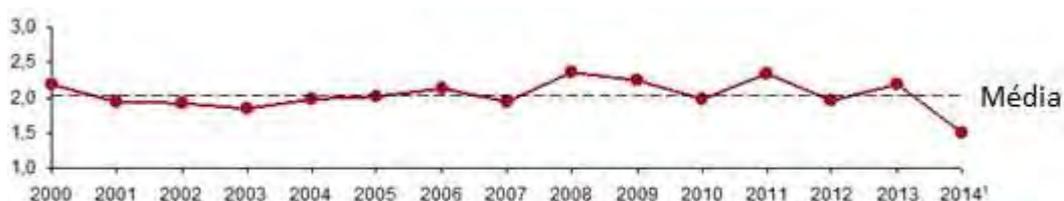


Figura 4: Índice de Chuva no Brasil -  $10^3$  mm/km<sup>2</sup> (Fonte: INMET, 2014)

Durante o ano de 2014, o sudeste brasileiro viveu uma crise energética causada pela escassez de chuva e o consequente baixo índice de água nos reservatórios (sobretudo o da Cantareira). Esse cenário torna ainda mais evidente a necessidade de um estudo que permita a mudança da atual matriz elétrica do país.

Como visto na Figura 3, 66% (sessenta e seis por cento) de toda a energia elétrica brasileira em 2012 foi oriunda de hidrelétricas, fonte altamente dependente de condições climáticas favoráveis (chuvas). Essa tendência “monotecnológica” do país é um entrave à eficiência do planejamento energético, haja vista a dependência que se cria do fator climático que, intrinsecamente, é provido de alto grau de incerteza. Ainda mais quando se levam em consideração as mudanças climáticas geradas pela intervenção humana na natureza.

Dado o alto volume dos rios nacionais e o alto potencial hidroelétrico deles, é justificável que as hidrelétricas sejam a principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil. No entanto, com o passar do tempo, deveriam ter sido previstas mudanças no perfil dessa matriz, buscando alternativas para diminuir a dependência de uma única fonte.

Outro fator que pesa contra o contínuo uso de hidrelétrica como fonte quase exclusiva de energia para o país é o grande impacto ambiental gerado por sua construção. Há uma grande necessidade de matéria prima envolvida, grandes áreas são inundadas, mudando de forma irreversível a natureza em seu entorno.

Esse cenário desafiador para as hidroelétricas nacionais traz à tona a necessidade da busca de fontes alternativas de energia. O alto potencial eólico e solar do Brasil faz dessas fontes opções claras para auxiliar as hidroelétricas na geração.

## 1.3. Energia Solar no Mundo:

### 1.3.1. Surgimento

O primeiro passo para a evolução da energia solar foi a descoberta do efeito fotovoltaico em 1839 pelo físico Alexandre Edmond Becquerel. Foi por acaso que o jovem francês percebeu, enquanto conduzia experimentos eletroquímicos, que a incidência de luz em eletrodos de platina dava origem à liberação de elétrons. Já em 1860, o francês Auguste Mouchout desenvolveu o primeiro gerador a base de energia solar.

Foi por acaso também que, em 1873, a primeira célula fotovoltaica foi construída por Willoughby Smith quando percebeu o efeito fotovoltaico ocorrendo em barras de selênio, fazendo variar substancialmente suas resistências.

Em 1877 Williams Adams e seu aluno Richard Day desenvolveram o primeiro dispositivo de fotoprodução de eletricidade, cuja eficiência era de apenas 0,5%. Foi baseado nesse dispositivo que em 1878 Charles Fritts duplicou a eficiência e construiu as primeiras células solares. Esses dispositivos encontraram utilidade pela primeira vez no final do século XIX quando o alemão Werner Siemens (fundador da Siemens) os comercializou para serem usados como fotômetros em máquinas fotográficas.

O primeiro equipamento de produção comercial a utilizar a luz do sol como fonte de energia foi um aquecedor de água patenteado, em 1891, pelo inventor norte americano Clarence Kemp. De forma resumida, seu equipamento, mostrado na Figura 5, consistia de uma caixa metálica de alta capacidade térmica que tinha a capacidade de captar e reter o calor vindo do sol com a finalidade de aquecer água.

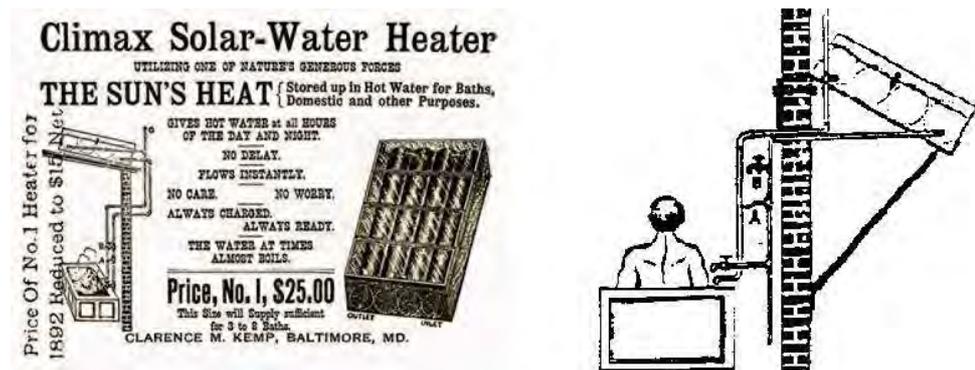


Figura 5: Primeiro equipamento comercial a usar a luz do sol como fonte de energia (Fonte: [www.sunnyhotwater.com](http://www.sunnyhotwater.com))

As primeiras células solares de silício foram inventadas por Russell Ohl, no entanto considera-se que o marco inicial da atual era da energia solar se deu em 1954, com Calvin Fuller, químico dos Bell Laboratories que desenvolveu o processo de dopagem do silício. A eficiência dessas células chegava a 6% quando produzidas por selênio dopado por boro.

### 1.3.2. Evolução

A expansão da energia solar fotovoltaica se deu de maneira acelerada puxada, sobretudo pela China e pela Europa. De forma a evoluir de 1.288 MW de capacidade instalada em 2000 para 138.856 MW em 2013 (EPIA, 2013). Esses números se traduzem em um crescimento médio de 43% ano-a-ano.

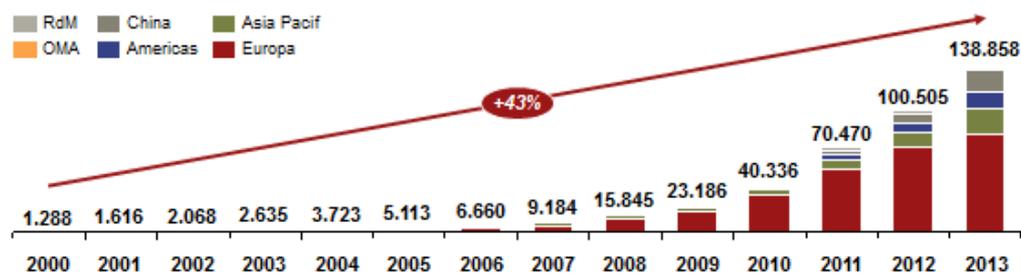


Figura 6: Evolução da Capacidade Instalada de Solar FV (Fonte: Adaptado de EPIA, 2013)

Muito acima da média anual, a Europa e a China cresceram a uma taxa de 64% e 70% nesse mesmo período, respectivamente. Com isso, a Europa chegou a uma participação de 59% do total da capacidade instalada de energia solar fotovoltaica e a China a 13%, conforme se vê na Figura 7.

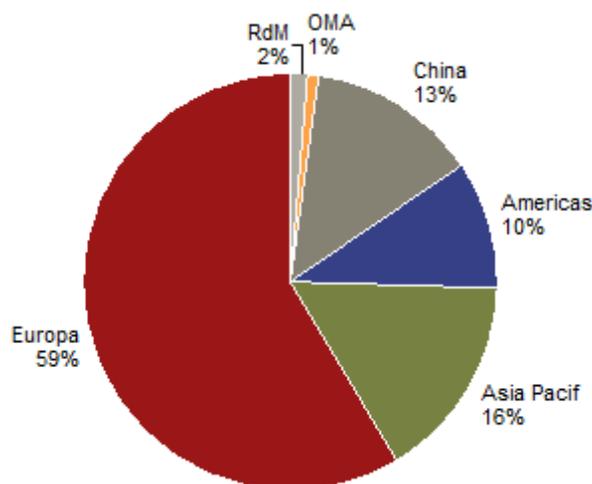


Figura 7: Participação na Capacidade Instalada de Solar FV (EPIA, elaboração própria)

O desenvolvimento agressivo da energia solar fotovoltaica na Europa se deve à atuação acima da média de alguns poucos países, com os líderes de governo alemães mostrando um comprometimento constante pelo desenvolvimento desse tipo de tecnologia. Após o boom da Espanha em 2008, a Alemanha sozinha já era a líder mundial em 2009. Após a crise de 2009, os investimentos diminuíram, mas o crescimento retornou em 2010 com a Itália e a República Checa somando aproximadamente 3,8 GW instalados naquele ano. Nos anos seguintes, a união entre a produção de conectores na Itália e de instalações na Alemanha levou a Europa a uma

expansão expressiva em 2011. Além da Itália e da Alemanha, somaram capacidade instalada ao crescimento europeu também, Reino Unido, Grécia, Bulgária e Bélgica (EPIA, 2013).

O desenvolvimento da energia solar fotovoltaica (FV) na Europa foi incomparável por uma década até 2013. Estados Unidos e Japão, que no início eram pioneiros nessa tecnologia, viram a Europa conseguir níveis de penetração muito acima dos seus. Além desses, chama a atenção a China que em poucos anos cresceu substancialmente sua participação no mercado, saindo de menos de 1% da capacidade instalada em 2008, para mais de 13% em 2013. Fora os países citados, a Austrália também merece menção pelos expressivos investimentos em energia solar. Os demais são inexpressivos em termos de participação no cenário mundial, apesar do grande potencial solar de alguns deles.

Em geral, o desenvolvimento da FV se deu devido à evolução econômica. Após ter atingido países da Europa e da América do Norte, além de Japão e Austrália, tem começado a alcançar países emergentes. A próxima onda de progresso deve ser liderada pelos países do BRIC, sobretudo a China e, possivelmente o Brasil. Já que para que se dê a evolução expressiva desse tipo de tecnologia, faz-se necessária a combinação entre atratividade de investimento e alto potencial solar. A figura X ilustra uma matriz que traz a combinação entre essas duas variáveis. O número nos retângulos representam a ordem de atratividade dos países em questão, sendo os países do retângulo 1 os mais atrativos e do retângulo 6 os menos.

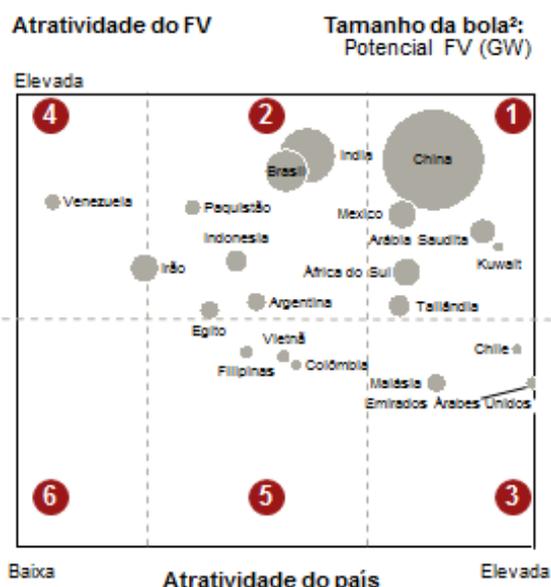


Figura 8: Atratividade para investimentos em de Solar FV (EPIA, elaboração própria)

#### 1.4. Energia Solar no Brasil

No Brasil, apesar do grande potencial solar, a energia fotovoltaica do Brasil representa apenas 0,01% da matriz elétrica nacional (PDE 2022), com uma capacidade instalada de 8MW. Essa capacidade instalada provém, sobretudo, de pequenos sistemas isolados ou autônomos em locais remotos no qual a rede elétrica não chega e seria economicamente inviável fazê-la chegar. Apesar de cumprirem seu papel de atender à população mais carente, a tendência é que, em breve, a capacidade instalada de energia solar FV esteja concentrada nos sistemas conectados à rede (Villalva e Gazoli, 2013).

O número de sistemas fotovoltaicos conectados à rede vem se tornando cada vez mais expressiva. Essa tendência deverá ser acentuada pela recente elaboração pela ANEEL da Resolução 482 (abril de 2012), marco regulatório que autoriza e rege a implementação de sistemas micro e minigeradores alimentados por fontes renováveis de energia. A resolução estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências (Aneel, 2012).

O Brasil apresenta níveis de insolação privilegiados, conferindo à energia solar uma continuidade e abrangência que nenhuma outra fonte de energia tem. Mesmo na região sul, região que sofre menores valores de radiação, esses índices são ao menos 40% superiores àqueles da região mais ensolarada da Alemanha, país líder na geração de energia FV.

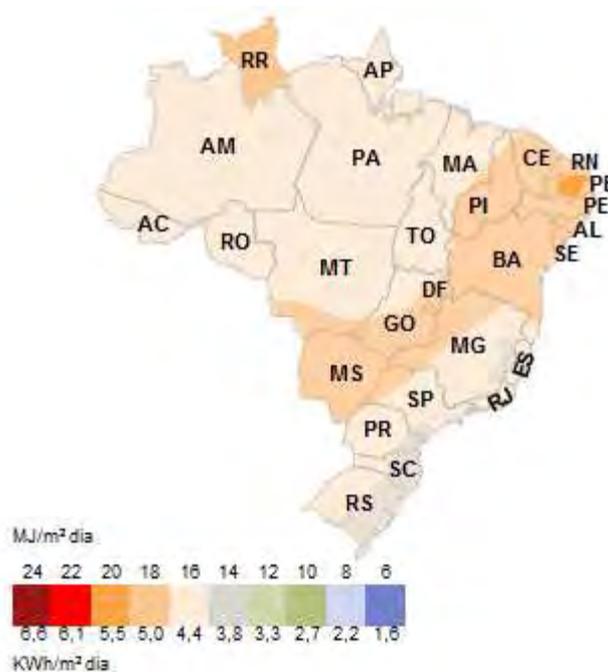


Figura 9: Níveis de irradiação no Brasil (Fonte: Aneel, elaboração própria)

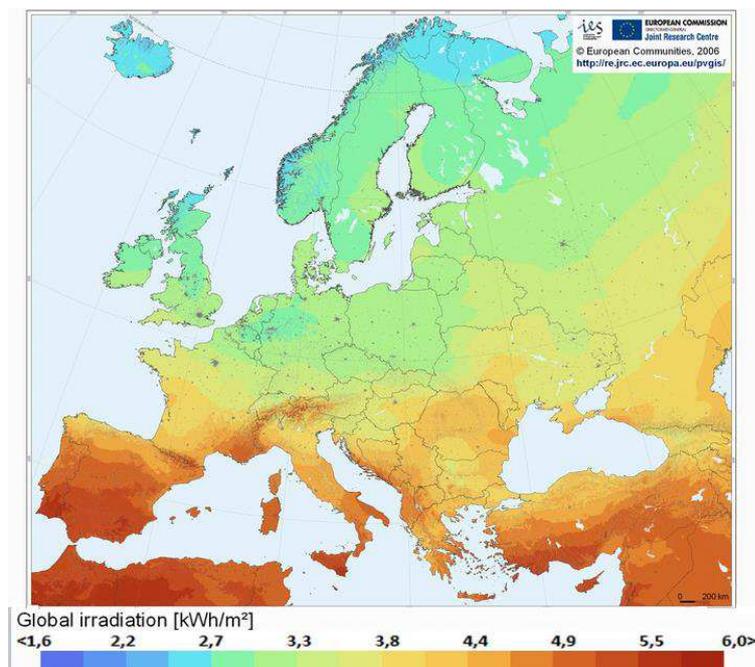


Figura 10: Níveis de irradiação na Europa

Villalva e Gazoli (2013) estimam que o Brasil tem potencial de geração fotovoltaica superior a 200 GW de eletricidade, ou seja, o dobro de toda energia elétrica produzida no país. Apesar disso, essa fonte de energia não foi contemplada por nenhum dos PDE até 2020. Alguns fatores contribuíram (e alguns ainda contribuem) para essa pequena participação dessa fonte de energia na matriz elétrica nacional:

- A falta de uma regulamentação e de normativas técnicas regendo esse setor
- Alto custo da eletricidade gerada com energia fotovoltaica se comparado à gerada com energia hidrelétrica
- A presença de um grande potencial hidrelétrico inexplorado no país
- Falta de incentivos governamentais (linhas de crédito ou subsídios) para potenciais investidores em energia fotovoltaica
- Questões de uso e ocupação de solos já discutidas

Apesar desse panorama não muito favorável até aqui, há motivos para otimismo em relação à evolução da energia fotovoltaica no Brasil.

Primeiramente, a elaboração da Resolução nº 482 estabeleceu que cada pessoa, ou empresa poderia instalar painéis fotovoltaicos em sua propriedade de forma a suprir parcialmente ou integralmente sua demanda por eletricidade, podendo alimentar a rede com o excedente de energia gerado.

### 1.5. A Cadeia de Valor da Energia Solar:

A cadeia de valor da energia solar começa na extração do silício e vai até os sistemas de painéis, responsáveis pela geração.

Dióxido de silício (SiO<sub>2</sub>) é o segundo elemento mais comum na Terra, o que gera oferta praticamente infinita de matéria-prima para fabricar as células nos painéis solares. As células mais comuns encontradas no mercado atualmente são a do silício monocristalizado, a do silício policristalino e a do filme fino de silício.

No Brasil, a extração do silício é feita a partir do mineral quartzo. O Brasil é um dos maiores produtores mundiais desse minério, mas a purificação do silício não é feita no país, assim como a fabricação de células (Villalva-Gazoli, 2013)

Após a extração do silício, realiza-se o processo de cristalização do mineral (seja mono, seja policristalino). Em seguida, o silicone cristalizado é moldado em um formato retangular e cortado em fatias finíssimas denominadas wafers.

Os wafers são então submetidos a processos químicos nos quais recebem impurezas, formando as camadas de silício P e N e, em seguida, uma película metálica é instalada em uma de suas faces e duas barras metálicas na outra. Feito isso, tem-se já as chamadas células fotovoltaicas de silício. Essas células são as responsáveis pela geração de energia nos painéis.

Por fim, as células são testadas e classificadas de acordo com suas características de geração. As células de características semelhantes são, então, agrupadas e revestidas com vidro, uma capa exterior e um quadro, criando um painel solar.

O sistema de painéis, além dos painéis, é composto pelos inversores e pela estrutura de suporte. O inversor é o responsável por converter a corrente contínua (CC) gerada pelos painéis, em corrente alternada, que circula nas redes elétricas.

A Figura 11 expõe de maneira esquemática como funciona a cadeia de valor da energia solar.

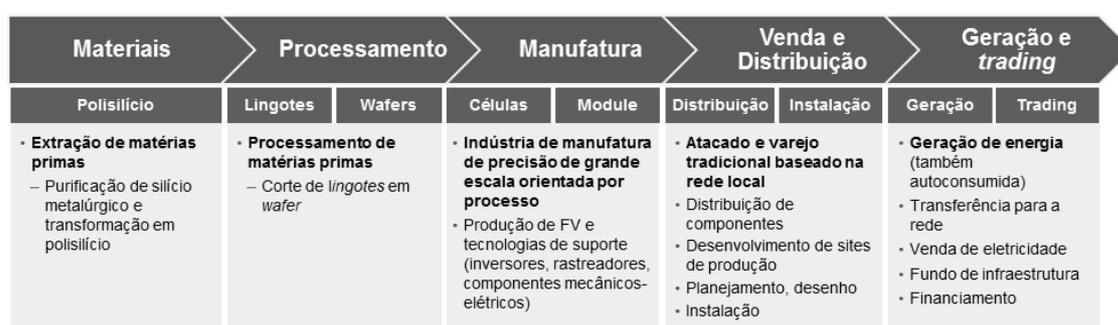


Figura 11: Cadeia de valor da energia solar

## 1.6. Objetivos

### 1.6.1. Objetivos Gerais

O setor de energia no Brasil está se recuperando do impacto negativo de vários acontecimentos: a recorrência de temporadas anormalmente secas, o que resultou na

menor disponibilidade de energia hidrelétrica (mais barata); perdas de rentabilidade para as empresas de geração e distribuição de energia, devido aos custos de geração mais elevados e redução das tarifas forçadas pelo governo às vésperas das eleições municipais em 2012; o descompasso entre a demanda e a potência contratada, causando um rombo de 3 GW que foi coberto pelas companhias de distribuição por meio de compras no mercado spot. De acordo com especialistas do setor, em 2015 os consumidores brasileiros terão de arcar com uma quantia adicional de R\$ 45-52 bilhões para que se contenha a hemorragia no setor (Gomes, 2014).

Esse potencial aumento tarifário representa um possível cenário favorável à implantação de energia solar fotovoltaica no Brasil.

Nesse cenário, possivelmente favorável à energia fotovoltaica, esse trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade de gerar esse tipo de energia em aeroportos regionais no Brasil.

Especialmente em climas quentes, uma fração considerável da eletricidade demandada em prédios comerciais se deve ao uso intensivo de sistema de ar-condicionado. Aeroportos em regiões quentes e ensolaradas apresentam a combinação perfeita entre demanda de energia e recursos solares disponíveis. Aeroportos são também espaçosos e horizontais, isolados e livres de sombras e têm um grande potencial de integração de sistemas solares fotovoltaicos (Rüther-Braun, 2009).

Além da ausência de sombreamento e da disponibilidade de áreas, aeroportos regionais possuem, também, uma demanda de eletricidade que justifica o uso de um sistema fotovoltaico, por não ser tão elevada, o que requisitaria um espaço muito amplo e por não ser tão baixa, o que justifica uma busca por melhorias na geração.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

Busca-se aqui o entendimento da evolução da tarifa elétrica no Brasil, para que seja possível a análise da viabilidade e da atratividade do uso de energia fotovoltaica nos aeroportos regionais do país.

Visa-se, também, discorrer sobre possíveis medidas a serem tomadas pelo o governo de forma a facilitar a viabilização de energias renováveis no Brasil. Para tanto, busca-se aqui uma comparação com casos de países que obtiveram sucesso nesse quesito.

Por fim, aspira-se à extrapolação dos resultados de forma que as conclusões valham, também, para outros aeroportos.

## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. Geração fotovoltaica distribuída

Como dito anteriormente, o presente estudo busca analisar o uso de energia fotovoltaica para geração de energia elétrica, já que além de fazer uso de fonte limpa e renovável.

Há duas possíveis formas de produção de energia fotovoltaica: através de usinas e de geração distribuída (GD). As usinas produzem uma grande quantidade de energia que é transportada até os consumidores finais através de linhas elétricas de alta tensão, ao passo que a geração distribuída se dá no local do consumo, ou muito próximo a ele. Dada a disponibilidade de área dos aeroportos para construção de um sistema fotovoltaico que supra sua demanda, é viável a utilização da geração distribuída nas construções estudadas nesse estudo.

Assim sendo, foca-se na geração distribuída de energia, mais especificamente, na solar fotovoltaica. A escolha se baseia na série de vantagens que esse sistema tem sobre a convencional geração concentrada. Listam-se abaixo algumas das vantagens consideradas:

a) Vantagens para a sociedade:

- Qualidade e confiabilidade superiores do abastecimento, já que seu sistema elétrico não aceita variações de frequência e/ou tensão;
- Aumento da confiabilidade do suprimento aos consumidores próximos à geração local, por ser menos sujeita a falhas de transmissão e distribuição;
- A eletricidade gerada pela GD tem menor custo para o consumidor;
- Contribuição para o aumento do mix da geração, diminuindo a dependência das hidrelétricas levando a uma maior segurança do suprimento energético;
- Geração de empregos e estabilidade na produção pela indústria nacional gerando desenvolvimento econômico;

b) Vantagens para o meio ambiente:

- Redução das emissões de gases geradores do efeito estufa e, conseqüentemente, das mudanças climáticas por eles geradas;
- Minimização dos impactos ambientais, pela redução das necessidades de grandes instalações de geração de cargas e extensas linhas de transmissão;
- Aumento da participação de fontes renováveis na matriz elétrica do país;
- Diminuição do desmatamento;
- Melhoria da eficiência energética, devido à menor dissipação de energia;

c) Vantagens para o setor elétrico:

- A GD é economicamente atraente na medida em que reduz os custos, adia investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão, além de reduzir perdas nas linhas de transmissão e distribuição, perdas reativas de potência e estabilidade na tensão elétrica. (HOFF et al., apud OLADE, 2011)
- A diversidade de investimentos privados gerados pela GD, tende a ampliar o número de agentes geradores e participantes do setor elétrico, distribuídos regionalmente (COGEN, 2013);
- Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda (ou à demanda reprimida) por ter um tempo de implantação inferior ao de acréscimos à geração centralizada e reforços das respectivas redes de transmissão e distribuição;
- Diminuição da dependência do parque gerador despachado centralizadamente, mantendo reservas próximas aos centros de carga (COGEN, 2013);
- Agilização no atendimento ao crescimento da demanda, inserindo menor prazo e menor complexidade no licenciamento e na liberação para implantação dos projetos (COGEN, 2013);
- Aumento da estabilidade do sistema elétrico, pela existência de reservas de geração distribuída (INEE, 2001);
- Redução das perdas na transmissão e dos respectivos custos, e adiamento no investimento para reforçar o sistema de transmissão (INEE, 2001);
- O uso de unidades de menor capacidade propicia o equilíbrio na busca de melhores taxas variáveis de crescimento de demanda, contribuindo na redução de risco associados a erros de planejamento e oscilações de preços ao sistema elétrico. (WALTER et al., apud OLADE, 2011);
- Contribuição para a abertura do mercado energético, com a criação de regulamentação jurídica própria, que podem representar uma grande oportunidade comercial.

Assim sendo, considerando-se todos os potenciais ganhos da GD, considera-se que vale a pena aprofundar-se nas tecnologias disponíveis no mercado para a geração solar fotovoltaica distribuída. Uma vez feita a análise dessas tecnologias, objetiva-se avaliar a viabilidade técnica, econômica e climática de implantação e difusão dessas tecnologias nos aeroportos do Brasil.

## **2.2. Estudo de Casos em Aeroportos do Mundo**

### **2.2.1. Aeroporto de Changi – Singapura**

O aeroporto de Changi, considerado o melhor aeroporto do mundo, instalou recentemente um sistema fotovoltaico capaz de gerar 250 kWp. O sistema foi instalado no topo de um de seus terminais (Budget Terminal – BT) e faz parte do

programa de mudanças no aeroporto que visam à mitigação das mudanças climáticas e tornar o aeroporto mais sustentável.

O sistema foi parcialmente financiado pelo governo de Singapura através de seu programa “*Clean Energy Research and Test-bedding*” (CERT) – do inglês, Pesquisa e Ensaio de Energias Limpas.

A implementação, gerou para o aeroporto uma redução na conta de energia de, pelo menos, 320.000 kWh anual.

No Changi, foram utilizados painéis com módulos de filme fino de silício com potência pico (Pp) de 127 kWp e, também, painéis com módulos policristalinos de 123 kWp. Os painéis ocuparam um total de 2500 m<sup>2</sup> de área.

Uma outra inovação do aeroporto em relação à conscientização a favor de fontes renováveis de energia é o uso de um painel exposto ao público, no qual são anunciados os resultados do uso do sistema fotovoltaico no aeroporto, tal como a energia gerada e a emissão de CO<sub>2</sub> evitada.

Na Tabela 2, são expostas algumas características do sistema implantado.

Tabela 2: Dados do Sistema Solar do Aeroporto Changi

Dados Técnicos	Valor
Potência Nominal do Sistema	0,25 MWp
Geração Anual de Energia	~320 MWh
Emissão de CO <sub>2</sub> Evitada	~160 ton
Tipo de Construção	Estruturas de alumínio sobre o telhado
Ângulo de Inclinação	3°

O sistema (módulos e inversor) utilizado em Changi será, também, testado nos aeroportos do escopo desse estudo.

### 2.2.2. Aeroporto de Thunder Bay – Canadá

Em dezembro de 2011 foi conectado pela primeira vez à rede o sistema de energia fotovoltaica do aeroporto de Thunder Bay no estado de Ontario, Canadá. O projeto foi concebido durante a campanha “*Shine Ontario*” promovido pelas empresas Canadian Solar e SkyPower em prol da divulgação dos benefícios da energia verde.

Trata-se de um conjunto de 36.660 módulos de alto desempenho. A energia gerada por esse sistema seria capaz de suprir a demanda de 15.000 lares durante seu tempo de vida útil (maior que 20 anos).

Com isso, o projeto evita uma emissão de aproximadamente 5.061 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano.



Figura 12: Sistema fotovoltaico do aeroporto de Thunder Bay – Canadá

Sistemas compostos por módulos e inversores iguais ao desse aeroporto serão também dimensionados para os cinco aeroportos brasileiros estudados.

Tabela 3: Dados do Sistema Solar do Aeroporto de Thunder Bay

Dados Técnicos	Valor
Potência Nominal do Sistema	8,5 MWp
Geração Anual de Energia	7.439 MWh
Emissão de CO2 Evitada	~ 5.061
Tipo de Construção	Estruturas de alumínio sobre o solo

### 2.2.3. Aeroporto de Indianápolis – Estados Unidos



Figura 13: Aeroporto internacional de Indianápolis

O sistema fotovoltaico de 12,5 MW de capacidade instalada é o maior em um aeroporto da América do Norte e é fruto de um investimento na ordem de US\$ 40 milhões. Ele é formado por 41.000 painéis solares e começou a operar no final de 2013 e a expectativa é que sejam gerados mais de 15.000 MWh anualmente.

Os painéis ocupam uma área de mais de 300.000 m<sup>2</sup> que estava previamente inutilizada.

O uso de energia solar pelo aeroporto acarretará em uma redução de 10.700 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano (o equivalente a retirar 2.000 carros de circulação).

No final de Outubro de 2014, a administradora do aeroporto anunciou mais investimentos que farão com que o sistema solar do aeroporto quase dobre sua capacidade de fornecimento e, conseqüentemente, a área ocupada. Serão 76.000 painéis que ocuparão uma área de 610.000 m<sup>2</sup>

Tabela 4: Dados do Sistema Solar do Aeroporto de Indianópolis

Dados Técnicos	Valor
Potência Nominal do Sistema	12,5 MWp
Geração Anual de Energia	15.000 MWh
Emissão de CO <sub>2</sub> Evitada	~ 10.700 ton
Tipo de Construção	Estruturas de alumínio sobre o solo

### 2.3. Estudo de Casos em Aeroportos do Brasil:

#### 2.3.1. Aeroporto de Congonhas – São Paulo

O uso de energia solar no Brasil, tanto em aeroportos quanto fora deles, o uso de energia solar ainda é muito incipiente no país.

Em 2012, o aeroporto de Congonhas deu um passo, ainda que discreto, em direção ao suprimento de sua demanda elétrica de maneira mais sustentável. Começou a operar no aeroporto em outubro daquele ano um sistema fotovoltaico designado a suprir parcialmente a demanda por energia elétrica terminal de passageiros de aviação geral, o prédio de bombeiros, a oficina de manutenção da Infraero, além de iluminar dois pátios gerais, guaritas e câmeras de vigilância.

No entanto, os pouco mais de 250 kWh gerados por mês, são capazes de suprir, apenas, 20% da eletricidade dos prédios aos quais atende.

#### 2.3.2. Aeroporto de Florianópolis – Santa Catarina

O aeroporto no Brasil com mais estudos desenvolvidos a respeito do impacto de uma possível instalação de painéis solares é o aeroporto de Florianópolis – SC.

Foi constatado que a integração de sistemas fotovoltaicos a aeroportos em climas quentes podem suprir integralmente a demanda por energia elétrica de todo o complexo aeroportuária (Rüther-Braun, 2009).

No entanto, essa conclusão se dá em âmbito meramente técnico, desconsiderando-se questões as econômico-financeiras que guiam o presente estudo.

Levando-se em conta as questões financeiras, pode-se constatar que a viabilidade da implantação de painéis solares no aeroporto de Florianópolis só se daria mediante incentivos do governo, em termos de redução dos impostos e criação de métodos de incentivo à produção de painéis FV. Além de estímulos por parte das concessionárias de energia elétrica, através da criação de tarifa prêmio para o kWh foto-gerado. Além disso, essa viabilidade só se daria com a equiparação do preço dos painéis solares no Brasil com os praticados no exterior (EUA, China e Alemanha, sobretudo) e, também, mediante a mudança da política tarifária praticadas para a energia solar, através da adoção do modelo “*feed-in-tariff*” (praticado na Alemanha), ou do “*net-metering*” (praticado no Japão e nos EUA). A depender das premissas de custo e política tarifária estudada, o tempo de retorno do investimento variou de 17 a 23 anos (Rüther-Vieira, 2010).

Ou seja, a partir de estudos que desenvolvidos no aeroporto mais avançado no tema no país, há razões para se acreditar que a viabilidade possa a vir ocorrer num futuro próximo, desde que ocorram progressos, sobretudo, na legislação que atualmente rege a tarifação elétrica no país.

#### **2.4. Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos de geração distribuída**

O método de dimensionamento aqui utilizado busca responder quatro questionamentos principais:

- 1) Quantos painéis são necessários?
- 2) Quantos inversores são necessários?
- 3) Qual a área que o sistema fotovoltaico ocuparia?
- 4) Qual o investimento necessário?

Para respondê-las, utiliza-se um método de dimensionamento tradicional no mercado de painéis solares embasado em conceitos científico-acadêmicos, conforme descritos por Villalva e Gazoli (2013).

O dimensionamento segue sete blocos de estudo principais, a saber: Consumo dos aeroportos, localização, dados de temperatura, índices de radiação, característica dos painéis solares, características dos inversores, posicionamento solar para cálculo do espaçamento entre os painéis.

A metodologia será mais bem explicada no capítulo que lhe é designada, mas de forma resumida, o passo-a-passo do dimensionamento se constitui da seguinte maneira:

- **Consumo dos Aeroportos:** Média do consumo mensal nos últimos 12 meses, tarifa paga, custo de disponibilidade (energia mínima cobrada pelas distribuidoras independentemente ocorrer ou não seu consumo);
- **Localização dos Aeroportos:** A latitude e a longitude na qual se situa cada um dos aeroportos se faz necessária para o levantamento de diversas variáveis a serem utilizadas no dimensionamento, tais como os dados históricos de temperatura, os níveis de radiação e a altura e a inclinação solar;

- **Temperaturas:** Diversos dados são necessários para se avaliar o efeito da perda de rendimento no painel devido ao aumento da temperatura do mesmo. Para tanto se busca os dados históricos de temperatura máxima no local no qual se situa o aeroporto a partir de bancos de dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Avalia-se também a chamada temperatura de referência (temperatura ambiente), além da influência do método de fixação escolhido para os painéis em suas temperaturas;
- **Radiação Solar:** A partir de séries históricas do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito), obtém-se a média histórica da radiação que incide sobre o local no qual os painéis serão supostamente instalados. Como os dados do Centro de Referência correspondem à incidência sobre superfícies horizontais (e os painéis estariam inclinados), faz-se necessário também o cálculo do ângulo ótimo de inclinação e a radiação que incide sobre essa superfície inclinada. Que será uma radiação maior do que a que incide sobre a superfície horizontal;
- **Dados do Painel:** As especificações técnicas dos painéis que são necessárias para o dimensionamento incluem potência de pico, tensão em circuito aberto, tensão em máxima potência, corrente de curto circuito e eficiência dos painéis. Bem como os coeficientes de temperatura, que avaliam como cada uma das variáveis anteriormente citadas varia com a temperatura. Além disso, avalia-se também a geometria dos módulos para se avaliar a área que o sistema ocupará;
- **Dados do Inversor:** As especificações técnicas dos inversores que são necessárias para o dimensionamento incluem eficiência média, potência de saída, potência de entrada, tensão máxima de entrada, tensão mínima de entrada e corrente máxima de entrada.  
Dos dados do inversor, pode-se concluir a disposição dos painéis em termos de número de strings em paralelo e número de painéis por string. E assim, concluir quantos inversores serão necessários para o sistema;
- **Posicionamento solar para cálculo do espaçamento entre os painéis:** A partir do dia de maior sombra, que é o dia em que o sol está mais baixo em relação à Terra, que para o hemisfério sul trata-se do solstício de inverno (21 de junho). Através dos conceitos de altura solar, ângulo solar e da latitude do local no qual se encontra o aeroporto, além, claro, das dimensões e da inclinação do painel, se torna possível calcular a sombra

máxima que esse painel projeta e, portanto, a distância mínima entre painéis de forma a garantir que um não cause sombra sobre o seu adjacente.

- **Estimativa das áreas iniciais e definitivas:** A partir das características geométricas dos painéis e do afastamento calculado entre eles, obtém-se a área necessária para implantação do sistema fotovoltaico dimensionado.

#### 2.4.1. Consumo

O primeiro passo para o correto dimensionamento dos painéis solares é a correta avaliação do consumo de energia elétrica nos aeroportos estudados. Para tanto, contou-se com a colaboração da Infraero (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária). A administradora dos aeroportos disponibilizou para o estudo os dados necessários para a realização dos cálculos de dimensionamento.

Primeiramente, foram obtidos os valores de consumo nos 12 meses que antecederam o estudo. Esse período se refere ao intervalo entre outubro de 2013 e setembro de 2014.

A partir desses valores de consumo calculou-se a média anual de consumo mensal, que se obtém a partir da média aritmética do consumo dos meses anteriores. Esse valor de consumo, em nível de estudo, foi considerado como o consumo referente ao ano de 2014.

No entanto, para que o estudo abrangesse todo o tempo de vida útil dos painéis - aqui considerado 25 anos (Rüther-Vieira, 2010) - fez-se necessária a avaliação da evolução do consumo ao longo do horizonte de projeto.

Para se estimar a evolução desse consumo, verificou-se a correlação entre o consumo elétrico e a movimentação de passageiros nos aeroportos estudados. Tendo-se verificado uma correlação aceitável entre as duas variáveis, supôs-se que no médio prazo, a evolução do consumo se dará em linha com a evolução do número de passageiros nesses aeroportos, informação obtida a partir de estudos do setor aéreo no país. Porém, para o longo prazo, impôs-se um teto para essa evolução, dada a limitação físico-operacional do aeroporto de expandir suas atividades (Moreira-Udaeta, 2005).

Assim obteve-se uma projeção para o perfil de consumo elétrico dos aeroportos até 2050. De posse desses valores, fez-se necessária a escolha de qual seria o valor escolhido para o dimensionamento. Podia-se escolher um valor futuro, de forma a garantir que os aeroportos teriam geração quase integralmente fotovoltaica para os anos vindouros. No entanto, optou-se pelo dimensionamento a partir do consumo do ano de implantação dos painéis. A razão dessa escolha se deve método de tarifação adotado no Brasil para energia fotovoltaica ligada na rede.

Há três métodos no mundo:

- **Feed-in tariff:** Nesse método de tarifação, a concessionária da rede compra a energia gerada por um particular a um valor fixo. Países que adotam esse tipo de sistema tarifário se utilizam de incentivos governamentais (subsídios) para que o preço de venda da energia fotovoltaica produzida seja maior do que o consumidor para pela energia fornecida na rede convencional. Esse é o método adotado na Alemanha e é o grande

responsável pelo alto grau de penetração dessa fonte de energia na matriz elétrica do país.

- Time of use metering: Nesse método de geração, o preço da energia difere de acordo com o horário de geração, sendo mais cara nos horários de pico. Essa regra de tarifação é prejudicial à energia solar, pois ela só é capaz de produzir durante o dia e, portanto, fora do horário de pico (à noite).
- Net metering: Nesse processo, são acumulados “créditos energéticos” que são descontados da conta no final do mês. É possível zerar a conta (a menos do custo de disponibilidade). Esses créditos não são diferenciáveis a partir do horário de uso, ou seja, a injeção de uma unidade de energia em qualquer horário, dá ao consumidor-gerador a possibilidade de uso de uma unidade de energia em qualquer outro horário.

No caso do Brasil, há uma espécie de misto de modelo tarifário entre o “Net metering” e o “Time of use metering”.

De acordo com a resolução da ANEEL – N° 482 de 17 de Abril de 2012 (que é a resolução que rege a mini e micro geração no país) Capítulo III, o consumidor poderá aderir ao sistema de compensação de energia elétrica seguindo alguns procedimentos dentro da resolução.

- I.** Deverá ser cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso.
- II.** O consumo a ser faturado, referente à energia elétrica ativa, é a diferença entre a energia consumida e a injetada, por posto horário, quando for o caso, devendo a distribuidora utilizar o excedente que não tenha sido compensado no ciclo de faturamento corrente para abater o consumo medido em meses subsequentes.
- III.** Caso a energia ativa injetada em um determinado posto horário seja superior à energia ativa consumida, a diferença deverá ser utilizada, preferencialmente, para compensação em outros postos horários dentro do mesmo ciclo de faturamento, devendo, ainda, ser observada a relação entre os valores das tarifas de energia, se houver.
- IV.** Os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades

consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.

- V. O consumidor deverá definir a ordem de prioridade das unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica.
- VI. Os créditos de energia ativa gerada por meio do sistema de compensação de energia elétrica expirarão 36 (trinta e seis) meses após a data do faturamento, não fazendo jus o consumidor a qualquer forma de compensação após o seu vencimento, e serão revertidos em prol da modicidade tarifária.
- VII. A fatura deverá conter a informação de eventual saldo positivo de energia ativa para o ciclo subsequente, em quilowatt-hora (kWh), por posto horário, quando for o caso, e também o total de créditos que expirarão no próximo ciclo.
- VIII. Os montantes líquidos apurados no sistema de compensação de energia serão considerados no cálculo da sobre contratação de energia para efeitos tarifários, sem reflexos na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, devendo ser registrados contabilmente, pela distribuidora, conforme disposto no Manual de Contabilidade do Serviço Público de Energia Elétrica.

Dessa forma, fica evidente o porquê da escolha de se dimensionar os painéis para atender ao consumo do ano de instalação, pois se o dimensionamento se desse para anos futuros, a sobregeração dos anos iniciais não seriam convertidas em benefício para o aeroporto.

Após essa meticolosa análise do consumo dos aeroportos, obteve-se também o custo de disponibilidade do sistema no qual cada um dos aeroportos estudados está inserido. Custo de disponibilidade é, conforme o art. 98 da Resolução 414/2011 da ANEEL, o valor mínimo faturável, aplicável ao faturamento de unidades consumidoras do Grupo “B”, de acordo com os limites fixados por tipo de ligação:

- monofásica: valor em moeda corrente equivalente a 30 kWh;
- bifásica: valor em moeda corrente equivalente a 50 kWh;
- trifásica: valor em moeda corrente equivalente a 100 kWh.

Os valores mínimos serão aplicados sempre que o consumo medido ou estimado (médio) for inferior aos citados acima (Celesc).

Por fim, obteve-se também dos dados cedidos pela Infraero o valor de tarifa paga pelos aeroportos. Esse valor não se faz necessário para o dimensionamento, mas é crucial para permitir a análise da viabilidade econômica do empreendimento. Apesar de se ter recebido os valores de tarifa para os últimos 12 meses, também, a tarifa utilizada foi a mais recente (Set/14).

## **2.4.2. Clima**

### **2.4.2.1. Coordenadas Geográficas:**

Como era de se imaginar, os fatores climáticos desenvolvem um papel fundamental para o dimensionamento do sistema solar a ser utilizado.

Para que se chegasse essas informações, teve-se, primeiramente, que se obter a localização dos aeroportos, ou seja, a sua latitude e longitude.

Para tanto, faz-se uso do Google Maps®, repetindo-se o procedimento mostrado na Figura 14, para todos os aeroportos no escopo do estudo.



Figura 14: Coordenadas geográficas do aeroporto de São José dos Campos

#### 2.4.2.2. Temperatura Máxima:

Para as informações de temperatura máxima, faz-se uso das normais climatológicas do Brasil disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET (Guzzo-Aragão Filho, 2008).

### Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 Temperatura máxima (°C)

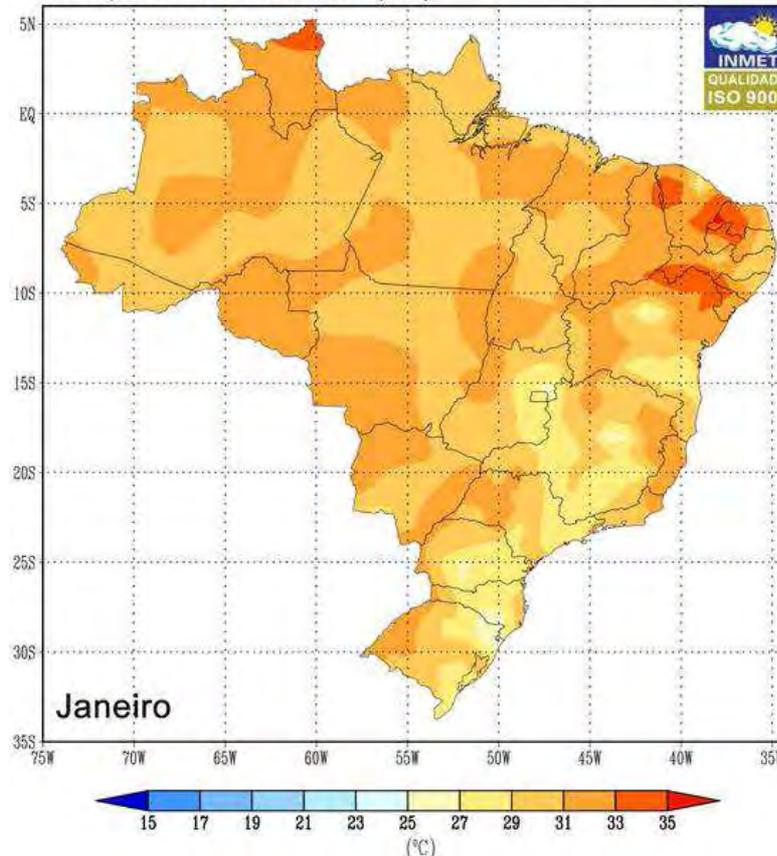


Figura 15: Temperaturas máximas (média entre 1961 e 1990) no Brasil (Fonte: INMET)

Para maior precisão, utilizaram-se as planilhas com as máximas registradas (também disponibilizadas pelo INMET) ao invés das imagens. Para as cidades de São José dos Campos, Campina Grande, Corumbá e Boa Vista, que têm estações meteorológicas, foram utilizados os valores registrados para a própria cidade, ao passo que para Joinville e Palmas, que não dispõem de estações, utilizaram-se dados das estações mais próximas, que são São Francisco do Sul e Porto Nacional, respectivamente.

A análise da temperatura se faz importante, pois os dados dos painéis são fornecidos aos consumidores para uma determinada temperatura de referência (em geral 25 °C). No entanto, os valores nominais das características elétricas do painel variam com a variação da sua temperatura.

O que ocorre é que os materiais usados na fabricação das células fotovoltaicas (desde os cristais até semicondutores) são sensíveis à temperatura. Quando a temperatura aumenta, a corrente de curto-circuito aumenta e a tensão em circuito aberto diminui (Cardador-Costa Branco et al., 2011)

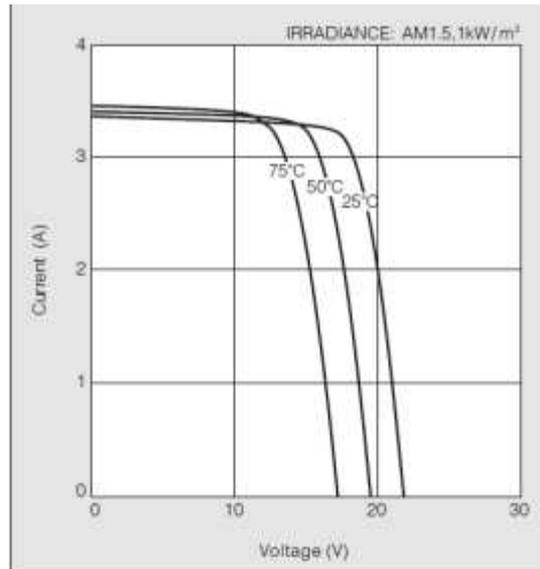


Figura 16: Característica V-I a radiação constante para diferentes temperaturas (Fonte: Cardador-Costa Branco et al., 2011)

Outra informação que se faz relevante para que se chegue à temperatura do painel, para que suas características sejam corrigidas, é o aumento da temperatura do painel em função do tipo de fixação a qual o painel é submetido. Para isso, são definidos quatro tipos de fixação, com uma temperatura referente a cada um desses grupos (SMA-America).

Tabela 5: Acréscimo de temperatura em relação à fixação (SMA-America)

Tipo de Fixação	$\Delta T$ (°C)
Estrutura Totalmente Elevada	+22
Instalação sobre telhado com amplo espaço	+28
Sobre/Integrado ao telhado com boa ventilação	+29
Sobre/Integrado ao telhado com má ventilação	+32

Por fim, a temperatura utilizada para corrigir as características nominais dos painéis é dada por:

$$T = T_{m\acute{a}xima\ local} + T_{Tipo\ fixa\c{c}\tilde{a}o} - T_{Refer\ência}$$

#### 2.4.2.3. Radiação Solar:

Para que se obtenham os níveis de radiação nos locais de implantação dos painéis, faz-se uso do banco de dados do CRESESB. Para tanto, basta se dispor das coordenadas geográficas dos aeroportos, obtidas conforme descrito acima. A partir disso, o próprio sistema do Centro de Referência localiza a estação de medição mais próxima do aeroporto e fornece os valores de irradiação solar diária média de cada mês (kWh/m<sup>2</sup>.dia).

Latitude: 7,206053° S  
Longitude: 35,882338° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m <sup>2</sup> .dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Campina Grande	Campina Grande	PB	BRA	7,2°S	35,895555°O	1,6	5,47	5,39	5,31	4,83	4,42	3,86	3,83	5,08	5,22	5,89	6,08	5,69	5,09	2,25
<input type="checkbox"/>	Surubim	Surubim	PE	BRA	7,8°S	35,757222°O	67,5	5,72	5,53	5,50	4,89	4,81	4,17	4,33	5,33	5,31	6,03	6,22	6,08	5,33	2,05
<input type="checkbox"/>	Nazaré da Mata	Nazaré da Mata	PE	BRA	7,7°S	35,227777°O	90,8	5,58	5,53	5,50	4,81	4,56	4,00	4,33	4,78	5,42	6,03	6,19	6,06	5,23	2,19

Marque as caixas de seleção para atualizar a visualização das curvas de radiação no gráfico.

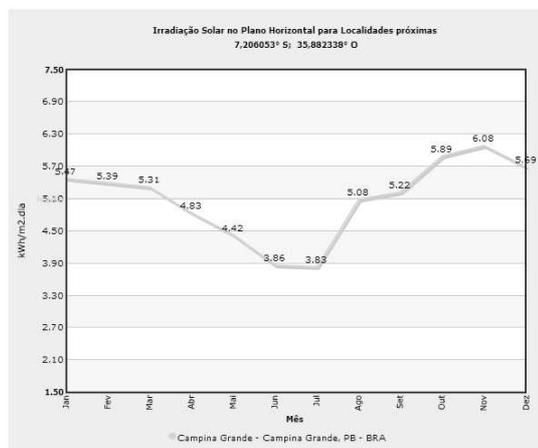


Figura 17: Dados de irradiação em Campina Grande – PB (Fonte: CRESESB)

No entanto, os dados fornecidos por essa base de dados se referem à incidência de radiação solar sobre uma superfície horizontal. Essa disposição, no entanto, não é otimizada. A melhor disposição para os painéis é aquela na qual os raios solares incidem perpendicularmente à sua superfície. A metodologia de cálculo dessa inclinação será apresentada na seção seguinte.

De posse da inclinação e da latitude do local pode-se obter o fator de correção “k” da inclinação do painel, conforme apresentado por Pereira-Vieira, 2012. Esse fator de correção é multiplicador e é dado mês a mês, conforme exemplificado na Tabela 6 abaixo para o aeroporto de Campina Grande:

Tabela 6: Fator de correção da inclinação (aeroporto de Campina Grande; inclinação dos painéis = 10° e Latitude = 7°)

Cidades	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Campina Grande	0,97	0,97	1,00	1,04	1,06	1,06	1,05	1,03	1,00	0,97	0,95	0,94

Uma vez obtidos os valores de radiação corrigidos pela inclinação, toma-se a média dos valores mensais ao longo do ano como radiação a ser utilizada no dimensionamento do sistema fotovoltaico.

### 2.4.3. Inclinação Ótima dos Painéis

A escolha incorreta do ângulo de inclinação reduz a captação dos raios solares e compromete a produção de energia elétrica pelo módulo fotovoltaico.

O ângulo ótimo de inclinação do painel é função exclusiva da latitude geográfica do local de instalação (Argumedo-Merino, 2009).

Essa função se dá através da equação abaixo:

$$\beta_{\text{ótimo}} = 3,7 + 0,69 \cdot \varnothing$$

Onde  $\varnothing$  é a latitude geográfica do aeroporto.

No entanto, não se recomenda a instalação com ângulos de inclinação inferiores a  $10^\circ$  para evitar o acúmulo de poeira nos painéis, o que atrapalharia o desempenho do painel (Villalva-Gazoli, 2013).

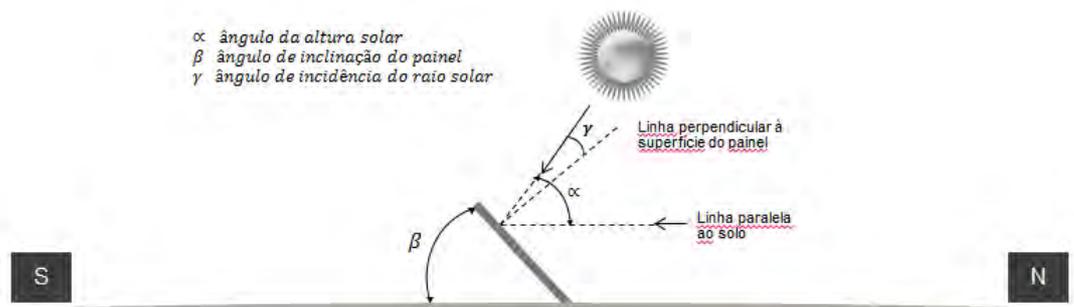


Figura 18: Cálculo do ângulo ótimo de inclinação

#### 2.4.4. Afastamento entre os painéis

Faz-se importante o cálculo metucioso do distanciamento entre os painéis solares de forma que um painel não gere sombra sobre o painel seguinte.

Um painel fotovoltaico funciona como uma lâmpada de LED invertida, no sentido de que recebe luz e gera eletricidade, enquanto o LED faz o processo inverso. No entanto, se o painel (ou parte dele) estiver coberto por um sombreamento, ele passa a funcionar da mesma maneira que as lâmpadas de LED, absorvendo a energia elétrica gerada por outros painéis e emitindo fótons (fora do espectro visível).

O método aqui utilizado para o cálculo dessa distância é o mesmo empregado por Barros (2011) que leva em consideração o dia em que o sol está mais baixo em relação à Terra, pois é nesse dia que o sol projeta as maiores sombras. Esse dia no hemisfério sul é o solstício de inverno, ou seja, dia 21 de junho.

Primeiramente, deve-se calcular a declinação solar. Esse valor, em graus, é dado por:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left[ \frac{360}{365} \cdot (284 + N) \right]$$

Onde N é o número do dia do ano contado a partir do dia 1 de janeiro. Ou seja, para o dia analisado (21/06),  $N = 172$  e, portanto,  $\delta = 23,45^\circ$ .

Em seguida, calcula-se a altura solar:

$$\sin(\alpha) = \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(L) \cdot \sin(\delta)$$

Onde:

L é a latitude (negativa no hemisfério sul).

$\delta$  é a declinação solar.

$\omega$  é o ângulo horário (ângulo do sol em relação ao meio dia)

As latitudes das cidades nas quais se situam os aeroportos analisados nesse estudo são apresentadas na Tabela 7:

Tabela 7: Latitude das cidades analisadas

<b>Cidades</b>	<b>Latitude (°)</b>
São José dos Campos	-23,1
Campina Grande	-7,2
Corumbá	-19,0
Boa Vista	2,9
Joinville	-26,2
Palmas	-10,1

Para a situação de maior sombra,  $\omega = 0$ , ou seja, ocorre ao meio dia.

Assim sendo, obtêm-se as alturas solares expostas na Tabela 8:

Tabela 8: Alturas solares das cidades analisadas no dia e na hora de máxima sombra

<b>Cidades</b>	<b><math>\alpha</math> (°)</b>
São José dos Campos	43,48
Campina Grande	59,34
Corumbá	47,58
Boa Vista	69,46
Joinville	40,35
Palmas	56,47

A Figura 19 traz a esquematização da projeção da sombra de um painel fotovoltaico na situação descrita.

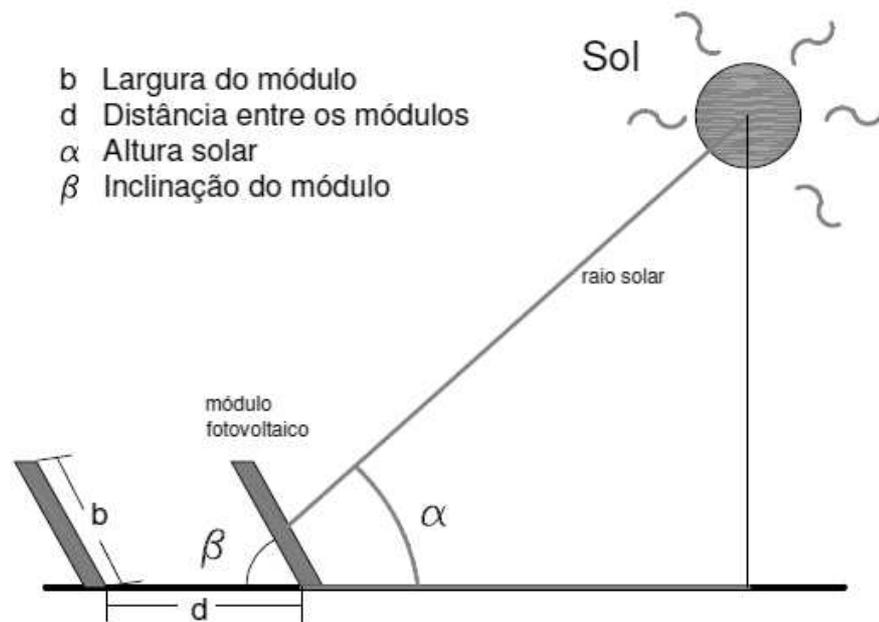


Figura 19: Esquematização da projeção da sombra de um painel solar

Dessa forma, tem-se que a distância entre dois painéis consecutivos de forma a garantir que um não projete sombra sobre o outro é dado pela equação:

$$d = \frac{b \cdot \sin(180 - \beta - \alpha)}{\sin(\alpha)}$$

Na qual:

$b$  é a largura do módulo

$\beta$  é a inclinação do módulo (cuja ótima foi descrita acima)

$\alpha$  é a altura solar (já calculada)

#### 2.4.5. Características dos painéis

Para o dimensionamento dos painéis, necessita-se de alguns dados referentes às suas capacidades de geração e suas limitações. Esses dados são obtidos a partir de suas especificações técnicas. São eles:

- **Potência de pico ( $W_p$ ):**

Também chamada de “Máxima Potência” e designada por  $W_p$  ( $P = \text{Peak}$ ), essa potência, medida em watts [W], é a maior potência que o módulo pode fornecer na condição padronizada de teste (STC).

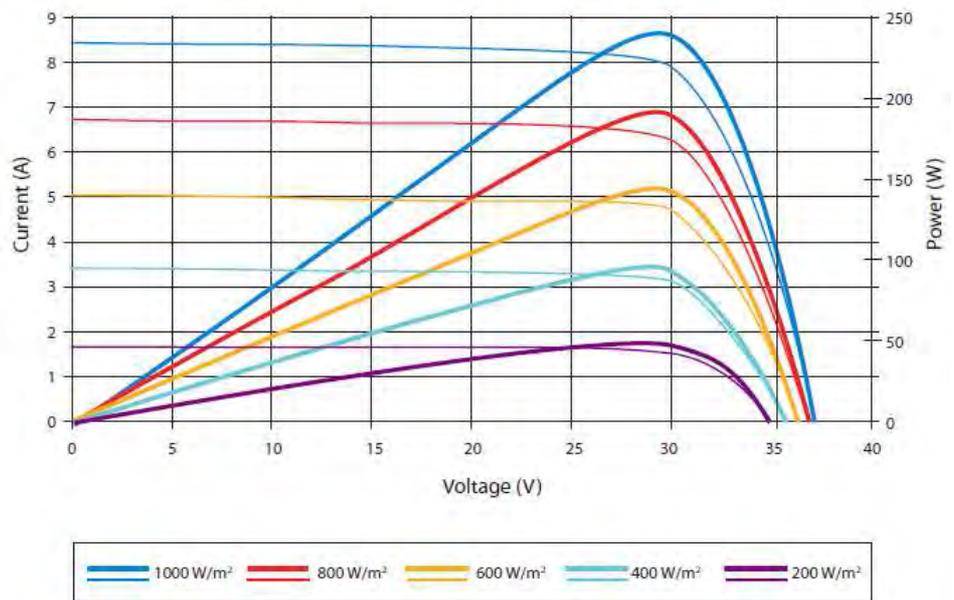


Figura 20: Curvas I-V e P-V do módulo Pluto 240-Wde

A potência de pico é o ponto de inflexão das curvas I-V e P-V (Figura 24) de um painel. Ela é resultado do produto entre a tensão em máxima potência ( $V_{mp}$ ) e a corrente em máxima potência ( $I_{mp}$ ).

É desejável que o painel trabalhe o mais perto possível da sua potência de pico, pois é nela que a geração de energia elétrica é máxima. No entanto, esse pico muda ao longo do dia, já que depende das condições climáticas (irradiação e temperatura) por isso, os inversores mais modernos são equipados com um dispositivo denominado MPPT (Maximum Power Point Tracker), que são rastreadores do ponto máxima potência.

O MPPT funciona com um algoritmo simples do tipo “Perturb and Observe”. Ou seja, ele causa, intencionalmente, mudanças na tensão dos terminais e observa a influência disso na potência fornecida.

- **Tensão em máxima potência ( $V_{mp}$ ):**  
A tensão em máxima potência,  $V_{mp}$  (MP = Máxima Potência), é a medida em volts [V] da tensão entre os terminais do módulo no momento em que ele opera em potência máxima.
- **Corrente em máxima potência ( $I_{mp}$ ):**  
A corrente em máxima potência,  $I_{mp}$  (MP = Máxima Potência), é a medida em amperes [A] da corrente que circula no módulo no momento em que ele opera em potência máxima.
- **Tensão em circuito aberto ( $V_{oc}$ ):**  
A tensão em circuito aberto, designada pela simbologia “ $V_{oc}$ ” (OC = Open Circuit), é a tensão elétrica, medida em volts [V], que o módulo fornece

nos seus terminais quando estão abertos, ou seja, quando não estão conectados, fechando o circuito.

Ou seja, é a tensão medida por um voltímetro quando não existe nada ligado ao módulo e, conseqüentemente, não há corrente circulando nele. (Villalva-Gazoli).

Essa medida é importante, pois uma vez dimensionado o sistema fotovoltaico, ele deve respeitar os limites de tensões máximas de todos os componentes do sistema (inversores, baterias, controladores de carga, dentre outros).

- **Corrente de curto-circuito ( $I_{sc}$ ):**

Simbolizada como  $I_{sc}$  (SC = Short Circuit), a corrente de curto-circuito do módulo fotovoltaico é a medida, em amperes [A], da corrente que o módulo consegue fornecer quando seus terminais estão curto-circuitados.

Essa é a maior corrente que o módulo consegue fornecer, para uma dada irradiação e temperatura. E, apesar de não ter muita utilidade prática (já que não faz sentido curto-circuitar os terminais do painel), ela é uma informação útil para guiar o dimensionamento, pois permite a especificação e a quantificação dos equipamentos conectados aos módulos.

#### **2.4.6. Características dos inversores**

Sistemas fotovoltaicos geram uma eletricidade com corrente do tipo contínua, pela rede elétrica e por todos os equipamentos utilizados nas residências, em contrapartida, circula uma corrente alternada. Portanto, para tornar a energia produzida pelos painéis útil para o consumo, faz-se necessário um equipamento que converta um tipo de corrente, no outro e é com essa finalidade que o inversor é usado.

O inversor conectado à rede elétrica é responsável por injetar corrente na mesma, ao contrário daqueles usados em sistemas isolados, os quais fornecem tensão e não corrente. Isso significa que o sistema conectado à rede, tal e qual está sendo dimensionado para os aeroportos nesse estudo, são incapazes de funcionar na ausência de uma rede elétrica que esteja operando propriamente. Na ausência ou falha no fornecimento por parte da concessionária, os aeroportos ficariam a mercê dos geradores elétricos, tal como é hoje, uma vez que os inversores param de funcionar quando não estão ligados à rede, tanto por que não foram projetados para operarem de forma autônoma, quanto por questões de segurança.

Comercialmente, existem inversores em várias faixas de potência, desde 250 W até vários quilowatts, empregados em usinas solares. Para esse trabalho, são testados tanto pequenos inversores monofásicos (Figura 21, por exemplo), até grandes inversores trifásicos (Figura 22).



Figura 21: Inversor monofásico



Figura 22: Inversor trifásico

A partir das especificações técnicas dos inversores e a partir das informações do sistema montado (tal como o número de painéis), obtêm-se as características dos inversores necessárias para o dimensionamento. Os principais dados são:

- **Rendimento ( $E_{inv}$ ):**

O rendimento informa a relação entre o quanto da potência que entra no inversor que é convertido em potência útil na saída.

Bons inversores têm rendimento maior que 90%, é o caso de todos os inversores presentes no estudo.

- **Tensão máxima na entrada ( $U_{dc,inv}$ ):**

A tensão máxima na entrada é o máximo valor absoluto de tensão admissível na entrada do inversor. A “entrada do inversor” é o terminal ao qual se conectam os módulos.

Este valor está relacionado com a tensão de circuito aberto dos módulos, já que essa é a tensão máxima que eles fornecem. Ou seja, os módulos aplicam tensão nos terminais do painel mesmo quando estão desconectados da rede e quando por eles não flui corrente.

Valores maiores de tensão poderiam danificar o inversor, haja vista que suas peças internas são dimensionadas para suportar até esse valor.

A tensão máxima na entrada limita o número máximo de módulos que podem estar conectados em série. Ou seja, há uma quantidade limite de módulos que podem se conectar em série para formar um string.

- **Corrente máxima de entrada ( $I_{max,inv}$ ):**  
É a corrente máxima, medida em amperes [A], que pode sair do sistema de painéis e entrar no inversor.  
Esse valor é importante para que se determine qual o maior número de strings possíveis de serem conectados ao inversor em questão.
- **Potência de corrente contínua na entrada ( $P_{pv}$ ):**  
É o valor, em quilowatts [kW] combinado da potência de todos os painéis que fazem parte do sistema fotovoltaico e que, portanto, estão conectados na entrada do inversor.  
Trata-se, portanto de uma potência de corrente contínua (tipo de corrente gerada pelos painéis fotovoltaicos).  
Em geral, pode-se conectar ao inversor valores maiores e menores de potência do que aquele que vem sinalizado nas especificações técnicas dele. Se a potência conectada for menor, significa que o inversor estará subutilizado, por outro lado, se a potência for maior, o sistema fica limitado pelo inversor, de forma que os painéis passam a ficar subutilizados.  
Portanto, é interessante que o sistema fotovoltaico tenha potência em linha com a potência faixa de potência do inversor.
- **Potência de corrente alternada na saída ( $P_{ac}$ ):**  
É a potência nos terminais de saída do inversor. Ou seja, é a potência após a conversão da corrente contínua em corrente alternada.  
Esse valor é igual ao produto entre o rendimento do inversor e a potência de entrada.
- **Mínimo de módulos em série no inversor:**  
O número mínimo de painéis em um string é aquele para o qual a soma das tensões dos painéis é maior do que a mínima tensão de entrada no inversor.
- **Máximo de módulos em série no inversor:**  
O número máximo de painéis em um string é aquele para o qual a soma das tensões dos painéis é menor do que a máxima tensão de entrada no inversor.
- **Máximo de strings em paralelo:**  
O maior número de strings que podem ser conectados em um mesmo inversor é aquele para o qual a soma da corrente que passa por todos os strings não supera a corrente máxima permitida na entrada do inversor.

#### 2.4.7. Metodologia Financeira:

Neste trabalho, a estimativa realizada é feita de forma simplificada para que se estime a viabilidade da implantação de painéis solares nos aeroportos e, em caso positivo, qual o tempo de retorno esperado para esse investimento. Vieira (2010) ressalta a complexidade envolvida em uma análise mais criteriosa e fidedigna.

Não obstante esse viés simplificado, a análise em questão tem grande valia para criar uma sensibilidade a respeito do qual próximo, ou distante, os aeroportos do Brasil estão de estarem aptos a implantarem essa tecnologia.

Para isso, foi feita uma análise econômico-financeira tomando como referência os estudos de Rüter (2008b), para programas de geração de 25 anos. Para tanto, foi utilizada uma taxa de crescimento (i) de 7%. Não apenas por Rüter, esse valor é consagrado pela literatura sobre energia fotovoltaica.

A partir destas definições, as economias geradas ano após ano com o uso dos painéis são levadas a valor presente, a fim de que toda a quantia investida ao longo dos 25 anos de projeto esteja em bases comparáveis.

$$F = P \cdot (1 + i)^n$$

Sendo

F = Valor futuro

P = Valor presente

i = taxa de crescimento

n = número de anos até o fim do projeto (25 anos)

## 2.4.8. Outras Considerações:

### 2.4.8.1. Análise das Perdas na Distribuição

A cadeia produtiva dos sistemas elétricos pode ser entendida através da sequência: produção, transporte e consumo, como ilustra a Figura 23.

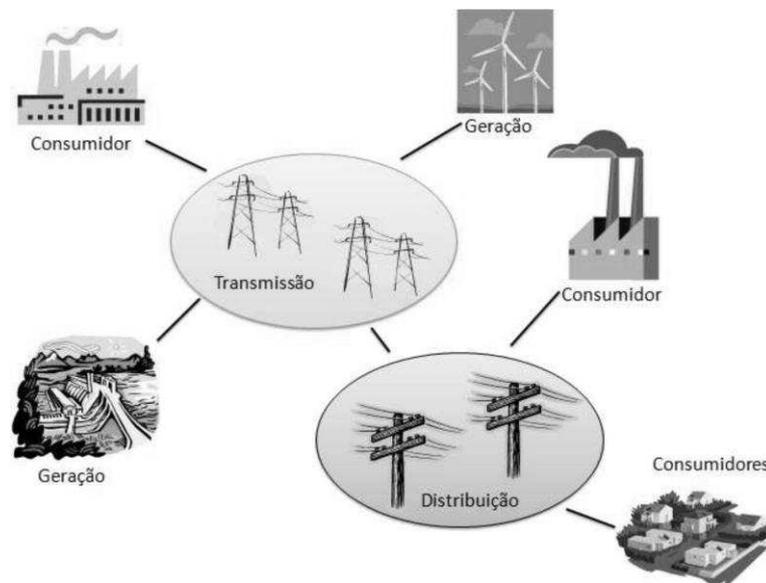


Figura 23: Esquematização da cadeia produtiva de energia elétrica

A geração é a responsável por transformar outras fontes de energia (eólica, solar, térmica, etc.) em energia elétrica. O transporte se divide em transmissão e distribuição. A transmissão (transporte no atacado) é responsável pelo transporte de grandes blocos

de energia elétrica, ao passo que a distribuição (transporte no varejo) é responsável por transportar menores quantidades de energia.

Segunda a ANEEL, em outubro de 2014, o Brasil possuía 3380 usinas geradoras em operação, correspondendo à capacidade instalada de 131.368.080 kW. Essas usinas se distribuem conforme exposto na Tabela 9.

Tabela 9: Capacidade de geração por tipo de energia (ANEEL)

<b>Tipo</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência Outorgada (kW)</b>	<b>Potência Fiscalizada (kW)</b>	<b>%</b>
Central Geradora Hidrelétrica	474	291.832	293.433	0,22
Eólica	184	3.968.534	3.884.238	2,96
Pequena Central Hidrelétrica	470	4.725.850	4.689.552	3,57
Solar Fotovoltaica	180	18.382	15.312	0,01
Usina Hidrelétrica	198	86.999.345	82.987.658	63,2
Usina Termelétrica	1.872	39.299.633	37.507.887	28,6
Usina Termonuclear	2	1.990.000	1.990.000	1,51
<b>Total</b>	<b>3.380</b>	<b>137.293.576</b>	<b>131.368.080</b>	100

O sistema de transmissão no Brasil é formado por mais de 90 mil quilômetros de linhas operados por 63 concessionárias. Essa grande extensão das linhas se deve, além das dimensões continentais do país, ao fato de que o sistema de geração é, na maior parte, constituído de usinas hidrelétricas instaladas em locais afastados dos centros consumidores. O segmento de transporte é dividido em dois grandes blocos: o Sistema Interligado Nacional (SIN), que abrange quase todo o território nacional e os Sistemas Isolados, instalados, sobretudo, na região Norte. A configuração desse sistema é exposta na Figura 24 abaixo.



Figura 24: Mapa do Sistema Interligado Nacional – SIN (fonte: ONS)

Além disso, 63 concessionárias e 26 permissionárias (cooperativas de eletrificação rural) compõem o mercado de distribuição de energia elétrica no Brasil. São as distribuidoras que são as responsáveis por abastecer as mais de 64 milhões de unidades consumidoras. A divisão das áreas de atendimento entre as concessionárias pode ser visto na Figura 25.



Figura 25: Mapa das concessões de distribuição de energia elétrica no Brasil (fonte: ANEEL)

Há no Brasil uma divisão de quatro agentes no mercado elétrico brasileiro: geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores. Vale destacar a característica monopolística dos agentes de transmissão e distribuição o que gera uma necessidade maior de regulações fortes.

A Figura 26 mostra a estrutura institucional do setor elétrico brasileiro (geradores – G, transmissores – T, distribuidores – D e comercializadores – C).

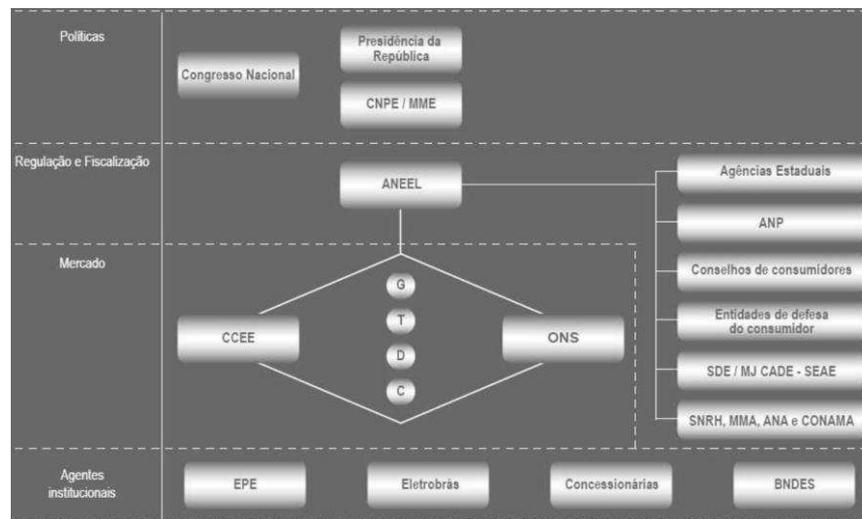


Figura 26: Estrutura do setor elétrico brasileiro (fonte: ANEEL)

Essa estrutura de transmissão e distribuição leva a altos valores de perdas no sistema de transporte. As perdas se dão tanto na fase de transmissão, quanto na fase de distribuição, distribuídos conforme a Figura 27:

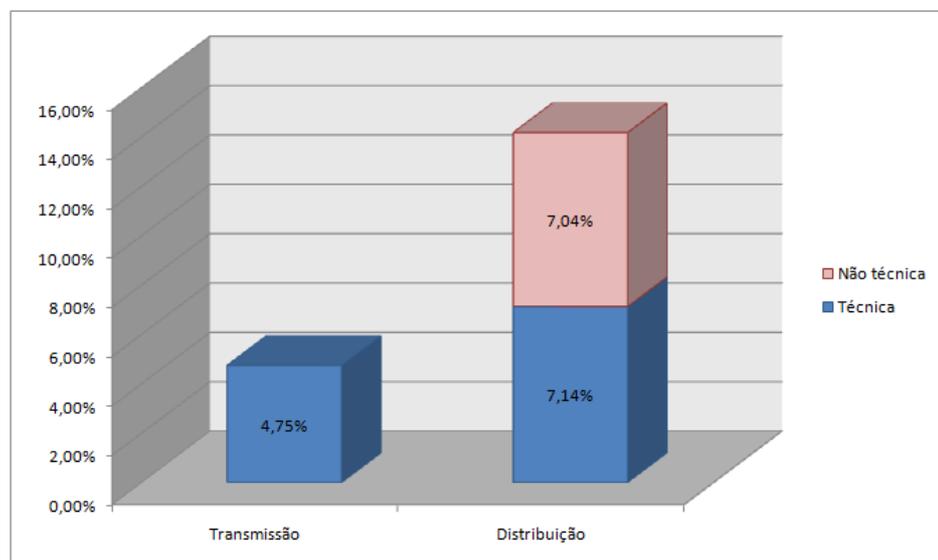


Figura 27: Perdas de energia no sistema elétrico do Brasil (Fonte: ANEEL)

Esses valores de perdas (aproximadamente 19% da energia gerada) estão muito acima da média quando comparado com outros países. Na China, por exemplo, esse valor não passa de 7%, nos Estados Unidos 6% e mesmo em países africanos, fica em torno de 11% (Queiroz, 2010).

O uso de energia solar distribuída aparece, portanto, como uma alternativa para mitigar essas perdas altíssimas. Isso faz aumentar a eficiência do sistema elétrico como

um todo e reduz a necessidade de geração, tornando mais fácil que se atenda à demanda crescente.

Ou seja, é possível satisfazer a demanda atual (e a futura) não apenas pelo aumento da capacidade instalada, mas também pelo aumento da eficiência na transmissão.

#### **2.4.8.2. Análise do reflexo da luz do sol nos painéis e seu impacto sobre as operações:**

Uma das preocupações levantadas sobre a implantação de painéis solares em aeroportos é que o reflexo da luz do sol nos painéis solares possa vir a causar problemas na visibilidade do piloto e seja, portanto, um risco à segurança das operações aeroportuárias.

No entanto, Martin II (2013) elenca uma série de argumentos que permitem, com segurança, concluir que os painéis solares não oferecem um risco à segurança dos voos.

Primeiramente, ele analisa a reflexibilidade da luz nos painéis. A geração de energia solar fotovoltaica tem como principal requisito a absorção da luz pelo painel, ou seja, quanto mais o painel refletir, menos energia é gerada. Por esse motivo, os painéis são construídos de forma a absorver (e não refletir) a luz do sol. A análise da reflexibilidade dos painéis revela, na verdade, que ela está abaixo da reflexibilidade da luz do sol em vários objetos comuns que circundam vários aeroportos. A Figura 28 traz um gráfico, que revela que a reflexão em água é mais de duas vezes mais intensa do que nos painéis.

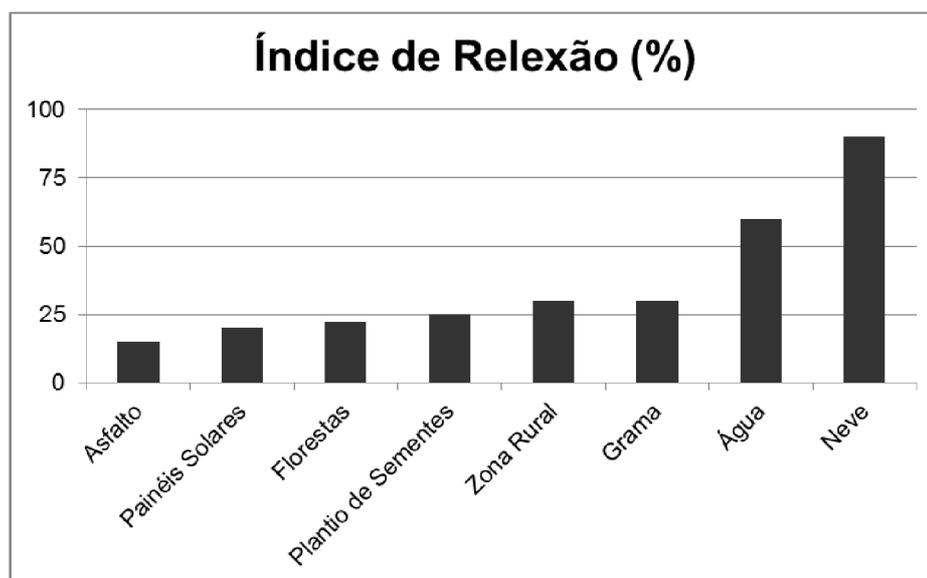


Figura 28: Análise comparativa da reflexão da luz do sol (Fonte: Martin II, 2013)

Essa baixa reflexibilidade dos painéis se deve ao fato de que o vidro, que é uma das principais matérias primas dos painéis reflete apenas entre 2% e 4% da luz que sobre

ele incide. Junta-se a isso o fato de que os painéis recebem tratamento anti-reflexivo para que sua eficiência seja aumentada.

Outro fato que colabora para que se conclua que painéis solares são inofensivos à visão dos pilotos é que ocorre com muito mais frequência e intensidade o ofuscamento da visão por conta da incidência direta da luz do sol.

Por fim, a prova definitiva de que esse sistema de geração pode, ser implantado em aeroportos sem que represente riscos, é o fato de que isso já vem sendo praticado em vários aeroportos pelo mundo. A título de exemplo, vale citar primeiramente aquele que é considerado o melhor aeroporto do mundo, o Changi, em Cingapura. Além dele, Gatwick (Londres), San Jose (Califórnia), Dusseldorf, Denver e Indianápolis são alguns dos aeroportos que aderiram à implantação de energia solar. As Figuras 29 e 39 trazem alguns desses exemplos.



Figura 29: Aeroporto internacional de Dusseldorf



Figura 30: Aeroporto Internacional de Denver

### 3. Metodologia

#### 3.1. Escolha dos Aeroportos:

O presente estudo tem como objetivo chegar a conclusões gerais sobre a viabilidade de se utilizar painéis fotovoltaicos em aeroportos no Brasil. No entanto, seria inviável fazer essa análise para todos os aeroportos, de maneira que se optou pela seleção de cinco aeroportos para os quais o sistema fotovoltaico será dimensionado e a análise da viabilidade executada.

Apesar de se tomar apenas esses aeroportos, faz-se a escolha de maneira a permitir que se obtenham conclusões o mais generalistas possível sobre a implementação nos aeroportos não contemplados pelo estudo. Assim sendo, optou-se por cinco aeroportos de médio porte, um em cada região do país, sendo eles:

- Aeroporto de São José dos Campos – SP
- Aeroporto de Joinville – SC
- Aeroporto de Corumbá – MS
- Aeroporto de Campina Grande – PB
- Aeroporto de Palmas – TO

Vale ressaltar, que um importante fato sobre esses aeroportos é que todos são administrados pela Infraero, que disponibilizou as informações de consumo e tarifação da energia deles a fim de contribuir para esse estudo. Uma vez escolhidos os aeroportos, fez-se necessária um pré-dimensionamento do sistema a ser implantado para que se fosse verificada a disponibilidade de área neles.

Primeiramente, através de uma escolha de um painel fotovoltaico comercial e através do método de dimensionamento que será exposto em seguida, chega-se a uma estimativa aproximada de área necessária para a instalação dos painéis solares.

O número aproximado de painéis desse tipo necessário para cada um dos aeroportos analisados pode ser encontrado na Tabela 10. Vale ressaltar que esse dimensionamento será realizado de maneira mais criteriosa mais adiante nesse relatório.

Tabela 10: Estimativa inicial do número de painéis solares necessários

<b>Cidades</b>	<b>Número de Painéis</b>
São José dos Campos	1.900
Campina Grande	1.100
Corumbá	1.100
Boa Vista	5.800
Joinville	4.000
Palmas	10.080

Dado que esse modelo de painel tem as seguintes dimensões: 165cm / 99cm / 4cm e respeitando-se às distâncias necessárias para a condição de que a sombra de um painel não se projeta sobre o adjacente, chega-se, no dimensionamento preliminar na área necessária para a implantação dos módulos, esses valores são apresentados na Tabela 11:

Tabela 11: Cálculo preliminar da área necessária para implantação dos painéis solares

<b>Cidades</b>	<b>Área Necessária (m<sup>2</sup>)</b>
São José dos Campos	12.300
Campina Grande	6.090
Corumbá	7.050
Boa Vista	32.300
Joinville	28.800
Palmas	56.600

Além de encontrar uma área abrangente o suficiente, busca-se também áreas que não estejam sujeitas à sombreamentos em nenhum horário do dia.

Dessa maneira, avaliou-se a disponibilidade de uma área propícia em cada dos aeroportos em questão antes que o dimensionamento fosse iniciado. A análise desse pré-dimensionamento permitiu concluir que todos os aeroportos estudados têm área suficiente para receber o sistema fotovoltaico para ele dimensionado. De forma que a área escolhida esteja isenta de sobras durante todo o dia, por serem áreas isoladas, além de deverem respeitar as condições de afastamento da pista (faixa de pista). As figuras

31 a 36, retiradas do Google Maps®, mostram possíveis áreas a serem escolhidas em cada aeroporto.



Figura 31: Aeroporto de São José dos Campos

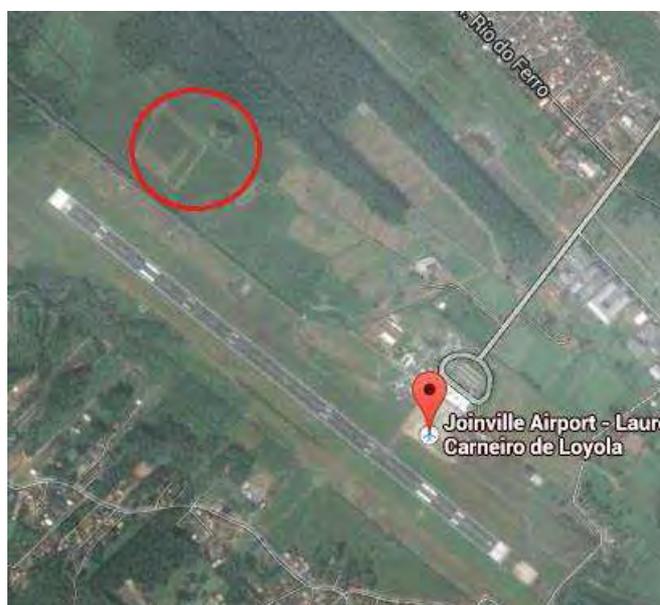


Figura 32: Aeroporto de Joinville



Figura 33: Aeroporto de Corumbá

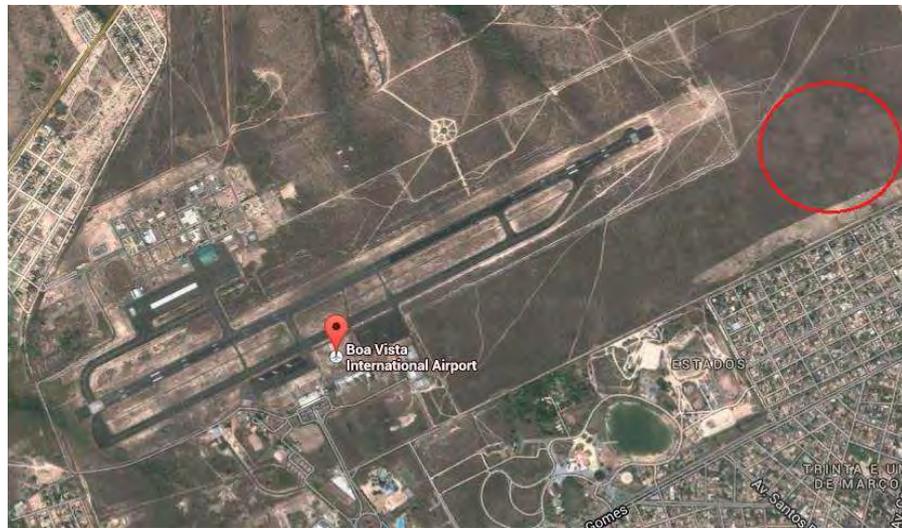


Figura 34: Aeroporto de Boa Vista

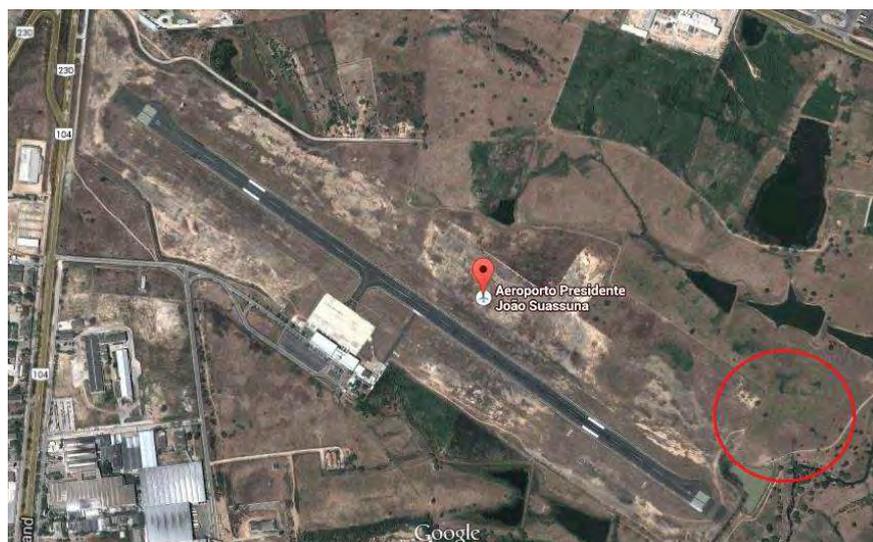


Figura 35: Aeroporto de Campina Grande



Figura 36: Aeroporto de Palmas

### 3.2. Escolha dos painéis

Para o estudo de viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico, foram testados para os aeroportos no escopo do estudo, os painéis solares utilizados em aeroportos no exterior que já possuem esse tipo de geração. Além de outros modelos escolhidos como forma de uma possível sugestão de inovação tecnológica a ser empregada no país.

Tabela 12: Lista dos modelos de painéis solares testados

Painel	Aeroporto no qual é empregado
Painel A	Changi
Painel B	Changi
Painel C	Thunder Bay
Painel D	Thunder Bay
Painel E	Indianápolis
Painel F	-
Painel G	-

As tabelas 13 a 17 trazem as características dos painéis escolhidos para serem testados nos sistemas fotovoltaicos dos aeroportos do estudo.

Tabela 13: Potência de pico dos painéis testados

Painel	$W_p$ (W)
Painel A	75
Painel B	220
Painel C	230

Painel D	235
Painel E	250

Tabela 14: Tensão em máxima potência dos painéis testados

<b>Painel</b>	<b>Vmp (V)</b>
Painel A	68,2
Painel B	28,5
Painel C	29,9
Painel D	30,1
Painel E	30,4
Painel F	29,6
Painel G	30,2

Tabela 15: Corrente em máxima potência dos painéis testados

<b>Painel</b>	<b>Imp (A)</b>
Painel A	1,10
Painel B	7,80
Painel C	7,70
Painel D	7,82
Painel E	8,24
Painel F	8,11
Painel G	7,78

Tabela 16: Tensão em circuito aberto dos painéis testados

<b>Painel</b>	<b>Voc (V)</b>
Painel A	89,6
Painel B	36,5
Painel C	37,1
Painel D	37,3
Painel E	38,4
Painel F	36,8
Painel G	37,1

Tabela 17: Corrente de curto-circuito dos painéis testados

<b>Painel</b>	<b>Isc (A)</b>
Painel A	1,23
Painel B	8,40
Painel C	8,22
Painel D	8,46
Painel E	8,79
Painel F	8,46
Painel G	8,42

### 3.3. Escolha dos Inversores

Para o estudo, foram testados para os aeroportos no escopo do estudo, os inversores utilizados em aeroportos no exterior que já possuem esse tipo de geração. Além de outros modelos, conforme a metodologia adotada para a escolha dos painéis. Os inversores testados são:

Tabela 18: Lista dos modelos de inversores solares testados

<b>Inversor</b>	<b>Aeroporto no qual é empregado</b>
Inversor A	Changi
Inversor B	Indianápolis
Inversor C	Thunder Bay
Inversor D	-

As tabelas 19 a 22 trazem as características dos inversores escolhidos para serem testados nos sistemas fotovoltaicos dos aeroportos do estudo.

Tabela 19: Rendimento dos inversores testados

<b>Inversor</b>	<b>Rendimento (%)</b>
Inversor A	97,2
Inversor B	98,0
Inversor C	97,2
Inversor D	95,7

Tabela 20: Tensão máxima na entrada dos inversores testados

<b>Inversor</b>	<b>Tensão máxima na entrada (V)</b>
Inversor A	700
Inversor B	500
Inversor C	528
Inversor D	600

Tabela 21: Corrente máxima de entrada dos inversores testados

<b>Inversor</b>	<b>Corrente máxima (A)</b>
Inversor A	34
Inversor B	1750
Inversor C	23
Inversor D	424

Tabela 22: Potência máxima de entrada dos inversores testados

<b>Inversor</b>	<b>Potência máxima (kW)</b>
Inversor A	11,4
Inversor B	500
Inversor C	385,0
Inversor D	5,2

### 3.4. Metodologia de evolução dos preços da eletricidade

#### 3.4.1. Evolução do preço da tarifa da energia elétrica convencional:

No período entre 1995 e 2010 a tarifa elétrica teve um crescimento muito acima da inflação, numa média de 10,6% ao ano (Bonini, 2011).

Colaboram para esse crescimento acentuado, sobretudo, as tarifas cobradas ao setor industrial, que cresceram a uma média de 11,8% ao ano.

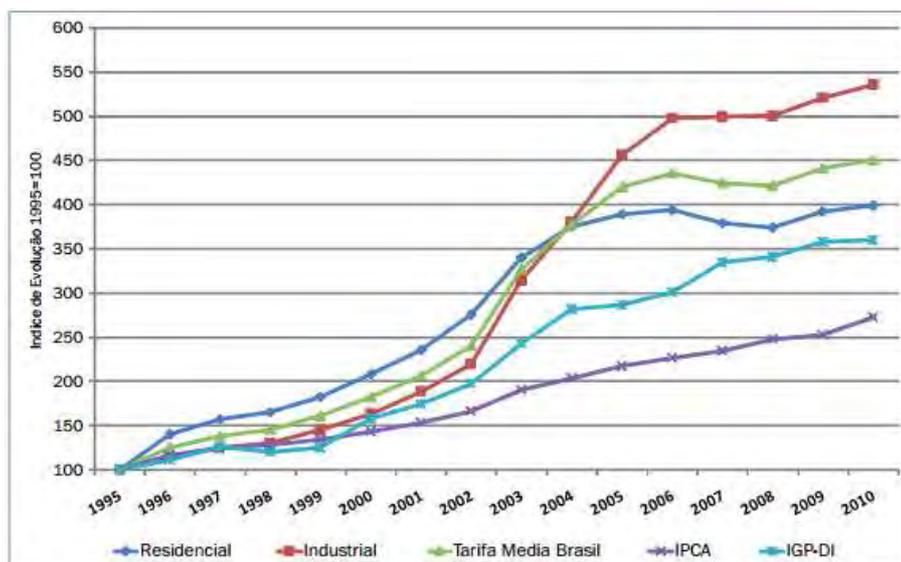


Figura 37: Evolução da tarifa elétrica no Brasil (Fontes: Aneel, IBGE e FGV)

Tabela 23: Crescimento médio da tarifa elétrica no Brasil (Fonte: Bonini, 2011)

	2003/1995	2010/2003	2010/1995
Residencial	19,10%	2,30%	9,70%
Industrial	17,80%	7,90%	11,80%
Comercial	18,40%	2,80%	8,40%
Rural	9,60%	4,10%	9,10%
<b>Tarifa Média Brasil</b>	<b>18,40%</b>	<b>4,70%</b>	<b>10,60%</b>
IPCA	9,60%	5,30%	6,90%
IGP-DI	13,50%	5,80%	8,90%

No entanto, em 11 de setembro de 2012, o governo federal anunciou o estabelecimento da MP 579. A medida provisória, que prometia uma redução em 20% na conta de luz da população, tinha como objetivo a antecipação em três anos (em média) dos vencimentos das concessões do setor. Para tanto, coube ao governo a obrigação de cobrir os custos relacionados à indenização às empresas de transmissão que aceitaram antecipar o fim de seus contratos de concessão.

Com isso, especialistas do setor estimam que a conta do governo como consequência da medida provisória já se aproxime de R\$ 100 bilhões (Valor Econômico, 2014).

Além disso, a escassez das chuvas desde o final de 2012 tem levado à redução da produção de energia hidrelétrica barata e ao aumento da cara energia termelétrica. Desde outubro de 2012, as térmicas têm trabalhado a plena carga, deixando de representar 10% do total de energia elétrica do país, para chegar próximo aos 30% em 2014. Esse encarecimento no preço da energia, no entanto, ainda não foi repassado ao consumidor.

O governo, devido a questões políticas, tem impedido as distribuidoras de aumentar os preços, como ocorreu com seus custos. Esse represamento de preços tem levado prejuízos enormes às concessionárias.

Dada a insustentabilidade dessa situação, analistas independentes estimam que a conta de energia subirá, em média, 24% em 2015. A Aneel, no entanto, prevê um aumento de oito pontos percentuais no mesmo período.

Para esse estudo, são elaborados três cenários de projeção da tarifa cobrada pelo kWh. Todos os cenários serão compostos por um aumento pontual (e mais agressivo) da tarifa elétrica para o ano de 2015, dado o panorama supracitado, e de uma taxa de aumento para os anos subsequentes.

- **Cenário Favorável:**

O cenário favorável ao uso da energia fotovoltaica é aquele no qual a eletricidade convencional tem o maior aumento no preço. Para esse cenário adotou-se como aumento 2014-2015 da tarifa de energia o valor publicado por analistas independentes na revista Valor Econômico em sua versão digital em 17 de setembro de 2014 (24%).

Para o crescimento de preço entre 2015 e 2050, foi então empregada a mesma taxa de crescimento que ocorreu entre 1995 e 2010, mostrado na Tabela 23.

- **Cenário Desfavorável:**

Ao contrário do cenário favorável, o cenário desfavorável à implantação de painéis solares é aquele no qual a energia elétrica convencional assume os menores valores. Para elaboração desse cenário, supõe-se que o aumento da tarifa entre 2014 e 2015 seja igual àquele suposto pela Aneel (8%) e que, a partir daí, supõe-se um crescimento de preço a uma taxa igual ao da inflação projetada. Para tanto foi usada a projeção do IBGE para o IPCA (Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo).

- **Cenário Intermediário:**

Para se avaliar um meio termo entre ambos os cenários supracitados, foi elaborado um cenário intermediário, no qual se estima um crescimento de 17% na tarifa de energia entre os anos de 2014 e 2015 e a partir daí a tarifa cresce dois pontos percentuais acima da inflação projetada pelo IBGE.

### **3.4.2. Evolução do preço da energia elétrica fotovoltaica:**

Os preços dos painéis solares ainda são proibitivos para a difusão dessa tecnologia no Brasil. Segundo o EPIA (2013), o preço da energia solar no Brasil vem caindo a uma taxa de 7% a.a. de maneira que, segundo o instituto, entre 2015 e 2016 deve atingir a paridade com a energia convencional.

Para esse estudo, adota-se 7% como a taxa com a qual esse preço reduz ano após ano.

No entanto, para cada um dos cenários citados na seção 4.3.1 (favorável, desfavorável e intermediário) foram assumidos diferentes preços para os painéis.

O preço hoje praticado gira em torno de US\$7,00/Wp no Brasil, ao passo que no mercado internacional esse valor chega a ser 50% menor.

O cenário desfavorável considerará como preço do painel aquele atualmente praticado, ao passo que o favorável considerará a possibilidade de se atingir os valores

internacionais para a tecnologia no país. Já o cenário intermediário parte de um preço que é a média aritmética entre os demais cenários.

A análise favorável se justifica, pois na medida em que o Brasil adotar esta tecnologia em grande escala, os preços tenderão a se equiparar com os preços internacionais, visto que a tecnologia passaria a ser uma commodity (Vieira-Rüther, 2010).

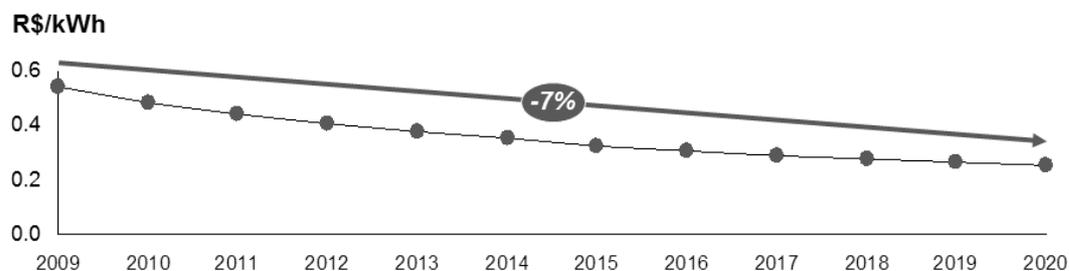


Figura 38: Evolução do preço da energia fotovoltaica (fonte: EPIA, elaboração própria)

Além disso, foi considerado o preço de aquisição do inversor como sendo R\$ 36.000 para cada 10 kWp instalado. E o custo de mão-de-obra, manutenção, fiação e outros custos extras, como sendo 20% do total do custo de instalação (Vieira – Rüther, 2010).

### 3.5. Modelo de dimensionamento

O passo-a-passo do dimensionamento é apresentado na Figura 39, que também mostra quais são os outputs necessários para a tomada de decisão sobre o sistema dimensionado.

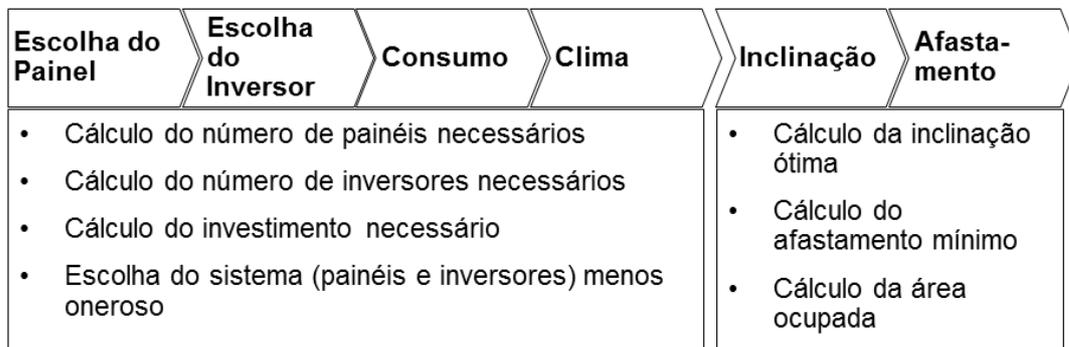


Figura 39: Passo-a-passo do dimensionamento

Como forma de automatizar esse procedimento, programou-se em Excel® um modelo que é capaz de realizar todo o passo-a-passo descrito e que permitiu a análise de vários cenários para que se fossem escolhidos o painel e o inversor adequados.

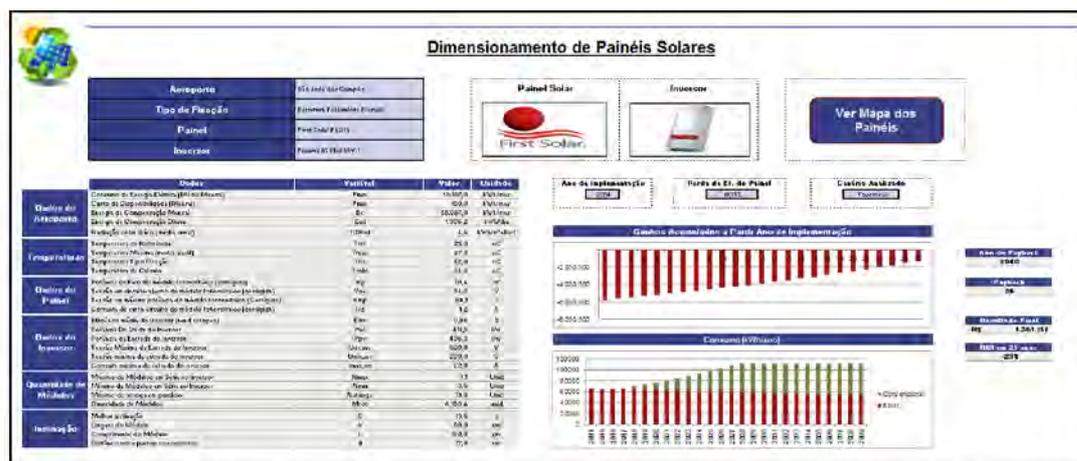


Figura 44: Modelo de dimensionamento em Excel® (elaboração própria)

#### 4. Resultados e Discussões:

##### 4.1. Dados para o dimensionamento

##### 4.1.1. Consumo de energia elétrica:

Tendo-se recebido da Infraero as informações sobre os dados de consumo dos aeroportos em estudo, obteve-se a Tabela 24.

Tabela 24: Dados de movimentação e consumo dos aeroportos

Aeroporto	Movimentação (pax)	Consumo Médio Mensal (kWh)	Custo de Disponibilidade (kWh)
São José dos Campos	160.229	55.490	100
Campina Grande	143.000	35.495	100
Corumbá	31.231	37.075	100
Boa Vista	350.000	183.086	100
Joinville	357.000	114.919	100
Palmas	579.395	310.677	100

De posse dessas informações de consumo, testou-se a correlação entre movimentação aeroportuária (em número de passageiros/ ano) e o consumo do aeroporto. Obteve-se uma correlação alta, conforme demonstrado na Figura 45.

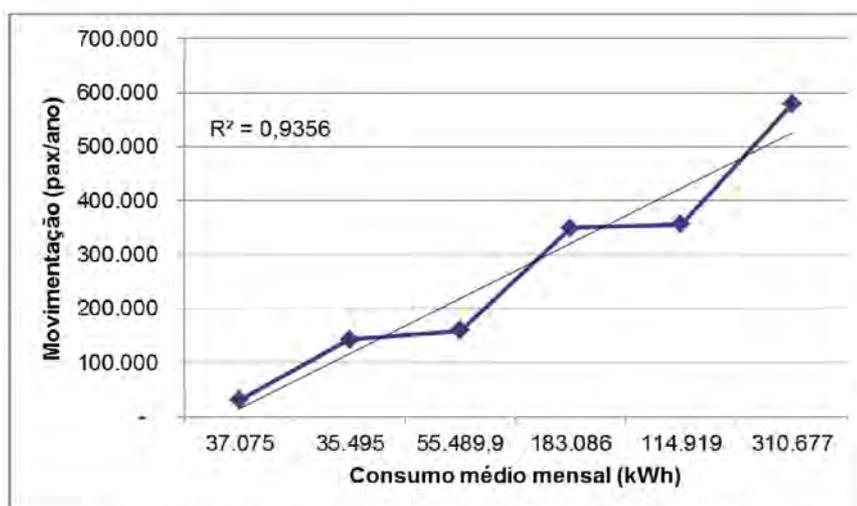


Figura 45: Correlação entre movimentação e consumo

Com essa alta correlação, pode-se supor que a evolução do consumo se daria em paralelo com a evolução da movimentação do aeroporto. Fez-se evoluir a movimentação dos aeroportos conforme feito por Moreira-Udaeta (2005), e explicado na metodologia do trabalho. O resultado da evolução dessa movimentação é mostrado na Figura 46.

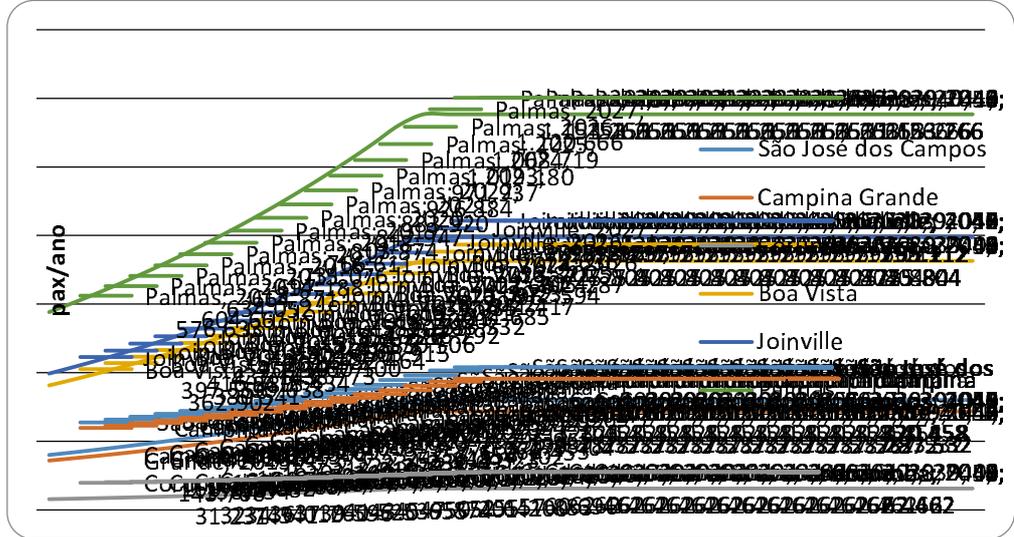


Figura 46: Evolução na movimentação aeroportuária

De posse dessa evolução, pode-se chegar à evolução do consumo, exposta na Figura 47. Vale ressaltar que essas projeções são aproximações conservadoras, já que prevê um teto para esse aumento, o que na prática, dificilmente se verifica. No entanto, vale a pena se manter uma análise mais conservadora e crítica, para que as conclusões do estudo não sejam mais favoráveis do que o mercado de energia solar no Brasil permita que seja.

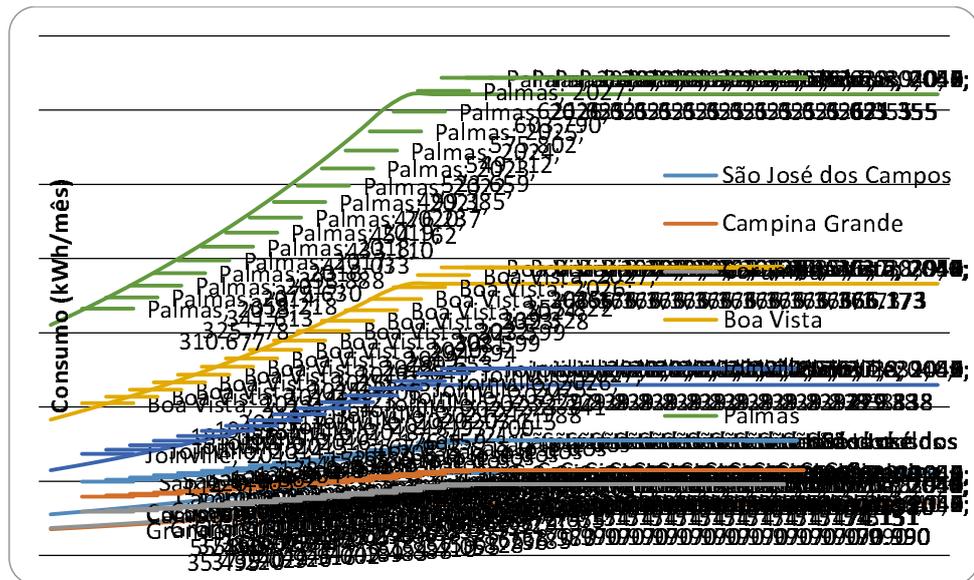


Figura 47: Evolução do consumo dos aeroportos

Como exemplo da evolução do mix de energia de um aeroporto sujeito ao estudo, a Figura 48 mostra como isso se dará para o aeroporto de Palmas ao longo dos anos de vida útil dos painéis.

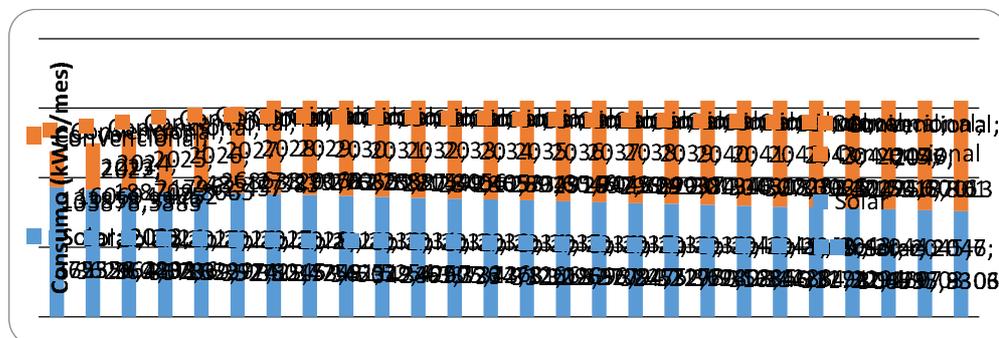


Figura 48: Evolução do consumo do aeroporto de Palmas - TO

#### 4.1.2. Tarifa da energia elétrica:

Também graças à Infraero, foi possível a obtenção das tarifas pagas atualmente por cada um dos aeroportos do estudo. Esses valores são mostrados na Tabela 25.

Tabela 25: Tarifas aeroportuárias nos aeroportos do estudo

Aeroporto	Tarifa (R\$/ kWh)
São José dos Campos	0,35
Campina Grande	0,19
Corumbá	0,24
Boa Vista	0,19
Joinville	0,42
Palmas	0,34

No entanto, além do valor da tarifa elétrica em 2014, faz-se necessária a análise da evolução desse valor ao longo dos anos de estudo. Para tanto, foram elaborados três cenários (favorável, intermediário e desfavorável), cujas curvas de projeção são apresentadas nas figuras 49 a 51 abaixo.

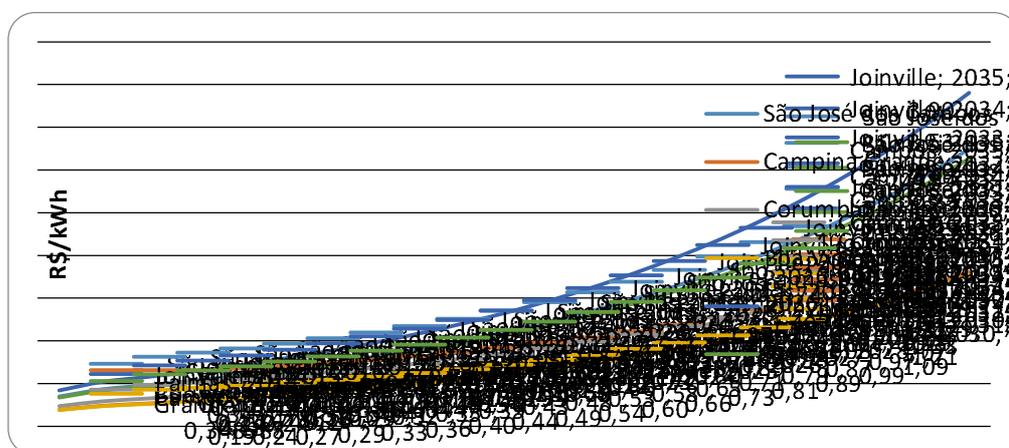


Figura 49: Evolução da tarifa elétrica – Cenário Favorável

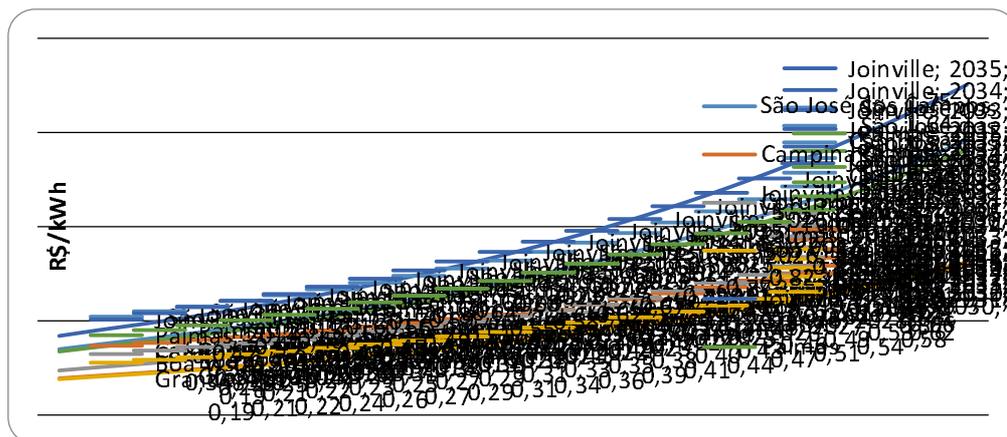


Figura 50: Evolução da tarifa elétrica – Cenário Intermediário

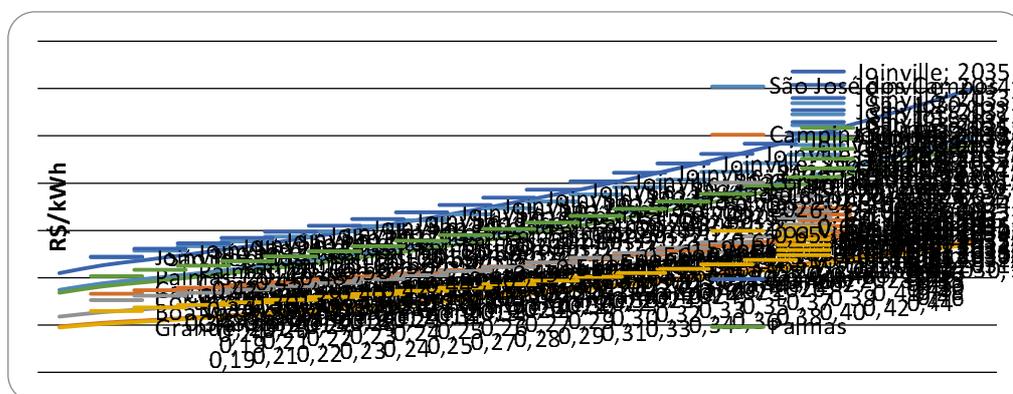


Figura 51: Evolução da tarifa – Cenário Desfavorável

#### 4.1.3. Características geográfico-climáticas:

Além dos dados de consumo, para que seja efetuado o dimensionamento, fazem-se necessários dados geográficos e climáticos das cidades onde se situam os aeroportos estudados. Conforme explicado na seção 4.2.2, obtém-se as coordenadas geográficas dos aeroportos (Tabela 26), os seus níveis de radiação e temperatura (Tabela 27) e sua altura solar (Tabela 28), que permite o cálculo da inclinação ótima do painel.

Tabela 26: Coordenadas geográficas dos aeroportos (Fonte: Google Maps)

Aeroporto	Latitude (o)	Longitude (o)
São José dos Campos	-23,1	-45,9
Campina Grande	-7,2	-35,9
Corumbá	-19,0	-57,7
Boa Vista	2,9	-60,7
Joinville	-26,2	-48,9
Palmas	-10,1	-48,3

Tabela 27: Níveis de radiação diária (Fonte: INMET e CRESESB)

Aeroporto	Temperatura (oC)	Irradiação (kWh/m <sup>2</sup> .dia-1)	Irradiação corrigida (kWh/m <sup>2</sup> .dia-1)
São José dos Campos	27,3	4,45	4,64
Campina Grande	32,0	5,09	5,08
Corumbá	30,5	5,08	5,21
Boa Vista	32,4	4,95	4,92
Joinville	24,3	4,10	4,32
Palmas	32,1	5,03	5,06

Tabela 28: Altura solar e ângulo de inclinação dos painéis

Aeroporto	Altura Solar (o)	Ângulo Painel (o)
São José dos Campos	43,5	19,6
Campina Grande	59,3	10,0
Corumbá	47,6	16,8
Boa Vista	69,5	10,0
Joinville	40,3	21,8
Palmas	56,5	10,7

De posse dos dados necessários, tornou-se possível proceder com o dimensionamento do sistema fotovoltaico dos aeroportos estudados.

## 4.2. Resultados do Dimensionamento:

### 4.2.1. Quantidade de Painéis Necessários:

A partir do modelo criado, foi obtida a Tabela 29, que traz o número de painéis que seriam necessários ser implantados nos aeroportos do escopo do estudo para que sua demanda fosse suprida integralmente no ano de 2014.

Tabela 29: Quantidade de painéis necessários

Aeroportos	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D	Painel E	Painel F	Painel G
São José dos Campos	7.315	2.670	2.520	2.464	2.324	2.380	2.464
Campina Grande	4.326	1.605	1.512	1.484	1.386	1.428	1.484
Corumbá	4.385	1.620	1.526	1.498	1.400	1.442	1.498
Boa Vista	23.088	8.550	8.040	7.868	7.406	7.574	7.868
Joinville	16.165	5.838	5.530	5.404	5.082	5.236	5.404
Palmas	38.052	14.070	13.245	12.964	12.180	12.488	12.964

### 4.2.2. Quantidade de Inversores Necessários:

Assim como para os painéis, fez-se uso do mesmo modelo em Excel<sup>®</sup> para o dimensionamento do sistema de inversores necessários.

Tabela 30: Quantidade de inversores necessários

Aeroportos	Inversor A	Inversor B	Inversor C	Inversor D
São José dos Campos	29	1	4	51
Campina Grande	17	1	2	30
Corumbá	17	1	2	31
Boa Vista	89	3	10	158
Joinville	63	2	7	112
Palmas	147	5	16	260

### 4.2.3. Área Necessária:

Apesar de já ter-se concluído que a área ocupada pelo sistema não chegaria a ser um gargalo para sua implementação, dada a alta disponibilidade de espaço, o modelo em Excel<sup>®</sup> também calculou o espaçamento mínimo entre os painéis e, com ele, a área mínima ocupada pelo sistema fotovoltaico. Esses valores estão apresentados na Tabela 31.

Tabela 31: Área Necessária para instalação do sistema fotovoltaico

Aeroporto	Afastamento entre os painéis (cm)	Área (m <sup>2</sup> )
São José dos Campos	78	16.574,9
Campina Grande	65	8.354,5
Corumbá	73	9.273,6
Boa Vista	63	26.591,3
Joinville	82	33.865,7
Palmas	66	27.804,6

### 4.3. Resultados Financeiros:

#### 4.3.1. Investimento Necessário:

Como explicitado na metodologia, foram considerados três cenários a serem simulados nesse estudo, um favorável, um intermediário e um desfavorável à implantação dos painéis.

Para cada um deles, os painéis assumem precificação diferente. Esses valores estão expostos na Tabela 32.

Tabela 32: Preço unitário dos painéis

Painel	W <sub>p</sub> (W)	Preço Unitário (R\$) - Cenário Favorável	Preço Unitário (R\$) - Cenário Intermediário	Preço Unitário (R\$) - Cenário Desfavorável
Painel A	75	496,62	771,44	1046,25
Painel B	220	1456,75	2262,88	3069,00
Painel C	230	1522,97	2365,73	3208,50
Painel D	235	1556,08	2417,16	3278,25
Painel E	250	1655,40	2571,45	3487,50
Painel F	240	1589,18	2468,59	3348,00
Painel G	235	1556,08	2417,16	3278,25

Já se tendo conhecimento do número de painéis necessários (Tabela 29) e da precificação de cada um deles (Tabela 32), obtém-se o quanto seria necessário investir em painéis em cada um dos cenários. Esses resultados são expostos nas Tabelas 33 a 35 abaixo.

Tabela 33: Investimento necessário em painéis – Cenário favorável

Aeroportos	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D	Painel E	Painel F	Painel G
São José dos Campos	3.632.775	3.889.528	3.837.879	3.834.171	3.847.150	3.782.258	3.834.171
Campina Grande	2.148.378	2.338.087	2.302.728	2.309.217	2.294.384	2.269.355	2.309.217
Corumbá	2.177.679	2.359.938	2.324.049	2.331.002	2.317.560	2.291.603	2.331.002
Boa Vista	11.465.963	12.455.230	12.244.663	12.243.206	12.259.892	12.036.480	12.243.206
Joinville	8.027.862	8.504.518	8.422.013	8.409.035	8.412.743	8.320.967	8.409.035
Palmas	18.897.384	20.496.501	20.171.711	20.172.969	20.162.772	19.845.730	20.172.969

Tabela 34: Investimento necessário em painéis – Cenário intermediário

	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D	Painel E	Painel F	Painel G
São José dos Campos	5.643.047	6.041.879	5.961.650	5.955.890	5.976.050	5.875.249	5.955.890
Campina Grande	3.337.228	3.631.916	3.576.990	3.587.070	3.564.030	3.525.149	3.587.070
Corumbá	3.382.742	3.665.859	3.610.110	3.620.910	3.600.030	3.559.710	3.620.910
Boa Vista	17.810.891	19.347.590	19.020.501	19.018.238	19.044.159	18.697.116	19.018.238
Joinville	12.470.247	13.210.670	13.082.509	13.062.349	13.068.109	12.925.548	13.062.349
Palmas	29.354.645	31.838.665	31.334.147	31.336.101	31.320.261	30.827.777	31.336.101

Tabela 35: Investimento necessário em painéis – Cenário desfavorável

Aeroporto	Painel A	Painel B	Painel C	Painel D	Painel E	Painel F	Painel G
São José dos Campos	7.653.319	8.194.230	8.085.420	8.077.608	8.104.950	7.968.240	8.077.608
Campina Grande	4.526.078	4.925.745	4.851.252	4.864.923	4.833.675	4.780.944	4.864.923
Corumbá	4.587.806	4.971.780	4.896.171	4.910.819	4.882.500	4.827.816	4.910.819
Boa Vista	24.155.820	26.239.950	25.796.340	25.793.271	25.828.425	25.357.752	25.793.271
Joinville	16.912.631	17.916.822	17.743.005	17.715.663	17.723.475	17.530.128	17.715.663
Palmas	39.811.905	43.180.830	42.496.583	42.499.233	42.477.750	41.809.824	42.499.233

Em todos os cenários e para todas as cidades, o painel A aparece como a opção mais econômica e, portanto, todas as simulações de investimento que serão apresentadas em seguida nesse estudo foram realizadas considerando-se a implementação desse modelo de painel nos aeroportos em análise.

Em seguida, fez-se análise da precificação dos inversores. Essa precificação é uma função de sua potência e é mostrada na Tabela 36.

Tabela 36: Preço unitário dos inversores

Inversor	P (kW)	Preço Unitário (R\$)
Inversor A	11,4	41.040
Inversor B	500,0	1.800.000
Inversor C	385,0	1.386.000
Inversor D	5,2	18.810

Tendo-se o preço unitário de cada um dos modelos de inversores (tabela 36), bem como a quantidade necessária de cada um (Tabela 30), chega-se ao investimento a ser realizado em inversores, exposto na Tabela 37.

Tabela 37: Investimento necessário em inversores

Aeroporto	Inversor A	Inversor B	Inversor C	Inversor D
São José dos Campos	1.190.160	1.800.000	5.544.000	959.310
Campina Grande	697.680	1.800.000	2.772.000	564.300
Corumbá	697.680	1.800.000	2.772.000	583.110
Boa Vista	3.652.560	5.400.000	13.860.000	2.971.980
Joinville	2.585.520	3.600.000	9.702.000	2.106.720
Palmas	6.032.880	9.000.000	22.176.000	4.890.600

Assim sendo, percebe-se que o modelo D é aquele que requereria o menor investimento e, portanto, será aquele considerado em todas as simulações de investimento que seguirão.

Além de inversores e painéis, consideram-se custos extras que somam 20% do valor total do investimento (Vieira-Rüther, 2010). Esses custos incluem: mão-de-obra da implantação, manutenção dos painéis, cabeamento e outros equipamentos, assim como eventuais defeitos nos painéis e inversores ao longo dos 25 anos de projeto.

As Tabelas 38 a 40 trazem o total de investimento, para os três cenários elaborados, que seria necessário efetuar no ano de 2014 a fim de se implantar um sistema fotovoltaico composto por painéis solares A e inversores D de forma a suprir integralmente a demanda por energia elétrica dos aeroportos em questão.

Tabela 38: Investimento total – Cenário favorável

<b>Aeroporto</b>	<b>Custo Painéis (R\$)</b>	<b>Custo Inversores (R\$)</b>	<b>Custos Extras (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
São José dos Campos	2.717.505	959.310	735.363	4.412.178
Campina Grande	1.607.099	564.300	434.280	2.605.678
Corumbá	1.629.017	583.110	442.425	2.654.552
Boa Vista	8.577.136	2.971.980	2.309.823	13.858.940
Joinville	6.005.259	2.106.720	1.622.396	9.734.374
Palmas	14.136.226	4.890.600	3.805.365	22.832.192

Tabela 39: Investimento total – Cenário intermediário

<b>Aeroporto</b>	<b>Custo Painéis (R\$)</b>	<b>Custo Inversores (R\$)</b>	<b>Custos Extras (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
São José dos Campos	4.221.293	959.310	1.036.121	6.216.723
Campina Grande	2.496.420	564.300	612.144	3.672.864
Corumbá	2.530.467	583.110	622.715	3.736.293
Boa Vista	13.323.473	2.971.980	3.259.091	19.554.544
Joinville	9.328.393	2.106.720	2.287.023	13.722.136
Palmas	21.958.801	4.890.600	5.369.880	32.219.281

Tabela 40: Investimento total – Cenário desfavorável

<b>Aeroporto</b>	<b>Custo Painéis (R\$)</b>	<b>Custo Inversores (R\$)</b>	<b>Custos Extras (R\$)</b>	<b>Total (R\$)</b>
São José dos Campos	5.725.080	959.310	1.336.878	8.021.269
Campina Grande	3.385.741	564.300	790.008	4.740.050
Corumbá	3.431.918	583.110	803.006	4.818.033
Boa Vista	18.069.810	2.971.980	4.208.358	25.250.148
Joinville	12.651.528	2.106.720	2.951.650	17.709.897
Palmas	29.781.376	4.890.600	6.934.395	41.606.371

#### 4.3.2. Tempo de Retorno:

O valor do investimento, por si só não é suficiente para que se chegue a uma conclusão sobre sua atratividade e a viabilidade de realiza-lo. Para tanto, é primordial que se analise o retorno que ele gerará.

Considerando-se os investimentos calculados na seção anterior e como ganhos desse investimento a redução na conta de energia elétrica dos aeroportos gerada pelo uso dos painéis solares.

##### 4.3.2.1. Análise de investimento – São José dos Campos

Para a cidade de São José dos Campos, a implantação de painéis solares no ano de 2015 geram os estudos financeiros apresentados nas Tabelas 41 a 43, para cada um dos cenários estudados.

Tabela 41: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 26.404	R\$ 133.931	R\$ 5.376.571
ano 2	23	R\$ 30.622	R\$ 145.166	R\$ 5.231.405
ano 3	22	R\$ 34.317	R\$ 152.038	R\$ 5.079.366
ano 4	21	R\$ 37.687	R\$ 156.044	R\$ 4.923.322
ano 5	20	R\$ 41.385	R\$ 160.148	R\$ 4.763.174
ano 6	19	R\$ 45.444	R\$ 164.351	R\$ 4.598.823
ano 7	18	R\$ 49.899	R\$ 168.655	R\$ 4.430.168
ano 8	17	R\$ 54.787	R\$ 173.063	R\$ 4.257.105
ano 9	16	R\$ 60.152	R\$ 177.577	R\$ 4.079.528
ano 10	15	R\$ 66.037	R\$ 182.199	R\$ 3.897.329
ano 11	14	R\$ 72.495	R\$ 186.930	R\$ 3.710.399
ano 12	13	R\$ 79.579	R\$ 191.774	R\$ 3.518.625
ano 13	12	R\$ 87.351	R\$ 196.732	R\$ 3.321.893
ano 14	11	R\$ 95.877	R\$ 201.807	R\$ 3.120.086
ano 15	10	R\$ 105.228	R\$ 207.000	R\$ 2.913.086
ano 16	9	R\$ 115.485	R\$ 212.314	R\$ 2.700.772
ano 17	8	R\$ 126.734	R\$ 217.752	R\$ 2.483.020
ano 18	7	R\$ 139.069	R\$ 223.315	R\$ 2.259.705
ano 19	6	R\$ 152.597	R\$ 229.006	R\$ 2.030.698
ano 20	5	R\$ 167.429	R\$ 234.828	R\$ 1.795.871
ano 21	4	R\$ 183.691	R\$ 240.781	R\$ 1.555.090
ano 22	3	R\$ 201.519	R\$ 246.870	R\$ 1.308.220
ano 23	2	R\$ 221.063	R\$ 253.095	R\$ 1.055.124
ano 24	1	R\$ 242.487	R\$ 259.461	R\$ 795.664
ano 25	0	R\$ 265.968	R\$ 265.968	R\$ 529.696

Tabela 42: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário intermediário)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 22.997	R\$ 116.650	R\$ 7.806.179
ano 2	23	R\$ 25.803	R\$ 122.320	R\$ 7.683.859
ano 3	22	R\$ 27.975	R\$ 123.940	R\$ 7.559.919
ano 4	21	R\$ 29.722	R\$ 123.065	R\$ 7.436.853
ano 5	20	R\$ 31.576	R\$ 122.191	R\$ 7.314.663
ano 6	19	R\$ 33.545	R\$ 121.316	R\$ 7.193.347
ano 7	18	R\$ 35.634	R\$ 120.441	R\$ 7.072.906
ano 8	17	R\$ 37.852	R\$ 119.566	R\$ 6.953.340
ano 9	16	R\$ 40.205	R\$ 118.691	R\$ 6.834.649
ano 10	15	R\$ 42.702	R\$ 117.816	R\$ 6.716.833
ano 11	14	R\$ 45.352	R\$ 116.941	R\$ 6.599.891
ano 12	13	R\$ 48.163	R\$ 116.067	R\$ 6.483.825
ano 13	12	R\$ 51.146	R\$ 115.192	R\$ 6.368.633
ano 14	11	R\$ 54.311	R\$ 114.317	R\$ 6.254.316
ano 15	10	R\$ 57.668	R\$ 113.442	R\$ 6.140.874
ano 16	9	R\$ 61.229	R\$ 112.567	R\$ 6.028.307
ano 17	8	R\$ 65.006	R\$ 111.692	R\$ 5.916.615
ano 18	7	R\$ 69.011	R\$ 110.817	R\$ 5.805.798
ano 19	6	R\$ 73.259	R\$ 109.942	R\$ 5.695.856
ano 20	5	R\$ 77.764	R\$ 109.068	R\$ 5.586.788
ano 21	4	R\$ 82.540	R\$ 108.193	R\$ 5.478.595
ano 22	3	R\$ 87.603	R\$ 107.318	R\$ 5.371.278
ano 23	2	R\$ 92.971	R\$ 106.443	R\$ 5.264.835
ano 24	1	R\$ 98.662	R\$ 105.568	R\$ 5.159.267
ano 25	0	R\$ 104.693	R\$ 104.693	R\$ 5.054.574

Tabela 43: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 22.997	R\$ 116.650	R\$ 10.218.505
ano 2	23	R\$ 25.321	R\$ 120.033	R\$ 10.098.471
ano 3	22	R\$ 26.939	R\$ 119.350	R\$ 9.979.121
ano 4	21	R\$ 28.086	R\$ 116.293	R\$ 9.862.828
ano 5	20	R\$ 29.281	R\$ 113.308	R\$ 9.749.520
ano 6	19	R\$ 30.525	R\$ 110.394	R\$ 9.639.127
ano 7	18	R\$ 31.820	R\$ 107.549	R\$ 9.531.577
ano 8	17	R\$ 33.168	R\$ 104.772	R\$ 9.426.805
ano 9	16	R\$ 34.572	R\$ 102.062	R\$ 9.324.744
ano 10	15	R\$ 36.033	R\$ 99.416	R\$ 9.225.328
ano 11	14	R\$ 37.554	R\$ 96.833	R\$ 9.128.495
ano 12	13	R\$ 39.136	R\$ 94.312	R\$ 9.034.183
ano 13	12	R\$ 40.783	R\$ 91.852	R\$ 8.942.331
ano 14	11	R\$ 42.497	R\$ 89.450	R\$ 8.852.881
ano 15	10	R\$ 44.281	R\$ 87.107	R\$ 8.765.774
ano 16	9	R\$ 46.136	R\$ 84.819	R\$ 8.680.955
ano 17	8	R\$ 48.066	R\$ 82.587	R\$ 8.598.368
ano 18	7	R\$ 50.074	R\$ 80.408	R\$ 8.517.960
ano 19	6	R\$ 52.163	R\$ 78.282	R\$ 8.439.677
ano 20	5	R\$ 54.335	R\$ 76.208	R\$ 8.363.469
ano 21	4	R\$ 56.594	R\$ 74.184	R\$ 8.289.286
ano 22	3	R\$ 58.944	R\$ 72.208	R\$ 8.217.077
ano 23	2	R\$ 61.386	R\$ 70.281	R\$ 8.146.796
ano 24	1	R\$ 63.926	R\$ 68.401	R\$ 8.078.396
ano 25	0	R\$ 66.566	R\$ 66.566	R\$ 8.011.830

Pode-se perceber que para o aeroporto de São José dos Campos, é inviável a implantação de painéis solares em 2015, mesmo que todas as hipóteses do cenário favorável se concretizem.

Continuando-se as análises, realizaram-se os mesmo procedimentos para os anos seguintes, sempre considerando as projeções descritas (preço de painéis, preço do kWh, evolução do consumo, etc.) e considerando, também, que o dimensionamento é sempre realizado para suprir 100% da demanda por eletricidade no ano de sua implantação, percebe-se para São José dos Campos que em 2016, esse investimento se torna viável para o cenário favorável e permanece inviável por todo o horizonte estudado para os cenários intermediário e desfavorável.

Tabela 44: Estudo financeiro – São José dos Campos, 2016 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 30.622	R\$ 155.328	R\$ 5.050.021
ano 2	23	R\$ 34.559	R\$ 163.829	R\$ 4.886.192
ano 3	22	R\$ 37.955	R\$ 168.155	R\$ 4.718.037
ano 4	21	R\$ 41.682	R\$ 172.585	R\$ 4.545.452
ano 5	20	R\$ 45.772	R\$ 177.124	R\$ 4.368.329
ano 6	19	R\$ 50.261	R\$ 181.772	R\$ 4.186.557
ano 7	18	R\$ 55.188	R\$ 186.533	R\$ 4.000.024
ano 8	17	R\$ 60.595	R\$ 191.408	R\$ 3.808.616
ano 9	16	R\$ 66.528	R\$ 196.400	R\$ 3.612.216
ano 10	15	R\$ 73.037	R\$ 201.512	R\$ 3.410.704
ano 11	14	R\$ 80.179	R\$ 206.745	R\$ 3.203.959
ano 12	13	R\$ 88.015	R\$ 212.102	R\$ 2.991.857
ano 13	12	R\$ 96.611	R\$ 217.586	R\$ 2.774.271
ano 14	11	R\$ 106.040	R\$ 223.198	R\$ 2.551.073
ano 15	10	R\$ 116.382	R\$ 228.942	R\$ 2.322.131
ano 16	9	R\$ 127.726	R\$ 234.820	R\$ 2.087.312
ano 17	8	R\$ 140.167	R\$ 240.834	R\$ 1.846.478
ano 18	7	R\$ 153.811	R\$ 246.987	R\$ 1.599.491
ano 19	6	R\$ 168.772	R\$ 253.281	R\$ 1.346.210
ano 20	5	R\$ 185.176	R\$ 259.719	R\$ 1.086.491
ano 21	4	R\$ 203.162	R\$ 266.304	R\$ 820.187
ano 22	3	R\$ 222.880	R\$ 273.038	R\$ 547.149
ano 23	2	R\$ 244.496	R\$ 279.924	R\$ 267.226
ano 24	1	R\$ 268.190	R\$ 286.963	-R\$ 19.738
ano 25	0	R\$ 294.160	R\$ 294.160	-R\$ 313.898

Apesar de favorável, mesmo em 2016, trata-se de um investimento difícil, com altíssimo tempo de retorno (24 anos).

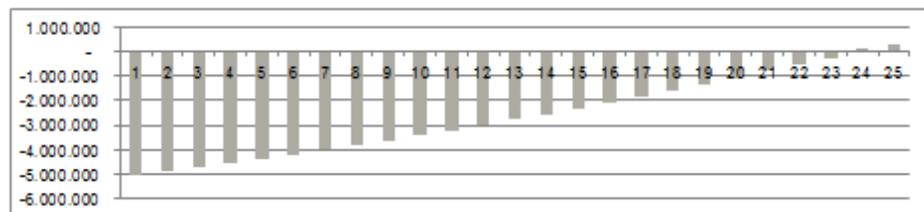


Figura 52: Análise financeira – Aeroporto de São José dos Campos, 2015 (cenário favorável)

#### 4.3.2.2. Análise de investimento – Campina Grande

Para a cidade de Campina Grande, a implantação de painéis solares no ano de 2015 geram os estudos financeiros apresentados nas Tabelas 45 a 47, para cada um dos cenários estudados.

Tabela 45: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 9.394	R\$ 47.649	R\$ 3.207.565
ano 2	23	R\$ 10.894	R\$ 51.646	R\$ 3.155.920
ano 3	22	R\$ 12.209	R\$ 54.091	R\$ 3.101.829
ano 4	21	R\$ 13.408	R\$ 55.516	R\$ 3.046.313
ano 5	20	R\$ 14.724	R\$ 56.976	R\$ 2.989.338
ano 6	19	R\$ 16.168	R\$ 58.471	R\$ 2.930.867
ano 7	18	R\$ 17.753	R\$ 60.002	R\$ 2.870.865
ano 8	17	R\$ 19.492	R\$ 61.571	R\$ 2.809.294
ano 9	16	R\$ 21.400	R\$ 63.176	R\$ 2.746.118
ano 10	15	R\$ 23.494	R\$ 64.821	R\$ 2.681.297
ano 11	14	R\$ 25.791	R\$ 66.504	R\$ 2.614.793
ano 12	13	R\$ 28.312	R\$ 68.227	R\$ 2.546.566
ano 13	12	R\$ 31.077	R\$ 69.991	R\$ 2.476.575
ano 14	11	R\$ 34.110	R\$ 71.796	R\$ 2.404.779
ano 15	10	R\$ 37.437	R\$ 73.644	R\$ 2.331.135
ano 16	9	R\$ 41.086	R\$ 75.535	R\$ 2.255.600
ano 17	8	R\$ 45.088	R\$ 77.469	R\$ 2.178.130
ano 18	7	R\$ 49.477	R\$ 79.449	R\$ 2.098.682
ano 19	6	R\$ 54.289	R\$ 81.473	R\$ 2.017.209
ano 20	5	R\$ 59.566	R\$ 83.544	R\$ 1.933.664
ano 21	4	R\$ 65.351	R\$ 85.662	R\$ 1.848.002
ano 22	3	R\$ 71.694	R\$ 87.829	R\$ 1.760.173
ano 23	2	R\$ 78.647	R\$ 90.043	R\$ 1.670.130
ano 24	1	R\$ 86.269	R\$ 92.308	R\$ 1.577.822
ano 25	0	R\$ 94.623	R\$ 94.623	R\$ 1.483.199

Tabela 46: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário intermediário)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 8.182	R\$ 41.500	R\$ 4.640.333
ano 2	23	R\$ 9.180	R\$ 43.518	R\$ 4.596.816
ano 3	22	R\$ 9.953	R\$ 44.094	R\$ 4.552.721
ano 4	21	R\$ 10.574	R\$ 43.783	R\$ 4.508.939
ano 5	20	R\$ 11.234	R\$ 43.472	R\$ 4.465.467
ano 6	19	R\$ 11.934	R\$ 43.160	R\$ 4.422.307
ano 7	18	R\$ 12.677	R\$ 42.849	R\$ 4.379.458
ano 8	17	R\$ 13.466	R\$ 42.538	R\$ 4.336.920
ano 9	16	R\$ 14.304	R\$ 42.227	R\$ 4.294.693
ano 10	15	R\$ 15.192	R\$ 41.915	R\$ 4.252.778
ano 11	14	R\$ 16.135	R\$ 41.604	R\$ 4.211.174
ano 12	13	R\$ 17.135	R\$ 41.293	R\$ 4.169.881
ano 13	12	R\$ 18.196	R\$ 40.982	R\$ 4.128.899
ano 14	11	R\$ 19.322	R\$ 40.670	R\$ 4.088.229
ano 15	10	R\$ 20.517	R\$ 40.359	R\$ 4.047.870
ano 16	9	R\$ 21.783	R\$ 40.048	R\$ 4.007.822
ano 17	8	R\$ 23.127	R\$ 39.737	R\$ 3.968.086
ano 18	7	R\$ 24.552	R\$ 39.425	R\$ 3.928.660
ano 19	6	R\$ 26.063	R\$ 39.114	R\$ 3.889.546
ano 20	5	R\$ 27.666	R\$ 38.803	R\$ 3.850.743
ano 21	4	R\$ 29.365	R\$ 38.492	R\$ 3.812.252
ano 22	3	R\$ 31.166	R\$ 38.180	R\$ 3.774.072
ano 23	2	R\$ 33.076	R\$ 37.869	R\$ 3.736.203
ano 24	1	R\$ 35.101	R\$ 37.558	R\$ 3.698.645
ano 25	0	R\$ 37.247	R\$ 37.247	R\$ 3.661.398

Tabela 47: Estudo financeiro – Campina Grande, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 8.182	R\$ 41.500	R\$ 6.066.953
ano 2	23	R\$ 9.008	R\$ 42.704	R\$ 6.024.249
ano 3	22	R\$ 9.584	R\$ 42.461	R\$ 5.981.787
ano 4	21	R\$ 9.992	R\$ 41.373	R\$ 5.940.414
ano 5	20	R\$ 10.417	R\$ 40.311	R\$ 5.900.103
ano 6	19	R\$ 10.860	R\$ 39.275	R\$ 5.860.828
ano 7	18	R\$ 11.321	R\$ 38.263	R\$ 5.822.565
ano 8	17	R\$ 11.800	R\$ 37.275	R\$ 5.785.291
ano 9	16	R\$ 12.300	R\$ 36.310	R\$ 5.748.980
ano 10	15	R\$ 12.819	R\$ 35.369	R\$ 5.713.611
ano 11	14	R\$ 13.360	R\$ 34.450	R\$ 5.679.161
ano 12	13	R\$ 13.923	R\$ 33.553	R\$ 5.645.608
ano 13	12	R\$ 14.509	R\$ 32.678	R\$ 5.612.930
ano 14	11	R\$ 15.119	R\$ 31.824	R\$ 5.581.106
ano 15	10	R\$ 15.754	R\$ 30.990	R\$ 5.550.117
ano 16	9	R\$ 16.414	R\$ 30.176	R\$ 5.519.941
ano 17	8	R\$ 17.100	R\$ 29.382	R\$ 5.490.559
ano 18	7	R\$ 17.815	R\$ 28.607	R\$ 5.461.952
ano 19	6	R\$ 18.558	R\$ 27.850	R\$ 5.434.102
ano 20	5	R\$ 19.331	R\$ 27.112	R\$ 5.406.989
ano 21	4	R\$ 20.134	R\$ 26.392	R\$ 5.380.597
ano 22	3	R\$ 20.970	R\$ 25.689	R\$ 5.354.908
ano 23	2	R\$ 21.839	R\$ 25.004	R\$ 5.329.904
ano 24	1	R\$ 22.743	R\$ 24.335	R\$ 5.305.569
ano 25	0	R\$ 23.682	R\$ 23.682	R\$ 5.281.887

Para o aeroporto de Campina Grande, também, é inviável a implantação de painéis solares em 2015, para o cenário favorável.

Continuando-se as análises, percebe-se para Campina Grande, que em 2019, esse investimento se torna viável para o cenário favorável e permanece inviável por todo o horizonte estudado para os cenários intermediário e desfavorável.

Tabela 48: Estudo financeiro – Campina Grande, 2019 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 15.321	R\$ 77.713	R\$ 2.527.965
ano 2	23	R\$ 16.634	R\$ 78.854	R\$ 2.449.111
ano 3	22	R\$ 18.268	R\$ 80.936	R\$ 2.368.175
ano 4	21	R\$ 20.062	R\$ 83.069	R\$ 2.285.106
ano 5	20	R\$ 22.031	R\$ 85.253	R\$ 2.199.853
ano 6	19	R\$ 24.192	R\$ 87.490	R\$ 2.112.363
ano 7	18	R\$ 26.563	R\$ 89.782	R\$ 2.022.581
ano 8	17	R\$ 29.165	R\$ 92.128	R\$ 1.930.453
ano 9	16	R\$ 32.021	R\$ 94.531	R\$ 1.835.922
ano 10	15	R\$ 35.154	R\$ 96.991	R\$ 1.738.930
ano 11	14	R\$ 38.592	R\$ 99.510	R\$ 1.639.420
ano 12	13	R\$ 42.363	R\$ 102.089	R\$ 1.537.331
ano 13	12	R\$ 46.501	R\$ 104.728	R\$ 1.432.603
ano 14	11	R\$ 51.039	R\$ 107.429	R\$ 1.325.174
ano 15	10	R\$ 56.017	R\$ 110.194	R\$ 1.214.979
ano 16	9	R\$ 61.477	R\$ 113.023	R\$ 1.101.956
ano 17	8	R\$ 67.465	R\$ 115.918	R\$ 986.038
ano 18	7	R\$ 74.032	R\$ 118.879	R\$ 867.159
ano 19	6	R\$ 81.233	R\$ 121.909	R\$ 745.250
ano 20	5	R\$ 89.129	R\$ 125.008	R\$ 620.242
ano 21	4	R\$ 97.786	R\$ 128.177	R\$ 492.065
ano 22	3	R\$ 107.277	R\$ 131.418	R\$ 360.647
ano 23	2	R\$ 117.681	R\$ 134.733	R\$ 225.914
ano 24	1	R\$ 129.085	R\$ 138.121	R\$ 87.793
ano 25	0	R\$ 141.585	R\$ 141.585	-R\$ 53.792

Apesar de favorável, mesmo em 2019, trata-se de um investimento difícil, com altíssimo tempo de retorno (25 anos). Ou seja, se qualquer uma das hipóteses não se confirmar (o que é provável de se ocorrer), o investimento passa a ser desinteressante.

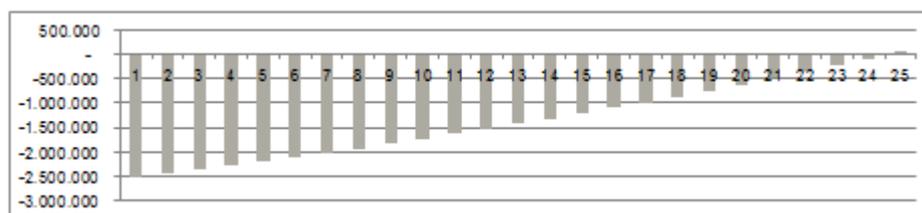


Figura 53: Análise financeira – Aeroporto de Campina Grande, 2019 (cenário favorável)

#### 4.3.2.3. Análise de investimento – Corumbá

Para a cidade de Corumbá, a implantação de painéis solares no ano de 2015 geram os estudos financeiros apresentados nas Tabelas 49 a 51, para cada um dos cenários estudados.

Tabela 49: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário favorável)

<b>Tempo</b>	<b>Número de anos até o final</b>	<b>Economia (R\$)</b>	<b>Valor fim 25 anos (R\$)</b>	<b>Saldo Devedor (R\$)</b>
ano 1	24	R\$ 11.927	R\$ 60.500	R\$ 3.252.446
ano 2	23	R\$ 13.833	R\$ 65.575	R\$ 3.186.871
ano 3	22	R\$ 15.502	R\$ 68.680	R\$ 3.118.192
ano 4	21	R\$ 17.024	R\$ 70.489	R\$ 3.047.702
ano 5	20	R\$ 18.695	R\$ 72.343	R\$ 2.975.360
ano 6	19	R\$ 20.528	R\$ 74.241	R\$ 2.901.118
ano 7	18	R\$ 22.541	R\$ 76.186	R\$ 2.824.932
ano 8	17	R\$ 24.749	R\$ 78.177	R\$ 2.746.755
ano 9	16	R\$ 27.172	R\$ 80.216	R\$ 2.666.539
ano 10	15	R\$ 29.831	R\$ 82.304	R\$ 2.584.236
ano 11	14	R\$ 32.748	R\$ 84.441	R\$ 2.499.794
ano 12	13	R\$ 35.948	R\$ 86.629	R\$ 2.413.165
ano 13	12	R\$ 39.459	R\$ 88.869	R\$ 2.324.297
ano 14	11	R\$ 43.310	R\$ 91.161	R\$ 2.233.135
ano 15	10	R\$ 47.534	R\$ 93.507	R\$ 2.139.628
ano 16	9	R\$ 52.167	R\$ 95.908	R\$ 2.043.721
ano 17	8	R\$ 57.249	R\$ 98.364	R\$ 1.945.357
ano 18	7	R\$ 62.821	R\$ 100.877	R\$ 1.844.480
ano 19	6	R\$ 68.932	R\$ 103.448	R\$ 1.741.032
ano 20	5	R\$ 75.632	R\$ 106.077	R\$ 1.634.954
ano 21	4	R\$ 82.978	R\$ 108.767	R\$ 1.526.187
ano 22	3	R\$ 91.031	R\$ 111.517	R\$ 1.414.670
ano 23	2	R\$ 99.860	R\$ 114.330	R\$ 1.300.340
ano 24	1	R\$ 109.537	R\$ 117.205	R\$ 1.183.136
ano 25	0	R\$ 120.144	R\$ 120.144	R\$ 1.062.991

Tabela 50: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário intermediário)

<b>Tempo</b>	<b>Número de anos até o final</b>	<b>Economia (R\$)</b>	<b>Valor fim 25 anos (R\$)</b>	<b>Saldo Devedor (R\$)</b>
ano 1	24	R\$ 10.388	R\$ 52.694	R\$ 4.706.329
ano 2	23	R\$ 11.656	R\$ 55.255	R\$ 4.651.074
ano 3	22	R\$ 12.637	R\$ 55.987	R\$ 4.595.088
ano 4	21	R\$ 13.426	R\$ 55.592	R\$ 4.539.496
ano 5	20	R\$ 14.264	R\$ 55.197	R\$ 4.484.299
ano 6	19	R\$ 15.153	R\$ 54.801	R\$ 4.429.498
ano 7	18	R\$ 16.097	R\$ 54.406	R\$ 4.375.092
ano 8	17	R\$ 17.098	R\$ 54.011	R\$ 4.321.081
ano 9	16	R\$ 18.162	R\$ 53.616	R\$ 4.267.465
ano 10	15	R\$ 19.290	R\$ 53.221	R\$ 4.214.244
ano 11	14	R\$ 20.487	R\$ 52.825	R\$ 4.161.419
ano 12	13	R\$ 21.757	R\$ 52.430	R\$ 4.108.989
ano 13	12	R\$ 23.104	R\$ 52.035	R\$ 4.056.954
ano 14	11	R\$ 24.534	R\$ 51.640	R\$ 4.005.314
ano 15	10	R\$ 26.050	R\$ 51.245	R\$ 3.954.070
ano 16	9	R\$ 27.659	R\$ 50.849	R\$ 3.903.220
ano 17	8	R\$ 29.365	R\$ 50.454	R\$ 3.852.766
ano 18	7	R\$ 31.174	R\$ 50.059	R\$ 3.802.707
ano 19	6	R\$ 33.093	R\$ 49.664	R\$ 3.753.043
ano 20	5	R\$ 35.128	R\$ 49.269	R\$ 3.703.775
ano 21	4	R\$ 37.285	R\$ 48.873	R\$ 3.654.902
ano 22	3	R\$ 39.573	R\$ 48.478	R\$ 3.606.423
ano 23	2	R\$ 41.997	R\$ 48.083	R\$ 3.558.341
ano 24	1	R\$ 44.568	R\$ 47.688	R\$ 3.510.653
ano 25	0	R\$ 47.293	R\$ 47.293	R\$ 3.463.360

Tabela 51: Estudo financeiro – Corumbá, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 10.388	R\$ 52.694	R\$ 6.152.406
ano 2	23	R\$ 11.438	R\$ 54.222	R\$ 6.098.184
ano 3	22	R\$ 12.169	R\$ 53.914	R\$ 6.044.270
ano 4	21	R\$ 12.687	R\$ 52.532	R\$ 5.991.738
ano 5	20	R\$ 13.227	R\$ 51.184	R\$ 5.940.554
ano 6	19	R\$ 13.789	R\$ 49.868	R\$ 5.890.686
ano 7	18	R\$ 14.374	R\$ 48.583	R\$ 5.842.104
ano 8	17	R\$ 14.983	R\$ 47.328	R\$ 5.794.775
ano 9	16	R\$ 15.617	R\$ 46.104	R\$ 5.748.672
ano 10	15	R\$ 16.277	R\$ 44.909	R\$ 5.703.763
ano 11	14	R\$ 16.964	R\$ 43.742	R\$ 5.660.021
ano 12	13	R\$ 17.679	R\$ 42.603	R\$ 5.617.418
ano 13	12	R\$ 18.423	R\$ 41.492	R\$ 5.575.926
ano 14	11	R\$ 19.197	R\$ 40.407	R\$ 5.535.519
ano 15	10	R\$ 20.003	R\$ 39.348	R\$ 5.496.171
ano 16	9	R\$ 20.841	R\$ 38.315	R\$ 5.457.856
ano 17	8	R\$ 21.713	R\$ 37.307	R\$ 5.420.550
ano 18	7	R\$ 22.620	R\$ 36.322	R\$ 5.384.227
ano 19	6	R\$ 23.563	R\$ 35.362	R\$ 5.348.865
ano 20	5	R\$ 24.545	R\$ 34.425	R\$ 5.314.440
ano 21	4	R\$ 25.565	R\$ 33.511	R\$ 5.280.929
ano 22	3	R\$ 26.626	R\$ 32.618	R\$ 5.248.311
ano 23	2	R\$ 27.730	R\$ 31.748	R\$ 5.216.563
ano 24	1	R\$ 28.877	R\$ 30.898	R\$ 5.185.665
ano 25	0	R\$ 30.069	R\$ 30.069	R\$ 5.155.596

Para o aeroporto de Campina Grande, também, é inviável a implantação de painéis solares em 2015, para o cenário favorável.

Continuando-se as análises, percebe-se para Corumbá, que em 2018, esse investimento se torna viável para o cenário favorável e permanece inviável por todo o horizonte estudado para os cenários intermediário e desfavorável.

Tabela 52: Estudo financeiro – Corumbá, 2018 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 17.589	R\$ 89.217	R\$ 2.712.472
ano 2	23	R\$ 19.096	R\$ 90.527	R\$ 2.621.946
ano 3	22	R\$ 20.972	R\$ 92.917	R\$ 2.529.029
ano 4	21	R\$ 23.032	R\$ 95.365	R\$ 2.433.664
ano 5	20	R\$ 25.292	R\$ 97.873	R\$ 2.335.792
ano 6	19	R\$ 27.773	R\$ 100.441	R\$ 2.235.351
ano 7	18	R\$ 30.495	R\$ 103.072	R\$ 2.132.279
ano 8	17	R\$ 33.483	R\$ 105.766	R\$ 2.026.513
ano 9	16	R\$ 36.761	R\$ 108.524	R\$ 1.917.989
ano 10	15	R\$ 40.358	R\$ 111.349	R\$ 1.806.641
ano 11	14	R\$ 44.304	R\$ 114.240	R\$ 1.692.400
ano 12	13	R\$ 48.634	R\$ 117.200	R\$ 1.575.200
ano 13	12	R\$ 53.384	R\$ 120.230	R\$ 1.454.969
ano 14	11	R\$ 58.594	R\$ 123.332	R\$ 1.331.638
ano 15	10	R\$ 64.309	R\$ 126.506	R\$ 1.205.132
ano 16	9	R\$ 70.577	R\$ 129.753	R\$ 1.075.379
ano 17	8	R\$ 77.452	R\$ 133.077	R\$ 942.302
ano 18	7	R\$ 84.991	R\$ 136.476	R\$ 805.825
ano 19	6	R\$ 93.258	R\$ 139.955	R\$ 665.871
ano 20	5	R\$ 102.322	R\$ 143.512	R\$ 522.359
ano 21	4	R\$ 112.261	R\$ 147.151	R\$ 375.208
ano 22	3	R\$ 123.156	R\$ 150.872	R\$ 224.337
ano 23	2	R\$ 135.100	R\$ 154.676	R\$ 69.660
ano 24	1	R\$ 148.193	R\$ 158.566	-R\$ 88.906
ano 25	0	R\$ 162.543	R\$ 162.543	-R\$ 251.449

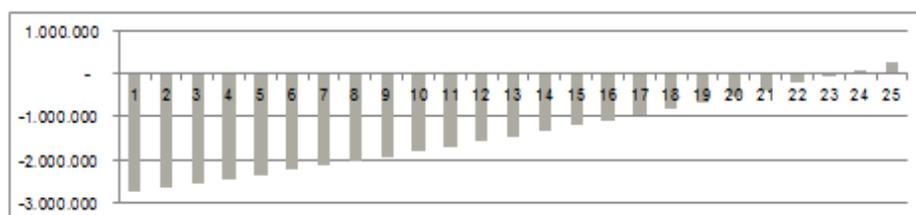


Figura 54: Análise financeira – Aeroporto de Corumbá, 2018 (cenário favorável)

#### 4.3.2.4. Análise de investimento – Boa Vista

Para a cidade de Boa Vista, a implantação de painéis solares no ano de 2015 geram os estudos financeiros apresentados nas Tabelas 53 a 55, para cada um dos cenários estudados.

Tabela 53: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 47.430	R\$ 240.584	R\$ 17.084.947
ano 2	23	R\$ 55.008	R\$ 260.766	R\$ 16.824.181
ano 3	22	R\$ 61.645	R\$ 273.111	R\$ 16.551.070
ano 4	21	R\$ 67.698	R\$ 280.307	R\$ 16.270.764
ano 5	20	R\$ 74.341	R\$ 287.678	R\$ 15.983.086
ano 6	19	R\$ 81.633	R\$ 295.228	R\$ 15.687.858
ano 7	18	R\$ 89.635	R\$ 302.960	R\$ 15.384.898
ano 8	17	R\$ 98.416	R\$ 310.878	R\$ 15.074.020
ano 9	16	R\$ 108.052	R\$ 318.986	R\$ 14.755.034
ano 10	15	R\$ 118.624	R\$ 327.288	R\$ 14.427.745
ano 11	14	R\$ 130.224	R\$ 335.788	R\$ 14.091.958
ano 12	13	R\$ 142.951	R\$ 344.489	R\$ 13.747.469
ano 13	12	R\$ 156.912	R\$ 353.395	R\$ 13.394.074
ano 14	11	R\$ 172.226	R\$ 362.510	R\$ 13.031.564
ano 15	10	R\$ 189.024	R\$ 371.839	R\$ 12.659.724
ano 16	9	R\$ 207.449	R\$ 381.386	R\$ 12.278.339
ano 17	8	R\$ 227.655	R\$ 391.154	R\$ 11.887.185
ano 18	7	R\$ 249.814	R\$ 401.147	R\$ 11.486.038
ano 19	6	R\$ 274.113	R\$ 411.370	R\$ 11.074.668
ano 20	5	R\$ 300.757	R\$ 421.827	R\$ 10.652.841
ano 21	4	R\$ 329.969	R\$ 432.522	R\$ 10.220.320
ano 22	3	R\$ 361.994	R\$ 443.459	R\$ 9.776.861
ano 23	2	R\$ 397.102	R\$ 454.642	R\$ 9.322.219
ano 24	1	R\$ 435.585	R\$ 466.076	R\$ 8.856.143
ano 25	0	R\$ 477.764	R\$ 477.764	R\$ 8.378.379

Tabela 54: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário intermediário)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 41.310	R\$ 209.541	R\$ 24.729.905
ano 2	23	R\$ 46.351	R\$ 219.726	R\$ 24.510.178
ano 3	22	R\$ 50.252	R\$ 222.637	R\$ 24.287.541
ano 4	21	R\$ 53.390	R\$ 221.066	R\$ 24.066.475
ano 5	20	R\$ 56.721	R\$ 219.494	R\$ 23.846.981
ano 6	19	R\$ 60.257	R\$ 217.923	R\$ 23.629.059
ano 7	18	R\$ 64.010	R\$ 216.351	R\$ 23.412.707
ano 8	17	R\$ 67.994	R\$ 214.780	R\$ 23.197.928
ano 9	16	R\$ 72.221	R\$ 213.208	R\$ 22.984.720
ano 10	15	R\$ 76.707	R\$ 211.636	R\$ 22.773.084
ano 11	14	R\$ 81.467	R\$ 210.065	R\$ 22.563.019
ano 12	13	R\$ 86.517	R\$ 208.493	R\$ 22.354.525
ano 13	12	R\$ 91.876	R\$ 206.922	R\$ 22.147.604
ano 14	11	R\$ 97.560	R\$ 205.350	R\$ 21.942.253
ano 15	10	R\$ 103.591	R\$ 203.779	R\$ 21.738.475
ano 16	9	R\$ 109.987	R\$ 202.207	R\$ 21.536.268
ano 17	8	R\$ 116.772	R\$ 200.636	R\$ 21.335.632
ano 18	7	R\$ 123.967	R\$ 199.064	R\$ 21.136.568
ano 19	6	R\$ 131.598	R\$ 197.492	R\$ 20.939.076
ano 20	5	R\$ 139.689	R\$ 195.921	R\$ 20.743.155
ano 21	4	R\$ 148.268	R\$ 194.349	R\$ 20.548.806
ano 22	3	R\$ 157.364	R\$ 192.778	R\$ 20.356.028
ano 23	2	R\$ 167.007	R\$ 191.206	R\$ 20.164.822
ano 24	1	R\$ 177.229	R\$ 189.635	R\$ 19.975.187
ano 25	0	R\$ 188.063	R\$ 188.063	R\$ 19.787.124

Tabela 55: Estudo financeiro – Boa Vista, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 41.310	R\$ 209.541	R\$ 32.343.819
ano 2	23	R\$ 45.484	R\$ 215.619	R\$ 32.128.200
ano 3	22	R\$ 48.391	R\$ 214.392	R\$ 31.913.808
ano 4	21	R\$ 50.452	R\$ 208.900	R\$ 31.704.908
ano 5	20	R\$ 52.598	R\$ 203.538	R\$ 31.501.370
ano 6	19	R\$ 54.833	R\$ 198.303	R\$ 31.303.067
ano 7	18	R\$ 57.159	R\$ 193.193	R\$ 31.109.873
ano 8	17	R\$ 59.581	R\$ 188.205	R\$ 30.921.668
ano 9	16	R\$ 62.102	R\$ 183.336	R\$ 30.738.332
ano 10	15	R\$ 64.727	R\$ 178.583	R\$ 30.559.749
ano 11	14	R\$ 67.458	R\$ 173.944	R\$ 30.385.806
ano 12	13	R\$ 70.301	R\$ 169.415	R\$ 30.216.390
ano 13	12	R\$ 73.260	R\$ 164.996	R\$ 30.051.395
ano 14	11	R\$ 76.339	R\$ 160.682	R\$ 29.890.713
ano 15	10	R\$ 79.542	R\$ 156.472	R\$ 29.734.241
ano 16	9	R\$ 82.875	R\$ 152.363	R\$ 29.581.878
ano 17	8	R\$ 86.343	R\$ 148.353	R\$ 29.433.525
ano 18	7	R\$ 89.950	R\$ 144.440	R\$ 29.289.086
ano 19	6	R\$ 93.702	R\$ 140.621	R\$ 29.148.465
ano 20	5	R\$ 97.604	R\$ 136.894	R\$ 29.011.570
ano 21	4	R\$ 101.662	R\$ 133.258	R\$ 28.878.312
ano 22	3	R\$ 105.882	R\$ 129.710	R\$ 28.748.603
ano 23	2	R\$ 110.270	R\$ 126.248	R\$ 28.622.355
ano 24	1	R\$ 114.831	R\$ 122.870	R\$ 28.499.485
ano 25	0	R\$ 119.574	R\$ 119.574	R\$ 28.379.911

Assim como para os demais, para o aeroporto de Boa Vista a instalação dos painéis é inviável em 2015, qualquer que seja o cenário estudado.

Realizando o mesmo procedimento que foi feito para os demais aeroportos, vê-se que o investimento em Boa Vista só se torna viável no cenário favorável no ano de 2020 e continua inviável para os demais cenários durante todo o horizonte de estudo.

Tabela 56: Estudo financeiro – Boa Vista, 2020 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 85.558	R\$ 433.979	R\$ 12.704.481
ano 2	23	R\$ 92.890	R\$ 440.350	R\$ 12.264.131
ano 3	22	R\$ 102.017	R\$ 451.975	R\$ 11.812.156
ano 4	21	R\$ 112.034	R\$ 463.884	R\$ 11.348.273
ano 5	20	R\$ 123.029	R\$ 476.082	R\$ 10.872.190
ano 6	19	R\$ 135.096	R\$ 488.577	R\$ 10.383.614
ano 7	18	R\$ 148.338	R\$ 501.373	R\$ 9.882.241
ano 8	17	R\$ 162.870	R\$ 514.477	R\$ 9.367.764
ano 9	16	R\$ 178.816	R\$ 527.895	R\$ 8.839.869
ano 10	15	R\$ 196.313	R\$ 541.634	R\$ 8.298.234
ano 11	14	R\$ 215.510	R\$ 555.700	R\$ 7.742.534
ano 12	13	R\$ 236.571	R\$ 570.099	R\$ 7.172.435
ano 13	12	R\$ 259.675	R\$ 584.838	R\$ 6.587.597
ano 14	11	R\$ 285.020	R\$ 599.924	R\$ 5.987.673
ano 15	10	R\$ 312.819	R\$ 615.363	R\$ 5.372.310
ano 16	9	R\$ 343.310	R\$ 631.161	R\$ 4.741.149
ano 17	8	R\$ 376.750	R\$ 647.326	R\$ 4.093.823
ano 18	7	R\$ 413.421	R\$ 663.864	R\$ 3.429.959
ano 19	6	R\$ 453.634	R\$ 680.782	R\$ 2.749.177
ano 20	5	R\$ 497.727	R\$ 698.087	R\$ 2.051.090
ano 21	4	R\$ 546.070	R\$ 715.786	R\$ 1.335.303
ano 22	3	R\$ 599.070	R\$ 733.886	R\$ 601.417
ano 23	2	R\$ 657.170	R\$ 752.394	-R\$ 150.977
ano 24	1	R\$ 720.856	R\$ 771.316	-R\$ 922.293
ano 25	0	R\$ 790.659	R\$ 790.659	-R\$ 1.712.952

Dos aeroportos estudados, Boa Vista é o que tem a pior combinação entre radiação e tarifa elétrica, o que acaba por fazer com que ele seja o com maior dificuldade de receber um sistema fotovoltaico.

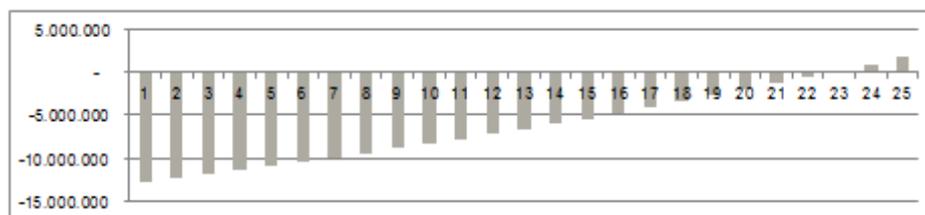


Figura 55: Análise financeira – Aeroporto de Boa Vista, 2020 (cenário favorável)

#### 4.3.2.5. Análise de investimento – Joinville

Os estudos financeiros referentes à implantação de painéis solares no aeroporto de Joinville em 2015 são mostrados nas Tabelas 57 a 59:

Tabela 57: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 65.755	R\$ 333.535	R\$ 11.827.964
ano 2	23	R\$ 76.260	R\$ 361.514	R\$ 11.466.450
ano 3	22	R\$ 85.461	R\$ 378.628	R\$ 11.087.822
ano 4	21	R\$ 93.853	R\$ 388.604	R\$ 10.699.218
ano 5	20	R\$ 103.064	R\$ 398.823	R\$ 10.300.394
ano 6	19	R\$ 113.172	R\$ 409.290	R\$ 9.891.104
ano 7	18	R\$ 124.266	R\$ 420.010	R\$ 9.471.095
ano 8	17	R\$ 136.440	R\$ 430.987	R\$ 9.040.107
ano 9	16	R\$ 149.798	R\$ 442.228	R\$ 8.597.879
ano 10	15	R\$ 164.455	R\$ 453.737	R\$ 8.144.142
ano 11	14	R\$ 180.537	R\$ 465.521	R\$ 7.678.621
ano 12	13	R\$ 198.180	R\$ 477.583	R\$ 7.201.038
ano 13	12	R\$ 217.535	R\$ 489.930	R\$ 6.711.108
ano 14	11	R\$ 238.766	R\$ 502.568	R\$ 6.208.540
ano 15	10	R\$ 262.055	R\$ 515.501	R\$ 5.693.039
ano 16	9	R\$ 287.597	R\$ 528.736	R\$ 5.164.303
ano 17	8	R\$ 315.610	R\$ 542.277	R\$ 4.622.026
ano 18	7	R\$ 346.331	R\$ 556.132	R\$ 4.065.894
ano 19	6	R\$ 380.018	R\$ 570.304	R\$ 3.495.590
ano 20	5	R\$ 416.955	R\$ 584.801	R\$ 2.910.788
ano 21	4	R\$ 457.453	R\$ 599.628	R\$ 2.311.160
ano 22	3	R\$ 501.852	R\$ 614.791	R\$ 1.696.369
ano 23	2	R\$ 550.524	R\$ 630.295	R\$ 1.066.075
ano 24	1	R\$ 603.875	R\$ 646.146	R\$ 419.929
ano 25	0	R\$ 662.351	R\$ 662.351	-R\$ 242.422

Tabela 58: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário intermediário)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 57.271	R\$ 290.498	R\$ 17.201.862
ano 2	23	R\$ 64.258	R\$ 304.618	R\$ 16.897.244
ano 3	22	R\$ 69.667	R\$ 308.654	R\$ 16.588.590
ano 4	21	R\$ 74.018	R\$ 306.475	R\$ 16.282.114
ano 5	20	R\$ 78.636	R\$ 304.297	R\$ 15.977.818
ano 6	19	R\$ 83.538	R\$ 302.118	R\$ 15.675.700
ano 7	18	R\$ 88.741	R\$ 299.939	R\$ 15.375.761
ano 8	17	R\$ 94.263	R\$ 297.760	R\$ 15.078.000
ano 9	16	R\$ 100.124	R\$ 295.582	R\$ 14.782.418
ano 10	15	R\$ 106.343	R\$ 293.403	R\$ 14.489.015
ano 11	14	R\$ 112.942	R\$ 291.224	R\$ 14.197.791
ano 12	13	R\$ 119.944	R\$ 289.046	R\$ 13.908.746
ano 13	12	R\$ 127.372	R\$ 286.867	R\$ 13.621.879
ano 14	11	R\$ 135.253	R\$ 284.688	R\$ 13.337.191
ano 15	10	R\$ 143.613	R\$ 282.509	R\$ 13.054.681
ano 16	9	R\$ 152.481	R\$ 280.331	R\$ 12.774.351
ano 17	8	R\$ 161.887	R\$ 278.152	R\$ 12.496.199
ano 18	7	R\$ 171.862	R\$ 275.973	R\$ 12.220.226
ano 19	6	R\$ 182.441	R\$ 273.794	R\$ 11.946.432
ano 20	5	R\$ 193.658	R\$ 271.616	R\$ 11.674.816
ano 21	4	R\$ 205.552	R\$ 269.437	R\$ 11.405.379
ano 22	3	R\$ 218.162	R\$ 267.258	R\$ 11.138.121
ano 23	2	R\$ 231.531	R\$ 265.079	R\$ 10.873.041
ano 24	1	R\$ 245.702	R\$ 262.901	R\$ 10.610.141
ano 25	0	R\$ 260.722	R\$ 260.722	R\$ 10.349.419

Tabela 59: Estudo financeiro – Joinville, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 57.271	R\$ 290.498	R\$ 22.532.723
ano 2	23	R\$ 63.057	R\$ 298.924	R\$ 22.233.799
ano 3	22	R\$ 67.087	R\$ 297.224	R\$ 21.936.576
ano 4	21	R\$ 69.944	R\$ 289.609	R\$ 21.646.967
ano 5	20	R\$ 72.920	R\$ 282.175	R\$ 21.364.791
ano 6	19	R\$ 76.017	R\$ 274.919	R\$ 21.089.872
ano 7	18	R\$ 79.243	R\$ 267.834	R\$ 20.822.038
ano 8	17	R\$ 82.600	R\$ 260.919	R\$ 20.561.119
ano 9	16	R\$ 86.096	R\$ 254.169	R\$ 20.306.951
ano 10	15	R\$ 89.734	R\$ 247.579	R\$ 20.059.371
ano 11	14	R\$ 93.521	R\$ 241.148	R\$ 19.818.224
ano 12	13	R\$ 97.463	R\$ 234.870	R\$ 19.583.354
ano 13	12	R\$ 101.564	R\$ 228.742	R\$ 19.354.612
ano 14	11	R\$ 105.833	R\$ 222.762	R\$ 19.131.850
ano 15	10	R\$ 110.274	R\$ 216.925	R\$ 18.914.925
ano 16	9	R\$ 114.895	R\$ 211.229	R\$ 18.703.696
ano 17	8	R\$ 119.702	R\$ 205.670	R\$ 18.498.026
ano 18	7	R\$ 124.702	R\$ 200.245	R\$ 18.297.781
ano 19	6	R\$ 129.904	R\$ 194.950	R\$ 18.102.831
ano 20	5	R\$ 135.313	R\$ 189.784	R\$ 17.913.047
ano 21	4	R\$ 140.939	R\$ 184.743	R\$ 17.728.304
ano 22	3	R\$ 146.790	R\$ 179.824	R\$ 17.548.481
ano 23	2	R\$ 152.873	R\$ 175.024	R\$ 17.373.457
ano 24	1	R\$ 159.197	R\$ 170.341	R\$ 17.203.116
ano 25	0	R\$ 165.772	R\$ 165.772	R\$ 17.037.344

Ao contrário dos demais, o aeroporto de Joinville apresenta um tempo de retorno dentro do tempo de vida útil dos painéis para a implantação já no ano de 2015 (25 anos).

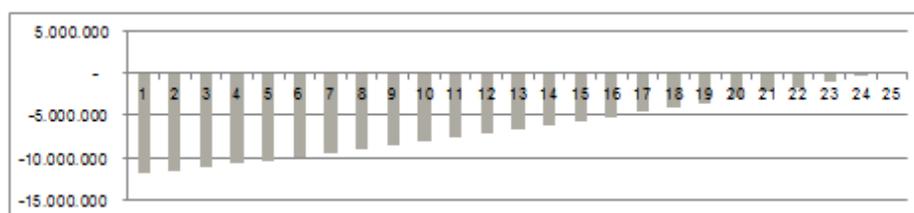


Figura 56: Análise financeira – Aeroporto de Joinville, 2015 (cenário favorável)

Esse resultado é, até certo ponto, contra intuitivo, haja vista que, como visto na Tabela 27, esse aeroporto é aquele sujeito às menores taxas de radiação. No entanto, isso ocorre por duas razões principais. Primeiramente, por que o aeroporto é aquele que hoje, está submetido à maior tarifação elétrica (Tabela 25). Além disso, é aquele que se situa no local com menores temperaturas (Tabela 27), o que faz com que não haja quedas representativas em seu desempenho.

#### 4.3.2.6. Análise de investimento – Palmas

Para o aeroporto de Palmas, a implantação de painéis solares no ano de 2015 geram os estudos financeiros apresentados nas Tabelas 60 a 62, para cada um dos cenários estudados.

Tabela 60: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 142.669	R\$ 723.668	R\$ 27.821.913
ano 2	23	R\$ 165.461	R\$ 784.374	R\$ 27.037.540
ano 3	22	R\$ 185.425	R\$ 821.506	R\$ 26.216.034
ano 4	21	R\$ 203.632	R\$ 843.152	R\$ 25.372.882
ano 5	20	R\$ 223.616	R\$ 865.324	R\$ 24.507.558
ano 6	19	R\$ 245.549	R\$ 888.033	R\$ 23.619.525
ano 7	18	R\$ 269.618	R\$ 911.291	R\$ 22.708.234
ano 8	17	R\$ 296.032	R\$ 935.109	R\$ 21.773.124
ano 9	16	R\$ 325.015	R\$ 959.499	R\$ 20.813.626
ano 10	15	R\$ 356.817	R\$ 984.470	R\$ 19.829.155
ano 11	14	R\$ 391.710	R\$ 1.010.036	R\$ 18.819.119
ano 12	13	R\$ 429.990	R\$ 1.036.208	R\$ 17.782.911
ano 13	12	R\$ 471.984	R\$ 1.062.998	R\$ 16.719.913
ano 14	11	R\$ 518.049	R\$ 1.090.417	R\$ 15.629.496
ano 15	10	R\$ 568.578	R\$ 1.118.478	R\$ 14.511.017
ano 16	9	R\$ 623.997	R\$ 1.147.194	R\$ 13.363.824
ano 17	8	R\$ 684.777	R\$ 1.176.575	R\$ 12.187.249
ano 18	7	R\$ 751.431	R\$ 1.206.634	R\$ 10.980.615
ano 19	6	R\$ 824.522	R\$ 1.237.385	R\$ 9.743.230
ano 20	5	R\$ 904.664	R\$ 1.268.839	R\$ 8.474.391
ano 21	4	R\$ 992.533	R\$ 1.301.008	R\$ 7.173.383
ano 22	3	R\$ 1.088.865	R\$ 1.333.906	R\$ 5.839.477
ano 23	2	R\$ 1.194.467	R\$ 1.367.545	R\$ 4.471.932
ano 24	1	R\$ 1.310.222	R\$ 1.401.938	R\$ 3.069.994
ano 25	0	R\$ 1.437.097	R\$ 1.437.097	R\$ 1.632.897

Tabela 61: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário intermediário)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 124.260	R\$ 630.291	R\$ 40.464.002
ano 2	23	R\$ 139.421	R\$ 660.927	R\$ 39.803.075
ano 3	22	R\$ 151.157	R\$ 669.684	R\$ 39.133.391
ano 4	21	R\$ 160.596	R\$ 664.957	R\$ 38.468.433
ano 5	20	R\$ 170.616	R\$ 660.230	R\$ 37.808.204
ano 6	19	R\$ 181.252	R\$ 655.503	R\$ 37.152.701
ano 7	18	R\$ 192.541	R\$ 650.776	R\$ 36.501.925
ano 8	17	R\$ 204.522	R\$ 646.048	R\$ 35.855.877
ano 9	16	R\$ 217.238	R\$ 641.321	R\$ 35.214.556
ano 10	15	R\$ 230.731	R\$ 636.594	R\$ 34.577.961
ano 11	14	R\$ 245.049	R\$ 631.867	R\$ 33.946.095
ano 12	13	R\$ 260.241	R\$ 627.140	R\$ 33.318.955
ano 13	12	R\$ 276.359	R\$ 622.412	R\$ 32.696.542
ano 14	11	R\$ 293.458	R\$ 617.685	R\$ 32.078.857
ano 15	10	R\$ 311.597	R\$ 612.958	R\$ 31.465.899
ano 16	9	R\$ 330.837	R\$ 608.231	R\$ 30.857.668
ano 17	8	R\$ 351.245	R\$ 603.504	R\$ 30.254.164
ano 18	7	R\$ 372.888	R\$ 598.777	R\$ 29.655.388
ano 19	6	R\$ 395.840	R\$ 594.049	R\$ 29.061.338
ano 20	5	R\$ 420.179	R\$ 589.322	R\$ 28.472.016
ano 21	4	R\$ 445.985	R\$ 584.595	R\$ 27.887.421
ano 22	3	R\$ 473.345	R\$ 579.868	R\$ 27.307.553
ano 23	2	R\$ 502.350	R\$ 575.141	R\$ 26.732.413
ano 24	1	R\$ 533.097	R\$ 570.413	R\$ 26.161.999
ano 25	0	R\$ 565.686	R\$ 565.686	R\$ 25.596.313

Tabela 62: Estudo financeiro – Palmas, 2015 (cenário desfavorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 124.260	R\$ 630.291	R\$ 53.012.715
ano 2	23	R\$ 136.815	R\$ 648.574	R\$ 52.364.141
ano 3	22	R\$ 145.559	R\$ 644.883	R\$ 51.719.258
ano 4	21	R\$ 151.758	R\$ 628.362	R\$ 51.090.895
ano 5	20	R\$ 158.213	R\$ 612.234	R\$ 50.478.662
ano 6	19	R\$ 164.934	R\$ 596.489	R\$ 49.882.173
ano 7	18	R\$ 171.932	R\$ 581.118	R\$ 49.301.055
ano 8	17	R\$ 179.217	R\$ 566.114	R\$ 48.734.941
ano 9	16	R\$ 186.801	R\$ 551.467	R\$ 48.183.474
ano 10	15	R\$ 194.695	R\$ 537.171	R\$ 47.646.303
ano 11	14	R\$ 202.912	R\$ 523.216	R\$ 47.123.087
ano 12	13	R\$ 211.464	R\$ 509.595	R\$ 46.613.493
ano 13	12	R\$ 220.363	R\$ 496.300	R\$ 46.117.192
ano 14	11	R\$ 229.624	R\$ 483.325	R\$ 45.633.868
ano 15	10	R\$ 239.260	R\$ 470.661	R\$ 45.163.207
ano 16	9	R\$ 249.286	R\$ 458.302	R\$ 44.704.905
ano 17	8	R\$ 259.716	R\$ 446.240	R\$ 44.258.665
ano 18	7	R\$ 270.565	R\$ 434.469	R\$ 43.824.196
ano 19	6	R\$ 281.851	R\$ 422.982	R\$ 43.401.214
ano 20	5	R\$ 293.588	R\$ 411.773	R\$ 42.989.441
ano 21	4	R\$ 305.795	R\$ 400.835	R\$ 42.588.607
ano 22	3	R\$ 318.488	R\$ 390.162	R\$ 42.198.445
ano 23	2	R\$ 331.687	R\$ 379.748	R\$ 41.818.697
ano 24	1	R\$ 345.408	R\$ 369.587	R\$ 41.449.109
ano 25	0	R\$ 359.673	R\$ 359.673	R\$ 41.089.436

Para o aeroporto de Palmas, também, é inviável que em 2015, seja instalado um sistema fotovoltaico – para os três cenários. Passando-o a ser em 2016 (cenário favorável)

Tabela 63: Estudo financeiro – Palmas, 2016 (cenário favorável)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 165.461	R\$ 839.280	R\$ 26.118.921
ano 2	23	R\$ 186.734	R\$ 885.216	R\$ 25.233.705
ano 3	22	R\$ 205.080	R\$ 908.586	R\$ 24.325.119
ano 4	21	R\$ 225.217	R\$ 932.526	R\$ 23.392.593
ano 5	20	R\$ 247.319	R\$ 957.048	R\$ 22.435.545
ano 6	19	R\$ 271.577	R\$ 982.165	R\$ 21.453.381
ano 7	18	R\$ 298.198	R\$ 1.007.888	R\$ 20.445.492
ano 8	17	R\$ 327.411	R\$ 1.034.231	R\$ 19.411.261
ano 9	16	R\$ 359.467	R\$ 1.061.205	R\$ 18.350.056
ano 10	15	R\$ 394.640	R\$ 1.088.824	R\$ 17.261.232
ano 11	14	R\$ 433.231	R\$ 1.117.100	R\$ 16.144.131
ano 12	13	R\$ 475.568	R\$ 1.146.046	R\$ 14.998.085
ano 13	12	R\$ 522.014	R\$ 1.175.676	R\$ 13.822.409
ano 14	11	R\$ 572.963	R\$ 1.206.002	R\$ 12.616.408
ano 15	10	R\$ 628.847	R\$ 1.237.037	R\$ 11.379.371
ano 16	9	R\$ 690.141	R\$ 1.268.796	R\$ 10.110.575
ano 17	8	R\$ 757.364	R\$ 1.301.292	R\$ 8.809.283
ano 18	7	R\$ 831.083	R\$ 1.334.538	R\$ 7.474.746
ano 19	6	R\$ 911.921	R\$ 1.368.548	R\$ 6.106.198
ano 20	5	R\$ 1.000.559	R\$ 1.403.335	R\$ 4.702.862
ano 21	4	R\$ 1.097.741	R\$ 1.438.915	R\$ 3.263.947
ano 22	3	R\$ 1.204.284	R\$ 1.475.300	R\$ 1.788.647
ano 23	2	R\$ 1.321.080	R\$ 1.512.505	R\$ 276.142
ano 24	1	R\$ 1.449.106	R\$ 1.550.543	-R\$ 1.274.401
ano 25	0	R\$ 1.589.429	R\$ 1.589.429	-R\$ 2.863.830

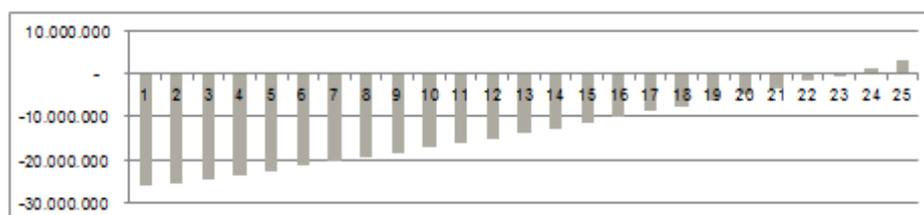


Figura 57: Análise financeira – Aeroporto de Palmas, 2016 (cenário favorável)

A análise financeira para o aeroporto de Palmas se assemelha bastante com a do aeroporto de São José dos Campos, apenas das diferenças climáticas entre as cidades.

#### 4.4. Análise da atratividade de sistemas fotovoltaicos

A matriz exposta na Figura 58 mostra a relação entre níveis de radiação e custo da tarifa e permite a classificação dos aeroportos em estudo em quatro diferentes graus de atratividade. Deixando evidente que no Brasil, hoje, não há nenhum local que seja extremamente viável a implementação de um sistema fotovoltaico.

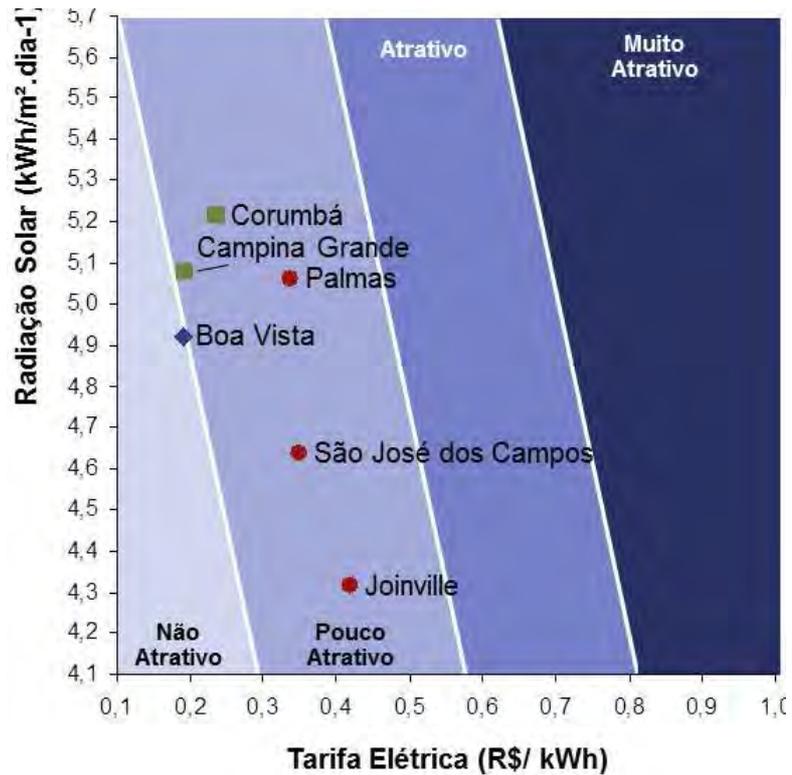


Figura 58: Matriz de atratividade de sistemas fotovoltaicos nos aeroportos em estudo

Como resultado final desse trabalho, buscou-se classificar todas as capitais do país na matriz acima, mas para o futuro (2020). O resultado dessa classificação é exposto na Figura 59.

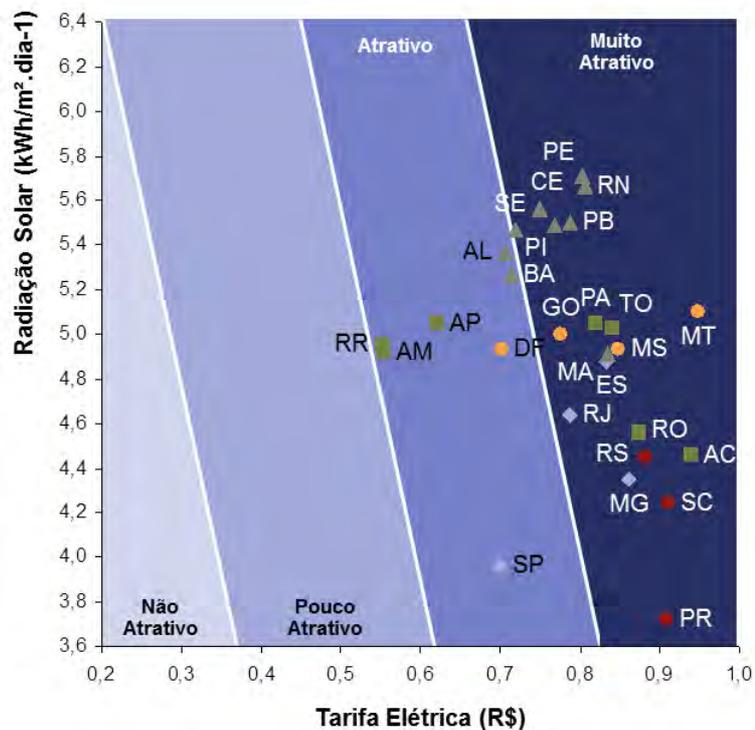


Figura 59: Matriz de atratividade de sistemas fotovoltaicos nos estados em 2020 (Fonte: Aneel)

Por fim, vê-se que a maior parte dos estados brasileiros se situarão entre a zona de alta e altíssima atratividade, o que permite um certo otimismo em relação ao futuro da energia fotovoltaica no país.

No entanto, algumas medidas poderiam acelerar o aumento dessa atratividade, duas delas são expostas na próxima seção desse trabalho.

#### 4.5. Mecanismos de viabilização da implantação de sistemas solares:

Analisando-se os resultados financeiros expostos na seção 5.3 desse trabalho, pode-se perceber que o uso de painéis solares é inviável em 2015 para cinco dos seis aeroportos analisados e que, mesmo para o de Joinville, onde seria viável, trata-se de um investimento altamente arriscado, com retorno baixíssimo e lento.

Esse panorama desfavorável ao uso dessa fonte renovável de energia gera a necessidade de se sugerir formas de tornar viável a sua implantação. Assim sendo, estudaram-se duas possíveis medidas a serem adotadas de forma a facilitar a penetração de energia fotovoltaica no Brasil, no entanto, ambas carecem de uma mudança regulatória e/ou legislativa e, portanto, fica a cargo do governo a criação de um macro ambiente favorável à energia solar.

##### 4.5.1. Adoção do modelo de tarifação “feed-in tariff”:

Como já explicado, o modelo de tarifação feed-in tariff, que é adotado na Alemanha, por exemplo, é o mais favorável ao uso de energia solar (e de outras fontes distribuídas).

Nele, cada consumidor, que passa a se tornar também produtor, é provido de dois medidores de energia, um que mede a energia consumida e outro que mede a energia produzida. Como consumidor, essa pessoa (física ou jurídica) continua obrigada a pagar integralmente às distribuidoras pela energia consumida. A grande diferença desse modelo em relação aos demais métodos de tarifação está na figura de produtor dessa pessoa, como gerador de energia para a rede, ela recebe um valor pela energia produzida.



Figura 60: Esquema prático do funcionamento da feed-in tariff (Elaboração própria)

O modelo se torna favorável ao uso da energia distribuída, no momento em que o valor recebido pela energia renovável gerada é maior do que o valor pago pela energia convencional consumida.

Para as simulações aqui realizadas, foi considerado o preço pago pela energia solar como sendo 54% maior do que o valor cobrado pela energia convencional (Vieira-Rüther, 2010).

Então, em uma série de simulações considerando-se a implementação da tarifação por feed-in, juntamente com as hipóteses formadoras do cenário favorável, chega-se às análises financeiras apresentadas nas Tabelas 64 a 69.

Tabela 64: Análise financeira – São José dos Campos, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 40.662	R\$ 206.254	R\$ 5.304.248
ano 2	23	R\$ 47.158	R\$ 223.556	R\$ 5.080.692
ano 3	22	R\$ 54.692	R\$ 242.309	R\$ 4.838.383
ano 4	21	R\$ 63.430	R\$ 262.636	R\$ 4.575.747
ano 5	20	R\$ 73.564	R\$ 284.668	R\$ 4.291.079
ano 6	19	R\$ 85.316	R\$ 308.548	R\$ 3.982.531
ano 7	18	R\$ 98.946	R\$ 334.431	R\$ 3.648.101
ano 8	17	R\$ 114.754	R\$ 362.485	R\$ 3.285.615
ano 9	16	R\$ 133.086	R\$ 392.893	R\$ 2.892.723
ano 10	15	R\$ 154.348	R\$ 425.851	R\$ 2.466.871
ano 11	14	R\$ 179.007	R\$ 461.575	R\$ 2.005.296
ano 12	13	R\$ 207.605	R\$ 500.295	R\$ 1.505.002
ano 13	12	R\$ 240.771	R\$ 542.263	R\$ 962.739
ano 14	11	R\$ 274.040	R\$ 576.813	R\$ 385.926
ano 15	10	R\$ 303.088	R\$ 596.219	-R\$ 210.294
ano 16	9	R\$ 335.215	R\$ 616.279	-R\$ 826.573
ano 17	8	R\$ 370.748	R\$ 637.014	-R\$ 1.463.586
ano 18	7	R\$ 410.047	R\$ 658.446	-R\$ 2.122.033
ano 19	6	R\$ 453.512	R\$ 680.599	-R\$ 2.802.632
ano 20	5	R\$ 501.584	R\$ 703.498	-R\$ 3.506.130
ano 21	4	R\$ 554.752	R\$ 727.167	-R\$ 4.233.297
ano 22	3	R\$ 613.556	R\$ 751.633	-R\$ 4.984.930
ano 23	2	R\$ 678.593	R\$ 776.921	-R\$ 5.761.851
ano 24	1	R\$ 750.524	R\$ 803.061	-R\$ 6.564.911
ano 25	0	R\$ 830.079	R\$ 830.079	-R\$ 7.394.991

Tabela 65: Análise financeira – Campina Gande, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 14.466	R\$ 73.379	R\$ 3.181.835
ano 2	23	R\$ 16.777	R\$ 79.534	R\$ 3.102.301
ano 3	22	R\$ 19.458	R\$ 86.206	R\$ 3.016.095
ano 4	21	R\$ 22.566	R\$ 93.438	R\$ 2.922.657
ano 5	20	R\$ 26.172	R\$ 101.276	R\$ 2.821.381
ano 6	19	R\$ 30.353	R\$ 109.772	R\$ 2.711.610
ano 7	18	R\$ 35.202	R\$ 118.980	R\$ 2.592.630
ano 8	17	R\$ 40.826	R\$ 128.961	R\$ 2.463.669
ano 9	16	R\$ 47.348	R\$ 139.779	R\$ 2.323.890
ano 10	15	R\$ 54.912	R\$ 151.505	R\$ 2.172.385
ano 11	14	R\$ 63.685	R\$ 164.214	R\$ 2.008.171
ano 12	13	R\$ 73.859	R\$ 177.989	R\$ 1.830.182
ano 13	12	R\$ 85.659	R\$ 192.920	R\$ 1.637.262
ano 14	11	R\$ 97.495	R\$ 205.212	R\$ 1.432.050
ano 15	10	R\$ 107.829	R\$ 212.116	R\$ 1.219.934
ano 16	9	R\$ 119.259	R\$ 219.253	R\$ 1.000.681
ano 17	8	R\$ 131.900	R\$ 226.630	R\$ 774.052
ano 18	7	R\$ 145.882	R\$ 234.254	R\$ 539.797
ano 19	6	R\$ 161.345	R\$ 242.136	R\$ 297.661
ano 20	5	R\$ 178.448	R\$ 250.283	R\$ 47.379
ano 21	4	R\$ 197.363	R\$ 258.703	-R\$ 211.324
ano 22	3	R\$ 218.284	R\$ 267.407	-R\$ 478.732
ano 23	2	R\$ 241.422	R\$ 276.404	-R\$ 755.136
ano 24	1	R\$ 267.013	R\$ 285.704	-R\$ 1.040.840
ano 25	0	R\$ 295.316	R\$ 295.316	-R\$ 1.336.156

Tabela 66: Análise financeira – Corumbá, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 18.368	R\$ 93.170	R\$ 3.219.776
ano 2	23	R\$ 21.303	R\$ 100.986	R\$ 3.118.790
ano 3	22	R\$ 24.706	R\$ 109.457	R\$ 3.009.333
ano 4	21	R\$ 28.653	R\$ 118.639	R\$ 2.890.694
ano 5	20	R\$ 33.231	R\$ 128.592	R\$ 2.762.102
ano 6	19	R\$ 38.539	R\$ 139.379	R\$ 2.622.724
ano 7	18	R\$ 44.696	R\$ 151.071	R\$ 2.471.653
ano 8	17	R\$ 51.837	R\$ 163.744	R\$ 2.307.909
ano 9	16	R\$ 60.118	R\$ 177.480	R\$ 2.130.430
ano 10	15	R\$ 69.723	R\$ 192.368	R\$ 1.938.062
ano 11	14	R\$ 80.862	R\$ 208.505	R\$ 1.729.557
ano 12	13	R\$ 93.780	R\$ 225.996	R\$ 1.503.561
ano 13	12	R\$ 108.762	R\$ 244.954	R\$ 1.258.607
ano 14	11	R\$ 123.791	R\$ 260.561	R\$ 998.047
ano 15	10	R\$ 136.912	R\$ 269.327	R\$ 728.719
ano 16	9	R\$ 151.425	R\$ 278.389	R\$ 450.331
ano 17	8	R\$ 167.476	R\$ 287.755	R\$ 162.576
ano 18	7	R\$ 185.229	R\$ 297.437	-R\$ 134.861
ano 19	6	R\$ 204.863	R\$ 307.444	-R\$ 442.305
ano 20	5	R\$ 226.578	R\$ 317.788	-R\$ 760.092
ano 21	4	R\$ 250.596	R\$ 328.480	-R\$ 1.088.572
ano 22	3	R\$ 277.159	R\$ 339.531	-R\$ 1.428.103
ano 23	2	R\$ 306.537	R\$ 350.955	-R\$ 1.779.058
ano 24	1	R\$ 339.030	R\$ 362.763	-R\$ 2.141.821
ano 25	0	R\$ 374.968	R\$ 374.968	-R\$ 2.516.788

Tabela 67: Análise financeira – Boa Vista, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 73.043	R\$ 370.500	R\$ 16.955.032
ano 2	23	R\$ 84.712	R\$ 401.580	R\$ 16.553.452
ano 3	22	R\$ 98.245	R\$ 435.267	R\$ 16.118.185
ano 4	21	R\$ 113.941	R\$ 471.780	R\$ 15.646.405
ano 5	20	R\$ 132.144	R\$ 511.356	R\$ 15.135.049
ano 6	19	R\$ 153.255	R\$ 554.252	R\$ 14.580.797
ano 7	18	R\$ 177.739	R\$ 600.747	R\$ 13.980.050
ano 8	17	R\$ 206.135	R\$ 651.142	R\$ 13.328.908
ano 9	16	R\$ 239.067	R\$ 705.764	R\$ 12.623.145
ano 10	15	R\$ 277.260	R\$ 764.968	R\$ 11.858.177
ano 11	14	R\$ 321.554	R\$ 829.139	R\$ 11.029.038
ano 12	13	R\$ 372.926	R\$ 898.693	R\$ 10.130.345
ano 13	12	R\$ 432.504	R\$ 974.081	R\$ 9.156.264
ano 14	11	R\$ 492.264	R\$ 1.036.144	R\$ 8.120.120
ano 15	10	R\$ 544.444	R\$ 1.071.005	R\$ 7.049.116
ano 16	9	R\$ 602.156	R\$ 1.107.038	R\$ 5.942.077
ano 17	8	R\$ 665.984	R\$ 1.144.285	R\$ 4.797.793
ano 18	7	R\$ 736.578	R\$ 1.182.784	R\$ 3.615.009
ano 19	6	R\$ 814.656	R\$ 1.222.578	R\$ 2.392.430
ano 20	5	R\$ 901.009	R\$ 1.263.712	R\$ 1.128.718
ano 21	4	R\$ 996.516	R\$ 1.306.229	-R\$ 177.511
ano 22	3	R\$ 1.102.147	R\$ 1.350.177	-R\$ 1.527.688
ano 23	2	R\$ 1.218.974	R\$ 1.395.604	-R\$ 2.923.292
ano 24	1	R\$ 1.348.186	R\$ 1.442.559	-R\$ 4.365.851
ano 25	0	R\$ 1.491.093	R\$ 1.491.093	-R\$ 5.856.944

Tabela 68: Análise financeira – Joinville, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 101.263	R\$ 513.644	R\$ 11.647.855
ano 2	23	R\$ 117.441	R\$ 556.731	R\$ 11.091.124
ano 3	22	R\$ 136.203	R\$ 603.434	R\$ 10.487.690
ano 4	21	R\$ 157.963	R\$ 654.054	R\$ 9.833.636
ano 5	20	R\$ 183.199	R\$ 708.921	R\$ 9.124.715
ano 6	19	R\$ 212.466	R\$ 768.390	R\$ 8.356.325
ano 7	18	R\$ 246.410	R\$ 832.848	R\$ 7.523.477
ano 8	17	R\$ 285.776	R\$ 902.713	R\$ 6.620.765
ano 9	16	R\$ 331.431	R\$ 978.438	R\$ 5.642.326
ano 10	15	R\$ 384.380	R\$ 1.060.517	R\$ 4.581.810
ano 11	14	R\$ 445.788	R\$ 1.149.480	R\$ 3.432.330
ano 12	13	R\$ 517.007	R\$ 1.245.906	R\$ 2.186.424
ano 13	12	R\$ 599.603	R\$ 1.350.421	R\$ 836.002
ano 14	11	R\$ 682.453	R\$ 1.436.462	-R\$ 600.460
ano 15	10	R\$ 754.793	R\$ 1.484.792	-R\$ 2.085.251
ano 16	9	R\$ 834.801	R\$ 1.534.747	-R\$ 3.619.998
ano 17	8	R\$ 923.290	R\$ 1.586.384	-R\$ 5.206.382
ano 18	7	R\$ 1.021.158	R\$ 1.639.757	-R\$ 6.846.139
ano 19	6	R\$ 1.129.401	R\$ 1.694.927	-R\$ 8.541.066
ano 20	5	R\$ 1.249.118	R\$ 1.751.952	-R\$ 10.293.018
ano 21	4	R\$ 1.381.524	R\$ 1.810.896	-R\$ 12.103.914
ano 22	3	R\$ 1.527.966	R\$ 1.871.824	-R\$ 13.975.738
ano 23	2	R\$ 1.689.930	R\$ 1.934.801	-R\$ 15.910.539
ano 24	1	R\$ 1.869.063	R\$ 1.999.897	-R\$ 17.910.436
ano 25	0	R\$ 2.067.183	R\$ 2.067.183	-R\$ 19.977.619

Tabela 69: Análise financeira – Palmas, 2015 (Cenário favorável + Feed-in)

Tempo	Número de anos até o final	Economia (R\$)	Valor fim 25 anos (R\$)	Saldo Devedor (R\$)
ano 1	24	R\$ 219.710	R\$ 1.114.448	R\$ 27.431.133
ano 2	23	R\$ 254.810	R\$ 1.207.936	R\$ 26.223.197
ano 3	22	R\$ 295.518	R\$ 1.309.266	R\$ 24.913.932
ano 4	21	R\$ 342.730	R\$ 1.419.096	R\$ 23.494.836
ano 5	20	R\$ 397.484	R\$ 1.538.139	R\$ 21.956.697
ano 6	19	R\$ 460.986	R\$ 1.667.169	R\$ 20.289.528
ano 7	18	R\$ 534.633	R\$ 1.807.023	R\$ 18.482.505
ano 8	17	R\$ 620.045	R\$ 1.958.608	R\$ 16.523.897
ano 9	16	R\$ 719.103	R\$ 2.122.910	R\$ 14.400.987
ano 10	15	R\$ 833.986	R\$ 2.300.994	R\$ 12.099.993
ano 11	14	R\$ 967.223	R\$ 2.494.017	R\$ 9.605.976
ano 12	13	R\$ 1.121.745	R\$ 2.703.232	R\$ 6.902.744
ano 13	12	R\$ 1.300.954	R\$ 2.929.998	R\$ 3.972.746
ano 14	11	R\$ 1.480.712	R\$ 3.116.680	R\$ 856.066
ano 15	10	R\$ 1.637.668	R\$ 3.221.540	-R\$ 2.365.474
ano 16	9	R\$ 1.811.260	R\$ 3.329.928	-R\$ 5.695.402
ano 17	8	R\$ 2.003.254	R\$ 3.441.963	-R\$ 9.137.365
ano 18	7	R\$ 2.215.599	R\$ 3.557.767	-R\$ 12.695.133
ano 19	6	R\$ 2.450.452	R\$ 3.677.468	-R\$ 16.372.601
ano 20	5	R\$ 2.710.200	R\$ 3.801.196	-R\$ 20.173.797
ano 21	4	R\$ 2.997.481	R\$ 3.929.087	-R\$ 24.102.884
ano 22	3	R\$ 3.315.214	R\$ 4.061.280	-R\$ 28.164.164
ano 23	2	R\$ 3.666.627	R\$ 4.197.921	-R\$ 32.362.085
ano 24	1	R\$ 4.055.290	R\$ 4.339.160	-R\$ 36.701.245
ano 25	0	R\$ 4.485.150	R\$ 4.485.150	-R\$ 41.186.396

A adoção do modelo feed-in tariff tornaria viável a implantação dos painéis solares em todos os aeroportos, já no ano de 2015. Em São José dos Campos, por exemplo, não só tornaria viável, como também faria desse um investimento bastante atrativo. Tendo um tempo de retorno de 15 anos e chegando ao final do tempo de vida útil dos painéis tendo rendido um lucro de mais de R\$ 7 milhões, que corresponde a 134% do montante investido.

#### 4.5.2. Concessão da área do aeroporto por leasing para a geração solar:

Esse modelo de negócio, que já é empregado no aeroporto de Indianápolis, nos Estados Unidos, difere nas sugestões dadas até aqui, pois não requer que aeroporto adquira os painéis solares.

O modelo se dá da seguinte maneira: o aeroporto cede uma área por leasing para uma empresa de projetos que implanta um sistema fotovoltaico na propriedade. Esse projeto é, em geral, muito maior do que o necessário para suprir a demanda do aeroporto. Isso seria de interesse da empresa projetista, pois ela “pagaria” pela área do aeroporto com parte da energia gerada e o restante da energia seria vendido para residências, comércios e/ou indústrias nos arredores do aeroporto.

Para o aeroporto, esse modelo é de extremo interesse, pois está recebendo energia elétrica (um insumo caro), em troca da concessão de uma área de pouco, ou nenhum uso.

Esse modelo, no entanto, esbarra em questões legislativas. Retomando o capítulo 3 da Resolução Normativa nº 482 da Aneel, em seu item IV tem-se:

*“Os montantes de energia ativa injetada que não tenham sido compensados na própria unidade consumidora poderão ser utilizados para compensar o consumo de outras unidades previamente cadastradas para este fim e atendidas pela mesma distribuidora, cujo titular seja o mesmo da unidade com sistema de compensação de energia elétrica, ou cujas unidades consumidoras forem reunidas por comunhão de interesses de fato ou de direito.”*

Ou seja, pela legislação tarifária atualmente vigente no país, a empresa de projetos seria impossibilitada de vender o excedente de energia elétrica, o que inviabiliza a adoção desse modelo.

No entanto, está claro que uma mudança regulamentar tornaria esse modelo de negócio extremamente atrativo, pois há vantagens claras para ambas as partes envolvidas.

## 5. Conclusões

Primeiramente, tendo-se analisado o mercado de energia elétrica no Brasil pode-se perceber que o país é altamente dependente de energia hidrelétrica, o que gera um risco associado à escassez de chuva que pode causar uma escassez elétrica. Em 2014, sobretudo, esse panorama não está longe de ser confirmado.

Em seguida, uma análise na matriz elétrica mundial permitiu que se concluísse que há uma tendência mundial de tornar a matriz elétrica mais limpa, renovável e sustentável. O Brasil, apesar de está expandindo sua matriz renovável, o faz num ritmo aquém dos países desenvolvidos e aquém do indicado para que se abandone a dependência existente das hidrelétricas.

Dado esse panorama, concluiu-se a existência de uma necessidade de se pensar novos meios e novas atitudes para permitir o aumento da penetração de fontes renováveis no Brasil. Então, escolheram-se aeroportos como possíveis pilotos para uma futura expansão do uso de fontes sustentáveis no país.

Dados os altíssimos níveis de radiação do país e a incapacidade de instalação de torres eólicas em aeroportos, devido às operações aeroportuárias, escolheu-se a implantação de painéis solares em seis aeroportos do país para que se fosse possível obter conclusões sobre a viabilidade desses empreendimentos não só para os aeroportos escolhidos, mas para o máximo de aeroportos possíveis no país.

Tendo-se dimensionado os sistemas fotovoltaicos propostos para os seis aeroportos no escopo do estudo, foi possível concluir que ainda é, em geral, inviável a implantação de sistemas solares nos aeroportos do país, sobretudo devido aos altos custos da energia solar quando comparada com a energia convencional.

No entanto, apesar do panorama desfavorável atual, há razões para acreditar na possibilidade de uma mudança desse cenário, algumas delas são:

- Aumento na tarifa elétrica convencional
- Redução nos preços dos painéis solares
- Aumento no espaço dedicado a fontes renováveis nos leilões do Ministério de Minas e Energia

Dos seis aeroportos no escopo do estudo, o único para o qual se concluiu uma possível viabilidade para a implantação dos painéis solares foi Joinville, principalmente por ser aquele dentre os seis onde a tarifa paga pela energia elétrica é o mais alto, o que permitiu concluir que a tarifação tem um peso maior na viabilização desse tipo de energia do que os níveis de radiação. Outra prova disso, é o fato de na Alemanha a energia solar ser altamente difundida, apesar dos níveis consideravelmente menores de radiação do que o Brasil.

A Figura 60 resume as conclusões do estudo e apresenta sugestões para trabalhos futuros.

<b>Conclusões:</b>	<b>Sugestões para trabalhos futuros:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os altos valores da energia FV ainda são um entrave à viabilização do uso de energia PV no Brasil</li> <li>• O mercado tende a ficar cada vez mais atrativo à energia fotovoltaica, sendo viável em todas as regiões do país em 2020</li> <li>• A implementação do feed-in seria uma alternativa para o aumento da atratividade dessa fonte de energia</li> <li>• No entanto, é possível se obter igual resultado através de alterações no marco regulatório vigente. Através de um aumento das tarifas convencionais e/ ou a alteração da resolução 482, permitindo-se comutação de energia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensionar e realizar a análise da viabilidade de um sistema FV com expansão de sua capacidade instalada a fim de sempre atender à demanda</li> <li>• Realização de estudo análogo para aeroportos de maior porte, a fim de se obter impactos maiores</li> <li>• Realizar o dimensionamento e a análise de viabilidade novas tecnologias (painéis híbridos, por exemplo) que tenham uma melhor eficiência</li> </ul>

Figura 60: Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

## 6. Referências Bibliográficas

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **PDE 2022, Plano Decenal de Energia 2022**. Brasília: EPE, 2012

Aneel, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa nº 482 de 17 de abril de 2012**. Brasília: Aneel, 2012

NETO, M. R. B.; CARVALHO, P. **Geração de Energia Elétrica – Fundamentos**. São Paulo: Neto-Carvalho, 2012

IEA, International Energy Agency. **Key World Energy Statistics**. França: IEA, 2010

EAO, Energy Analysis Office. **Renewable Energy Cost Trends**. Estados Unidos: EAO, 2002

PIMC, **Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas**. Estados Unidos: PIMC, 2013

WORLD ENERGY COUNCIL. **New Renewable Energy Resources: Opportunities and Constraints 1990-2020**. London, Kogan Page. 1993.

EPIA, European Photovoltaic Industry Association. **Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018**. Europa: EPIA, 2013

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia Solar Fotovoltaica, Conceitos e Aplicações**. São Paulo: Villalva-Gazoli, 2013.

GOMES, I. The Oxford Institute for Energy Studies. Brazil: **Country of the future or has its time come for natural gas?** Inglaterra: Gomes, 2014

RÜTHER, R.; BRAUN, P. **Energetic contribution potential of building-integrated photovoltaics on airports in warm climates**. Florianópolis: Ruther-Braun, 2009.

BARBOSA, W. P.; AZEVEDO, A. C. S. **Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens**. Manaus : Barboza-Azevedo, 2013.

VIEIRA, S. C.; RÜTHER, R.; **Simulação de Gerador Solar Fotovoltaico Integrado à edificação e conectado à rede elétrica para suprir a demanda energética do Aeroporto Internacional Tancredo Neves – um estudo de caso**. Florianópolis: Ruther-Vieira, 2010

GUZZO, R. C; ARAGÃO FILHO, W. C. P.; **Projeto Básico de um Sistema Fotovoltaico Para a Geração de Energia Elétrica**. Vitória: Guzzo-Aragão Filho, 2008

CARDADOR, M. A.; COSTA BRANCO, P. J. **Seguidor de Potência Máxima para Sistema Fotovoltaico com Conversor Matricial**. Portugal: Cardador-Costa Branco et al., 2011

ARGUMEDO, E. S. L.; MERINO, V. S. **Estudio Técnico-Económico de unas Instalación Solar Fotovoltaica Conectada a Red de 5 kW**. Espanha: Argumedo-Merino, 2009

QUEIROZ, L. M. O. **Estimação e Análise das Perdas Técnicas na Distribuição de Energia Elétrica**. Campinas: Queiroz, 2010

MARTIN II, J. **Solar farm projects near airports: Is glare an issue?** Austrália: Martin II, 2013

## FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO  <p style="text-align: center;">TC</p>	2. DATA  <p style="text-align: center;">28 de novembro de 2014</p>	3. REGISTRO N°  <p style="text-align: center;">DCTA/ITA/TC-120/2014</p>	4. N° DE PÁGINAS  <p style="text-align: center;">106</p>
5. TÍTULO E SUBTÍTULO:  <p style="text-align: center;">Estudo da viabilidade do uso de painéis solares na geração de energia elétrica em aeroportos no Brasil</p>			
6. AUTOR(ES):  <p style="text-align: center;">Daniel Vieira de Melo Carlini</p>			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES):  <p style="text-align: center;">Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA</p>			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR:  <p style="text-align: center;">1. Energia Elétrica. 2. Energia Solar. 3. Sistema Fotovoltaico. 4. Aeroportos.</p>			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO:  <p style="text-align: center;">Conversão de energia; Efeito voltaico; Fontes de energia; Aeroportos; Infraestrutura (transporte); Energia elétrica; Engenharia elétrica.</p>			
10. APRESENTAÇÃO:  <p style="text-align: center;"><b>X Nacional      Internacional</b></p> <p>ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Maj; Eng; Marcio Antonio da Silva Pimentel.. Publicado em 2014.</p>			
11. RESUMO:  <p>A crise elétrica que o Brasil enfrenta, dentre outros motivos, pela escassez de chuva e, conseqüentemente, de energia hidrelétrica evidencia a necessidade de se repensar a matriz elétrica nacional dando abertura para novas fontes que sejam, ao mesmo tempo, abundantes, limpas e economicamente viáveis. Diante desse cenário, a energia fotovoltaica surge como uma opção de redução dessa dependência de uma única fonte de energia. Unindo-se isso e o fato de aeroportos serem construções ideais para receber esse tipo de sistema (planos, espaçosos e livres de sombra), esse trabalho inicia com a hipótese de que os aeroportos poderiam constituir uma eficiente porta de entrada para essa fonte de tecnologia na matriz elétrica do país. Busca-se aqui, avaliar a viabilidade de uso de energia fotovoltaica nos aeroportos do país, para que se verifique a validade dessa hipótese.</p>			

12. GRAU DE SIGILO:

OSTENSIVO     RESERVADO                     CONFIDENCIAL  SECRETO