

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

**HANNA ITAMARO**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE USINAS FOTOVOLTAICAS DE GERAÇÃO  
CENTRALIZADA: RASTREAMENTO E FATOR DE DIMENSIONAMENTO DE  
INVERSOR (FDI)**

**ARARANGUÁ**

**2019**

HANNA ITAMARO

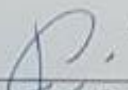
**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE USINAS FOTOVOLTAICAS DE  
GERAÇÃO CENTRALIZADA: RASTREAMENTO E FATOR DE  
DIMENSIONAMENTO DE INVERSOR (FDI)**

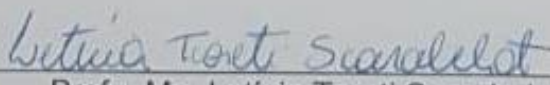
Trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado à Universidade Federal de  
Santa Catarina, como parte das  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 01 de julho de 2019.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Giuliano Arns Rampinelli (Orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
\_\_\_\_\_  
Me. Fernando Schuck de Oliveira  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

  
\_\_\_\_\_  
Profa. Me. Leticia Toret Scarabelot  
Universidade Federal de Santa Catarina

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE USINAS FOTOVOLTAICAS DE GERAÇÃO  
CENTRALIZADA: RASTREAMENTO E FATOR DE DIMENSIONAMENTO DE  
INVERSOR (FDI)**

**Hanna Itamaro\***

**RESUMO**

Em consequência do aumento de preços dos combustíveis fósseis e as secas recentes, é indispensável que exista uma diversificação da matriz elétrica brasileira para a continuidade do suprimento de energia elétrica. Além disso, é importante que essa diversificação inclua fontes renováveis para que seja uma solução a longo prazo e não comprometa o meio ambiente e a sociedade. Nos últimos anos a energia solar fotovoltaica tem sido vista internacionalmente como uma tecnologia bastante promissora e a instalação de geração distribuída vem crescendo exponencialmente em todo o mundo. O presente trabalho tem o objetivo de simular e analisar o desempenho de duas usinas fotovoltaicas contratadas nos últimos leilões considerando diferentes tipos de suporte: fixo, rastreamento de eixo único e rastreamento de eixo duplo e seus diferentes fatores de dimensionamento do inversor, podendo então, através de diferentes indicadores verificar a alternativa mais eficiente.

Palavras-chaves: Geração centralizada. Rastreamento. Fator de Dimensionamento.

---

\*Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88900- 000. E-mail: [hannaitamaro@hotmail.com](mailto:hannaitamaro@hotmail.com)

**SUMÁRIO**

RESUMO .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo geral .....	6
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	8
2.1 Energia Solar .....	8
2.2 Sistemas Fotovoltaicos .....	9
2.3 Leilões de Energia .....	9
2.4 Tipos de Rastreamentos.....	11
2.4.1 Sistema Fixo .....	12
2.4.2 Rastreadores de eixo duplo.....	14
2.5 Fator de Dimensionamento do Inversor .....	15
2.6 Estado da Arte .....	16
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 Modelo Proposto .....	17
3.2 Levantamento de dados .....	17
3.3 Configurações utilizadas.....	24
3.4 SAM – <i>System Advisor Model</i> .....	26
3.5 Indicadores .....	26
3.5.1 Fator de Capacidade .....	26
3.5.2 Produtividade.....	26
3.5.3 Eficiência do Inversor.....	27
3.5.4 Eficiência do Sistema Fotovoltaico .....	27
3.5.5 Razão de Performance .....	28
3.6 Locais Analisados.....	28
4 RESULTADOS .....	29
4.1 Dados de Desempenho .....	29

5 CONCLUSÃO.....	39
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
ABSTRACT .....	41
REFERÊNCIAS .....	42
AGRADECIMENTOS .....	46

## 1 INTRODUÇÃO

De 2000 a 2016 a potência instalada de sistemas fotovoltaicos, em âmbito mundial, foi multiplicada por cerca de 200 vezes, crescendo a uma taxa média da ordem de 40% ao ano. A energia solar fotovoltaica se consolida, conjuntamente com a energia hídrica e a energia eólica, como as principais fontes de energias renováveis em termos de potência instalada a nível mundial (EPIA, 2016).

Com extenso território, localizado em uma região de clima tropical e de alta exposição solar, o Brasil conta com um potencial relevante para a geração elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos. Os próximos anos prometem ser de desenvolvimento para o setor. Segundo a Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (Absolar), em 2019, o setor deve alcançar 3,3GW em potência instalada, um aumento de 44%.

A inclusão de fontes diversificadas nos leilões de energia elétrica do Brasil nos últimos anos é evidente. Seguindo o mesmo caminho da energia eólica, que hoje já é consolidada na matriz elétrica, a energia solar fotovoltaica está sendo incluída nos leilões desde 2014, uma vez que é considerada uma alternativa confiável e competitiva para enfrentar os desafios do crescimento da oferta de energia elétrica com menor impacto ambiental.

A partir da inclusão das usinas fotovoltaicas nos leilões de energia elétrica, o número de usinas vem aumentando significativamente. O desempenho dessas usinas pode variar de acordo com alguns critérios como rastreamento solar e fator de dimensionamento do inversor (FDI), que serão analisados no presente trabalho, uma vez que a otimização dessas usinas de geração de energia elétrica é essencial.

### 1.1 Objetivo geral

Este trabalho, tem por objetivo, simular e analisar o desempenho energético de dois sistemas fotovoltaicos, em diferentes regiões do Brasil, em três condições distintas: suporte fixo, rastreamento eixo único e rastreamento eixo duplo e também considerando diferentes fatores de dimensionamento do inversor (FDI). Para tal serão utilizados resultados provenientes de simulação, no software *System Advisor Model* (SAM), para a análise do impacto do

rastreamento solar e do fator de dimensionamento de inversor no desempenho das usinas fotovoltaicas simuladas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nas próximas seções serão expostos fundamentos teóricos necessários para a compreensão do presente trabalho.

### 2.1 Energia Solar

A conversão direta da energia solar em energia elétrica é possível a partir de um fenômeno físico denominado Efeito Fotovoltaico, sendo a célula fotovoltaica, um dispositivo de material semicondutor, a unidade básica de conversão.

O Brasil tem grande potencial para aproveitamento de energia solar, se destaca mesmo quando comparado a países pioneiros na geração fotovoltaica por ser um país localizado na sua maior parte na região intertropical.

Na Figura 1 é indicado o potencial de geração solar fotovoltaica em termos do rendimento energético anual para todo o Brasil.

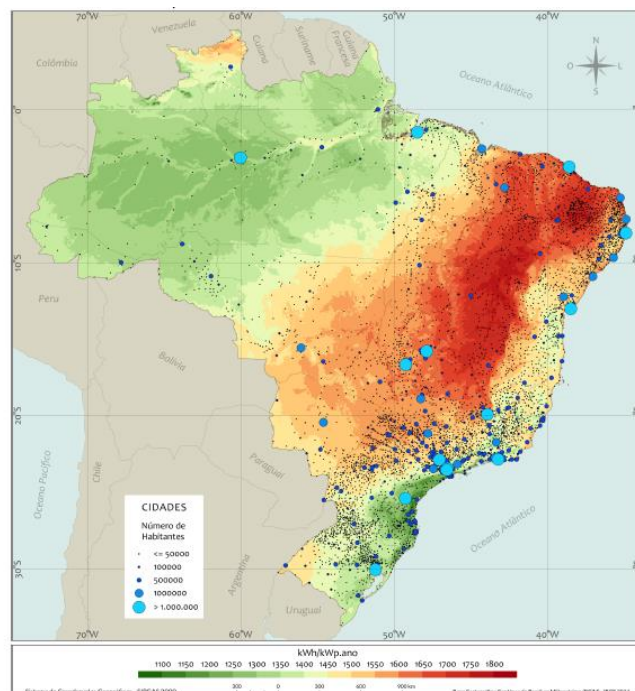


Figura 1 – Potencial de Geração Solar Fotovoltaica no Brasil – Rendimento Energético Anual.

Fonte: Atlas Solar Brasileiro (2017).



No local menos ensolarado do Brasil, é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo. O mapa mostra o rendimento energético anual máximo em todo o território nacional (ATLAS SOLAR BRASILEIRO, 2017).

## **2.2 Sistemas Fotovoltaicos**

Entre os tipos de configuração de sistemas fotovoltaicos, destacam-se dois: os sistemas isolados e os sistemas conectados à rede.

O sistema isolado opera fora da rede de distribuição, e pode ser equipado com baterias que possibilitam autonomia energética ao consumidor, esse sistema é uma opção de valor muito elevado pelo custo do banco de baterias necessário para a autonomia, geralmente só é viável em áreas muito distantes da rede pública, como em áreas rurais.

O segundo não armazena energia e opera com a rede de distribuição, podendo ter dois tipos de configurações: como geração distribuída, onde a geração é realizada junto ou próxima do consumidor, ou também pode ser de maneira centralizada que são as Usinas Fotovoltaicas, analisadas nesse trabalho.

## **2.3 Leilões de Energia**

A Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) é a empresa responsável por fazer do mercado elétrico brasileiro um ambiente de negociação competitivo, sustentável e seguro. Para alcançar este objetivo, a câmara realiza leilões de contratação de energia elétrica.

Os leilões são a principal forma de contratação de energia elétrica no Brasil. São realizados pela CCEE através de delegação da ANEEL e servem para atender as demandas dos Agentes Distribuidores, que por sua vez atendem os consumidores cativos. O critério de menor tarifa é sempre utilizado para definir os vencedores do leilão, garantindo desta forma a modicidade tarifária, a qual é uma das missões da CCEE. (CCEE, 2015).

Os leilões são processos licitatórios. É por meio dos leilões de energia que o governo coordena a expansão do parque gerador. Os empreendedores contratados nos leilões estabelecem com os agentes de distribuição os Contratos de Comercialização de Energia

Elétrica condizentes as suas necessidades de compra para entrega no ano de início de suprimento da energia contratada (MME, 2019).

Os leilões do ACR ocorrem considerando o início das operações e comercialização da energia elétrica em ano chamado de “ano-base A”, sendo que a diferença entre o momento da contratação e o momento da entrada em operação pode ser de até 5 anos. Existem quatro tipos de leilões que se enquadram nesta categoria: os leilões A-5, A-3, A-1 e o leilão de ajuste. (Brasil, 2004).

- **Leilão A-5:** A categoria de leilão A-5 é a que ocorre primeiro na sequência de eventos preparatórios para que uma determinada demanda seja atendida no futuro. O leilão do tipo A-5 é um leilão para novos empreendimentos de geração e ocorre cinco anos antes do ano-base, sendo composto normalmente por empreendimentos hidrelétricos, uma vez que os mesmos necessitam de maiores prazos para a conclusão das obras. (MME, 2015).

- **Leilão A-3:** A categoria de leilão A-3 é a segunda oportunidade para os agentes distribuidores contratarem o fornecimento de energia elétrica para o atendimento de 100% de suas demandas. O leilão A-3 ocorre a três anos do ano-base e também é um leilão de novos empreendimentos de geração de energia elétrica, porém, este possui maior participação de empreendimentos de geração térmica, uma vez que estas usinas necessitam de menos tempo para que sejam postas em operação. (MME, 2015).

- **Leilão A-1:** A categoria de leilão A-1 é a terceira oportunidade que as distribuidoras possuem para adquirir energia elétrica. Este leilão ocorre um ano antes da entrada em operação do empreendimento e inclui na maior parte empreendimentos de energia existente. Por este motivo, esta categoria não é considerada parte do planejamento e ampliação do sistema, mas sim uma oportunidade dos agentes distribuidores complementarem a demanda de fornecimento de energia elétrica. (MME, 2015).

- **Leilão de Ajuste:** O leilão de ajuste, assim como o leilão A-1 é um leilão que envolve empreendimentos de energia existente, uma vez que ocorre com antecedência máxima de 4 meses do início do fornecimento. O objetivo desta categoria é evitar que as distribuidoras fiquem reféns da oscilação do mercado, como por exemplo a entrada de grandes consumidores na sua rede que podem fazer com que os indicadores de fornecimento não atinjam o mínimo necessário. (CUBEROS, 2008).

As fases preliminares destes leilões incluem análise e habilitação técnica onde muitos projetos são recusados pelos mais diversos motivos: irregularidades com o terreno, licenciamento ambiental, falta de dados solarimétricos, entre outros.

A Figura 2 exemplifica a sucessão de acontecimentos para a o leilão de energia.

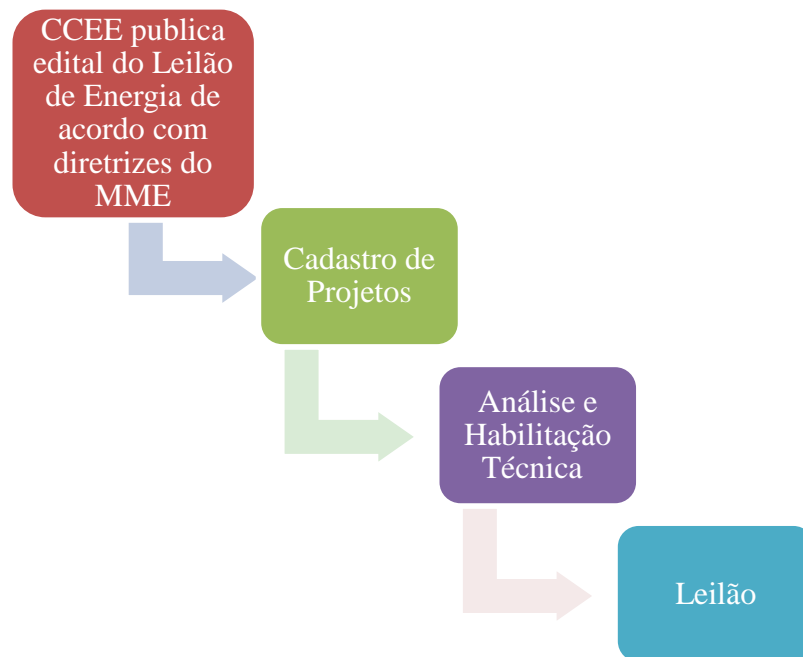


Figura 2 – Organograma do Leilão de Energia.

Fonte: A autora (2019).

Os leilões, realizados a partir de 2005, introduziram competição entre os agentes de geração na contratação de energia elétrica, atendendo princípios de segurança de abastecimento e de tarifa (MME, 2019).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), empresa pública federal que tem por finalidade prestar serviços ao Ministério de Minas e Energia (MME) na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, desde o primeiro leilão, tem sido fundamental para o aperfeiçoamento das regras e dos parâmetros básicos definidos nas portarias de diretrizes do MME, além disso, conduz todo o processo de habilitação técnica dos empreendimentos de geração participantes (MME, 2019).

## 2.4 Tipos de Rastreamentos

Rastreamento solar é uma tecnologia comprovada que aumenta a produção de energia ao direcionar o gerador fotovoltaico para a posição do sol. Para conseguir tal efeito é necessário o uso de rastreador solar ou *tracker*, que é um dispositivo que altera várias vezes a posição dos geradores fotovoltaicos durante o dia, seguindo o caminho aparente do sol para aumentar a disponibilidade de energia solar e, conseqüentemente, a geração de energia elétrica a partir do sistema fotovoltaico. O uso de rastreadores solares é cada vez mais comum em usinas fotovoltaicas. Existem variados tipos de rastreadores solares, de diferentes custos, desempenho e sofisticação (ORTIZ et al., 2018).

#### 2.4.1 Sistema Fixo

Sistemas de geradores fotovoltaicos podem não apresentar nenhum sistema de rastreamento solar e, ainda assim, estarem posicionados com um ângulo otimizado. Em uma situação padrão, a nível do mar, sob o ponto de vista puramente geométrico, a melhor orientação para um arranjo fotovoltaico para a produção anual de eletricidade no hemisfério sul é aquela com inclinação igual ao da latitude local e orientado para o norte geográfico (GASPARIN; KRENZINGER, 2017).

A Figura 3 apresenta a ilustração de um arranjo de módulos fotovoltaicos em sistema fixo.

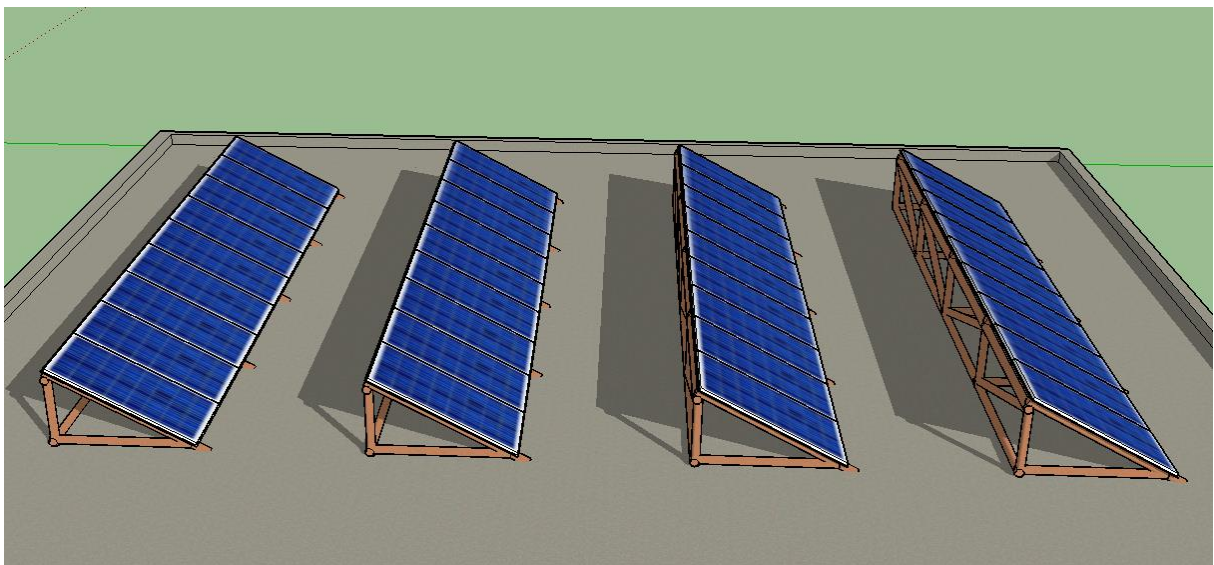


Figura 3 – Módulos fotovoltaicos em sistema fixo.

Fonte: A autora (2019).

### 2.4.2 Rastreamento de eixo único

Esses rastreadores são construídos para acompanhar um dos eixos de movimentação do sol, sua vantagem em relação ao rastreamento de dois eixos é a simplicidade do processo, que tem um menor consumo de energia. O eixo leste-oeste é o mais utilizado por este ser o movimento de maior variação do sol (PEREIRA, 2012).

Existem dois tipos de rastreadores de eixo único, são eles:

- Rastreador de eixo único horizontal: O sistema de rotação deste tipo de rastreador de eixo único é horizontal em relação ao solo. Ele possui tipicamente a face do módulo orientada paralelamente ao eixo de rotação. O poste do eixo de rotação pode ser compartilhado, diminuindo assim o custo de instalação (FARICELLI, 2008).

A Figura 4 apresenta a representação gráfica de um sistema de rastreamento de eixo único horizontal.

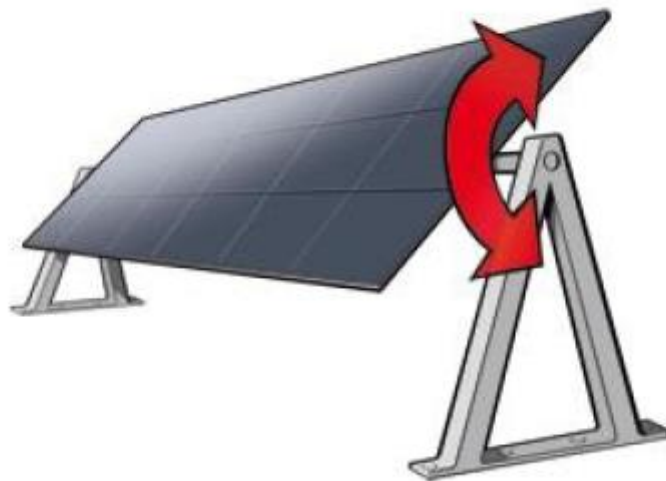


Figura 4 – Sistema de Rastreamento de Eixo Único – Horizontal.  
Fonte: MARTINS (2016).

- Rastreador de eixo único vertical: o sistema de rotação deste tipo de rastreador de eixo único é vertical em relação ao solo. Este tipo de rastreador é mais eficaz em latitudes elevadas do que o rastreador de eixo horizontal. Eles giram de leste a oeste. Os layouts

de campo para instalação devem considerar sombreamentos (ANTONI E PEREIRA, 2014).

A Figura 5 apresenta a representação gráfica de um sistema de rastreamento de eixo único vertical.



Figura 5 – Sistema de Rastreamento de Eixo Único – Vertical.

Fonte: MARTINS (2016).

#### 2.4.2 Rastreadores de eixo duplo

Rastreadores de eixo duplo possuem a captação solar otimizada, pois têm a capacidade de rastrear o sol nos dois eixos. Ele permite que os geradores estejam apontados para o sol a qualquer momento do dia, porém, o consumo energético é muito maior. Existem dois tipos de rastreadores de eixo duplo, são eles:

- Ponta-inclinação: A matriz é montada na parte superior de um poste. Normalmente, o movimento leste-oeste é conduzido pela rotação da matriz em torno do topo do pólo. No topo do rolamento rotativo há um mecanismo em forma de T ou H que fornece a rotação vertical dos módulos e fornece os principais pontos de montagem para a matriz. Os bornes em cada extremidade do eixo principal de rotação de um rastreador de eixo duplo inclinação-inclinação podem ser compartilhados entre rastreadores para custos de instalação mais baixos (FARICELLI, 2008).
- Azimute-altitude: Um rastreador de eixo duplo de azimute-altitude tem seu eixo primário (o eixo azimute) vertical em relação ao chão. O eixo secundário, muitas vezes

chamado de eixo de elevação, é então tipicamente normal ao eixo primário (ANTONIO E PEREIRA, 2014).

A Figura 6 apresenta a representação gráfica de um sistema de rastreamento de eixo duplo.



Figura 6 – Sistema de Rastreamento de Eixo Duplo – Ponta – Inclinação.

Fonte: MARTINS (2016).

## 2.5 Fator de Dimensionamento do Inversor

O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) é a relação entre a potência nominal do inversor e a potência nominal do gerador fotovoltaico, sua definição matemática está ilustrada na Equação 1:

$$FDI = \frac{P_{NCA}(W)}{P_{FV}(W_P)} \quad (1)$$

Onde  $P_{NCA}$  é a potência nominal em corrente alternada do inversor e  $P_{FV}$  é a potência pico do módulo fotovoltaico.

A potência do gerador fotovoltaico e do inversor deve ser ajustada de modo que o FDI do inversor tenha a melhor relação custo/benefício. O FDI depende do inversor utilizado, da

tecnologia do módulo FV, da orientação e da inclinação do módulo, além das condições ambientais como temperatura e radiação local. A otimização do FDI exige simulação numérica que deve ser realizada utilizando-se dados horários de radiação e temperatura ambiente (PINHO, 2014).

## 2.6 Estado da Arte

Macêdo (2016) apresenta a análise de resultados teóricos correspondentes a simulações numéricas para várias localidades brasileiras, e experimentais, relativos a sistemas conectados na rede de pequeno porte. Apesar das diferentes localidades estudadas e dos diferentes tamanhos dos geradores fotovoltaicos, constatou-se que, para uma determinada faixa de FDI, as produtividades anuais obtidas não têm diferença significativa.

Dias (2016) elaborou um estudo experimental para a otimização do fator de dimensionamento. Este trabalho apresentou montagem de uma instalação fotovoltaica de 4,8 kW<sub>P</sub> conectada à rede e uma análise de que condições otimizariam o fator de dimensionamento. Três sistemas com fatores de dimensionamentos diferentes, porém com o mesmo arranjo formado por duas séries fotovoltaicas compostas por oito módulos foram avaliadas. Os arranjos alimentam de uma forma independente três inversores senoidais monofásicos comutados pela própria rede e cada um com potência máxima de saída de 1100 W. A divisão dessa instalação em três subsistemas permitiu caracteriza-los quanto a seu comportamento energético, além de possibilitar a análise de arranjos superdimensionados (fornecem potência maior do que a máxima entrada do inversor), originando desperdício de energia quando a potência do gerador é elevada. O método foi desenvolvido para determinar as perdas então avaliar o total mensal desperdiçado nos sistemas 1 e 2, uma vez que são os sistemas superdimensionados, onde há grande redução na produtividade.

Guarnieri (2017) avaliou procedimentos de montagem e plano de construção da montagem mecânica com base em um caso prático de instalação de uma usina solar fotovoltaica. O uso de estrutura de suporte com seguimento da trajetória aparente do sol apontou para um desempenho superior da opção com seguimento (média de 18%) em relação a estrutura fixa.

Song Chen, Peng Li, David Brady e Brad Lehman (2011), propõe um método geral de dimensionamento de inversor para um sistema fotovoltaico. O método avalia efeitos de políticas



de incentivo fotovoltaico, curvas de eficiência do inversor e esquemas de proteção no dimensionamento ideal do inversor e análise de custo do sistema. Especificamente, diferentes cenários de incentivos fotovoltaicos são discutidos e comparados para mostrar que o tamanho ideal do inversor varia notavelmente por localização e contexto.

Burger e Ruther (2004), mostram que a prática de dimensionar de inversores com uma potência de saída CA nominal cerca de 30% menor que a potência nominal do gerador fotovoltaico pode levar a consideráveis perdas de energia elétrica.

### **3 METODOLOGIA**

#### **3.1 Modelo Proposto**

O projeto, objeto do presente trabalho, foi realizado para analisar o desempenho em simulação de duas usinas fotovoltaicas de geração centralizada. A partir dos modelos propostos analisa-se situações opostas, uma das usinas equivalente ao maior FDI encontrado nos últimos leilões de energia e outra com o menor FDI encontrado. Cada uma foi simulada com sistema fixo, rastreamento de um eixo e rastreamento de dois eixos e em duas localizações geográficas que apontam dois extremos do Brasil: Bom Jesus da Lapa (BA) e em Florianópolis (SC).

#### **3.2 Levantamento de dados**

Os dados utilizados na análise desse trabalho são da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). O cadastramento e habilitação técnica dos projetos são realizados pela EPE de acordo com as diretrizes do MME e as “Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica”, publicadas pela EPE. O processo de análise e habilitação técnica abrange diversos aspectos do projeto e documentação recebida pela EPE, com o objetivo de selecionar os que demonstram sua viabilidade técnica e capacidade de entregar o montante de energia a ser contratado nos prazos contratuais.

As informações analisadas são dos leilões 2014 a 2018, foram coletados dados de 147 usinas contratadas nos cinco leilões dentro desse período, como mostra a Figura 7, sendo elas divididas em 10 estados, como mostra a Figura 8:

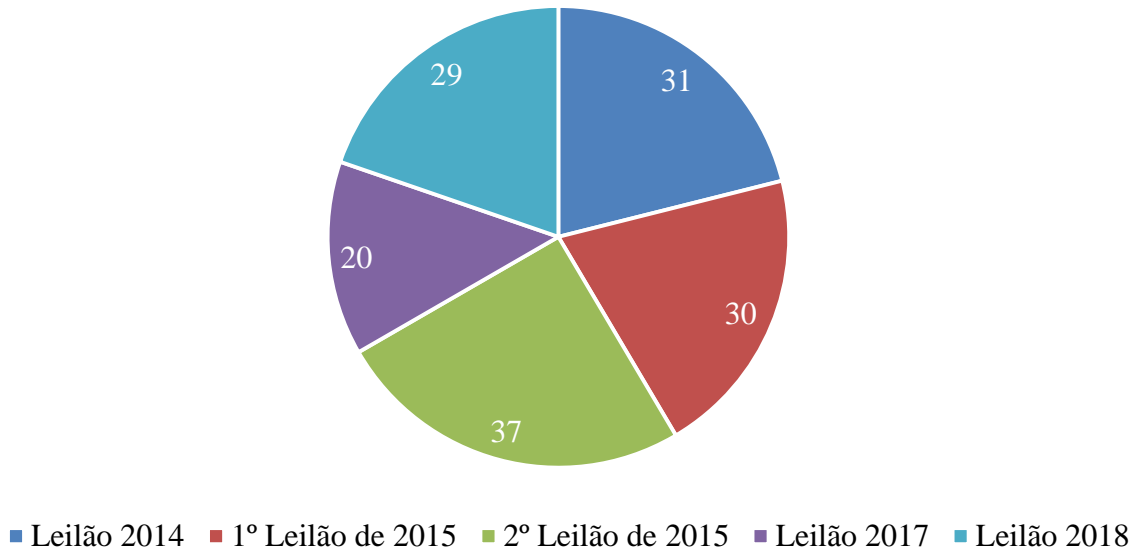


Figura 7 – Usinas Fotovoltaicas contratadas por Leilão.

Fonte: EPE (2019).

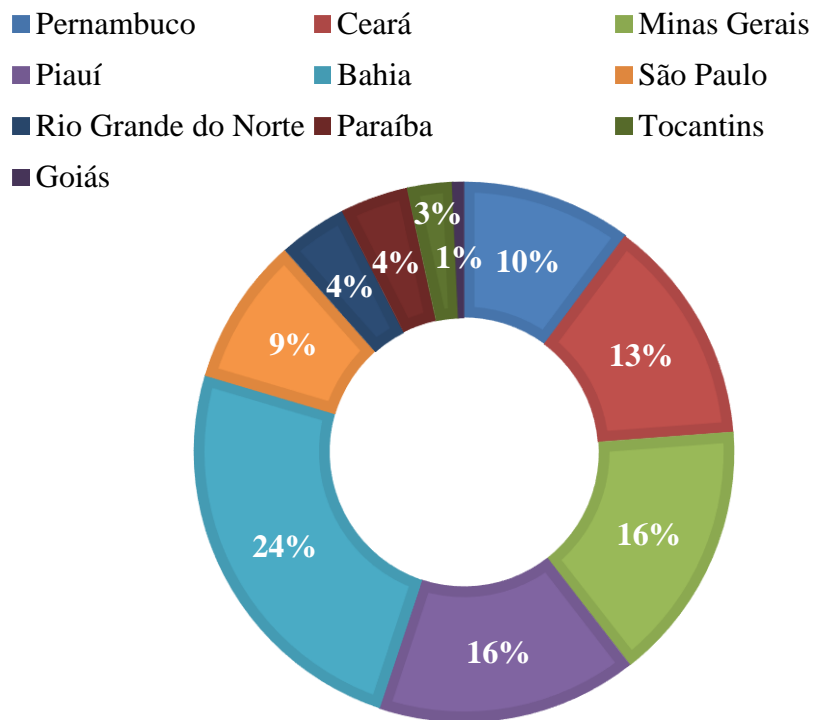


Figura 8 – Usinas Fotovoltaicas contratadas por estado.

Fonte: EPE (2019).

Dentre as usinas instaladas com a informação do tipo de estrutura de suporte para os módulos fotovoltaicos foi observado que o primeiro leilão foi o único uma predominância do tipo fixo, que é o mais barato para instalação, já no ano de 2015, onde houve dois leilões, há uma predominância do tipo Rastreamento – 1 Eixo.

O rastreamento de eixo único, apesar de ter um custo mais elevado, apresenta ganhos relevantes em energia, o que explica o aumento na utilização desse tipo de estrutura que pode ser observado na Figura 9.

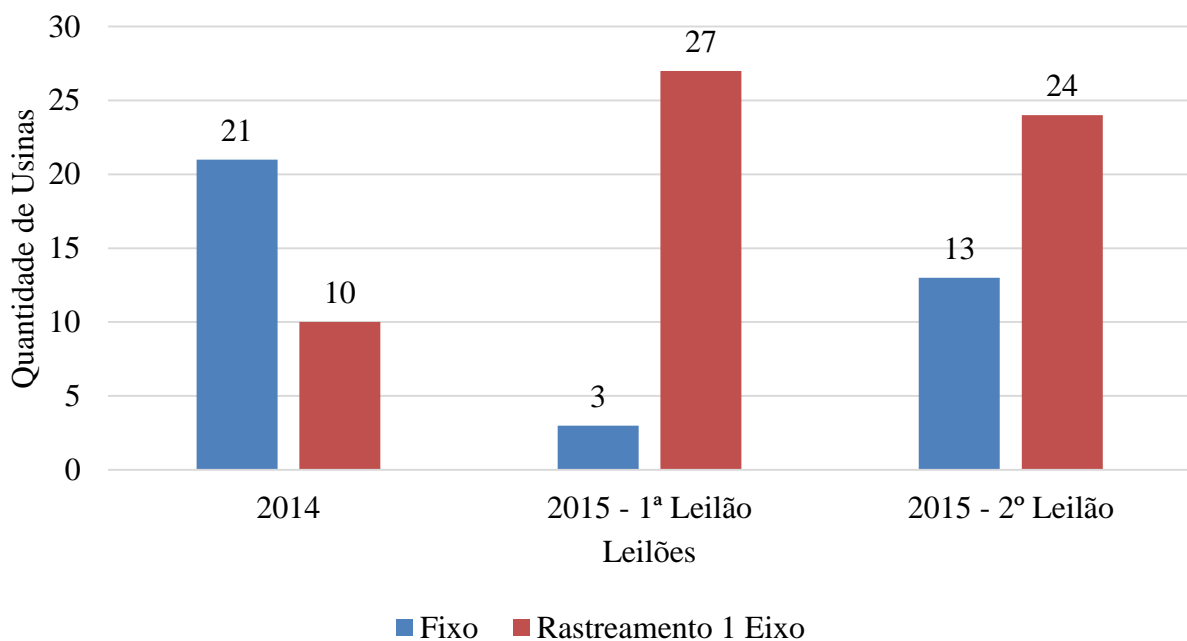


Figura 9 – Usinas por tipo de suporte.

Fonte: EPE (2019).

A potência instalada de um empreendimento fotovoltaico é o somatório das potências elétricas ativas nominais das unidades geradoras da usina. Os geradores fotovoltaicos geram energia em corrente contínua (CC), com sua capacidade nominal definida a partir da potência que o equipamento pode fornecer numa determinada condição padrão (EPE, 2014).

A energia elétrica é entregue aos consumidores em corrente alternada (CA), sendo necessário converter a corrente gerada pelos módulos fotovoltaicos. A Potência Habilitada de

modo geral corresponde a potência CA, soma das potências de todos os inversores. Exceto quando o fator de dimensionamento do inversor é maior do que o unitário. Neste caso a Potência Habilitada é a potência CC, soma das potências de todos os módulos fotovoltaicos (EPE, 2014).

O Fator de Capacidade é definido como a razão entre a expectativa de geração de energia da planta e a sua potência instalada. Ele pode ser expressado usando como referência a Potência Habilitada ou a Potência CC do empreendimento (EPE, 2014).

Segundo a ANEEL, a Garantia Física é a quantidade máxima de energia e potência, definida por Portaria do Ministério de Minas e Energia - MME, que poderá ser utilizada pelo proponente vendedor para comercialização por meio de contratos, definida na barra do gerador ou no ponto de conexão ao Sistema Interligado Nacional - SIN.

A Garantia Física (GF) é definida pela Equação 2, que corresponde a razão entre a Potência Habilitada ( $Pot_H$ ) e o Fator de Capacidade Habilitado ( $FC_H$ ) que é a relação entre a energia produzida e a o máximo que poderia ser produzido caso operasse na sua potência nominal. O histórico de Garantia Física dos leilões de energia é mostrado na Tabela 1.

$$GF = Pot_H \times FC_H \quad (2)$$

Tabela 1 – Garantia Física Habilitada das Usinas contratadas (MWmed)

(continua)

Leilão 2014	2015 - 1º Leilão	2015 - 2º Leilão	Leilão 2017	Leilão 2018
1,8	6,9	5,4	4,0	10,2
5,9	1,2	5,4	7,9	10,2
5,9	3,7	5,4	7,9	10,2
5,9	6,7	6,2	10,2	10,2
5,9	6,7	5,3	10,2	10,2
5,9	5,0	5,3	10,2	10,2
5,9	7,8	5,3	10,2	10,2
5,9	7,8	7,0	10,2	10,2
5,9	8,0	7,1	10,2	10,2
5,9	8,0	5,0	10,2	8,4
6,0	8,4	7,8	10,2	8,4
6,0	8,4	1,3	8,6	8,4
6,0	8,4	8,2	8,8	8,4
6,5	8,4	8,2	8,8	8,4
6,5	8,4	8,4	6,8	8,4
6,5	8,4	8,4	6,8	9,1
2,3	8,4	8,4	6,8	9,1
6,6	8,7	8,5	6,8	9,1
6,6	8,7	8,5	8,9	8,4

Tabela 1 – Garantia Física Habilitada das Usinas contratadas (MWmed)  
(conclusão)

6,6	8,8	8,5	8,9	8,4
6,9	8,8	8,5		5,5
7,1	8,8	7,1		6,2
7,3	8,8	8,7		6,2
7,7	8,8	9,2		6,2
8,4	8,8	8,7		6,2
8,4	8,8	8,7		6,2
8,4	8,8	8,7		5,5
8,4	6,1	9,4		5,5
8,4	9,2	9,4		6,7
8,4	9,2	6,3		
8,4		5,3		
		5,3		
		<b>5,3</b>		
		8,7		
		8,7		
		8,7		
		8,7		

Fonte: EPE (2019).

O fator de dimensionamento do inversor (FDI) foi apontado em todas as usinas pesquisadas, e para melhor apresentação os dados estão separados em ano a ano nas Figuras 10, 11, 12 e 13.

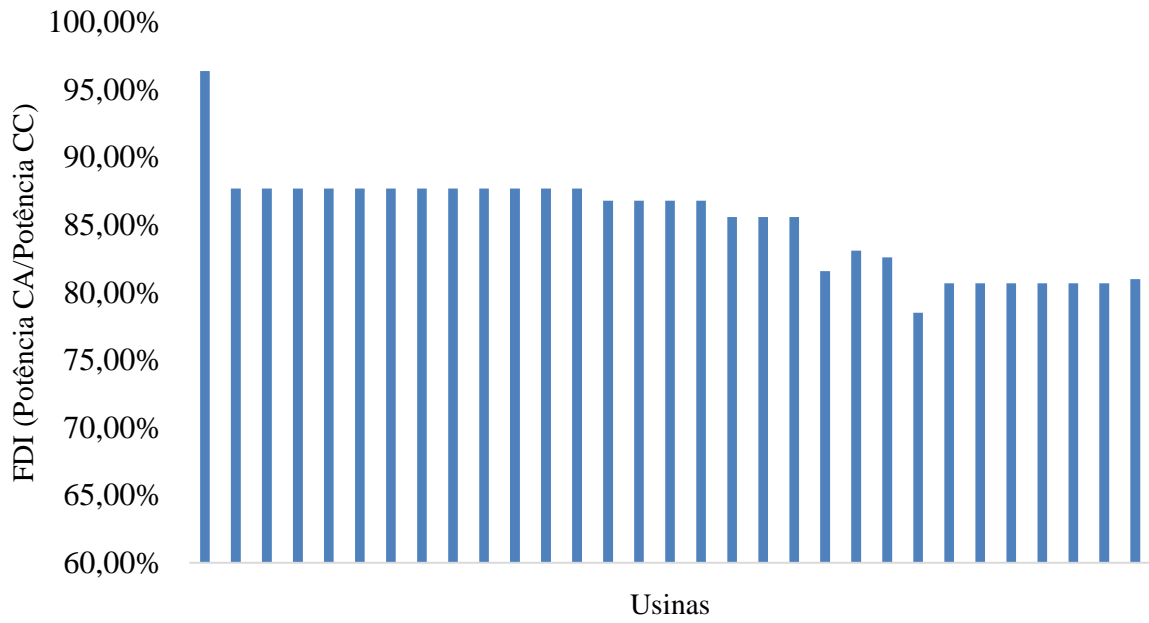


Figura 10 – Histórico do ano de 2014.

Fonte: EPE (2019).

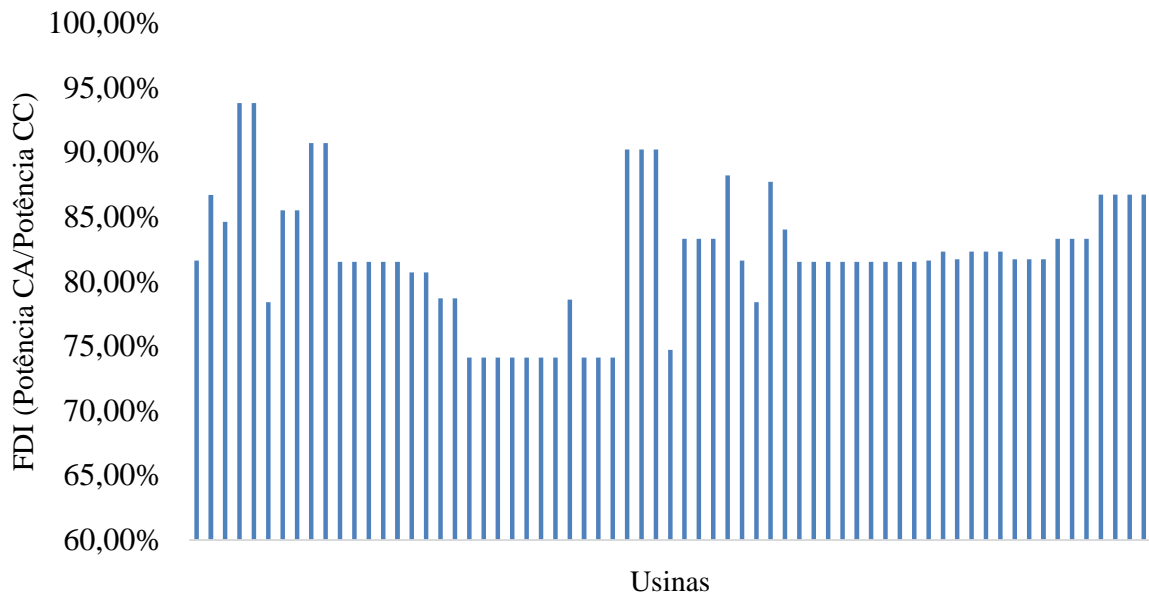


Figura 11 – Histórico do ano de 2015.

Fonte: EPE (2019).

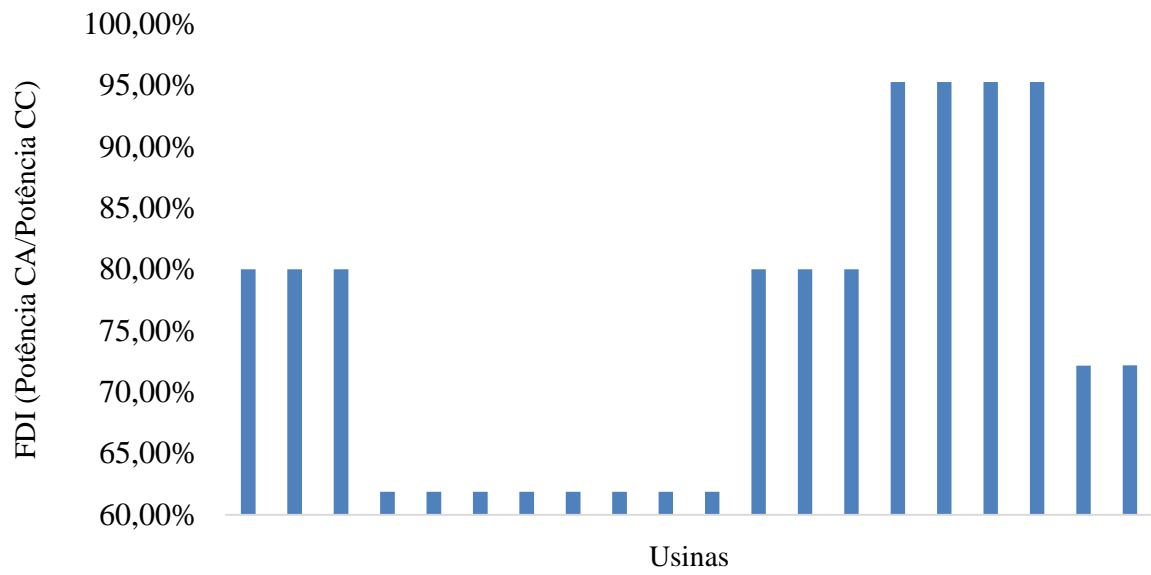


Figura 12 – Histórico do ano de 2017.

Fonte: EPE (2019).

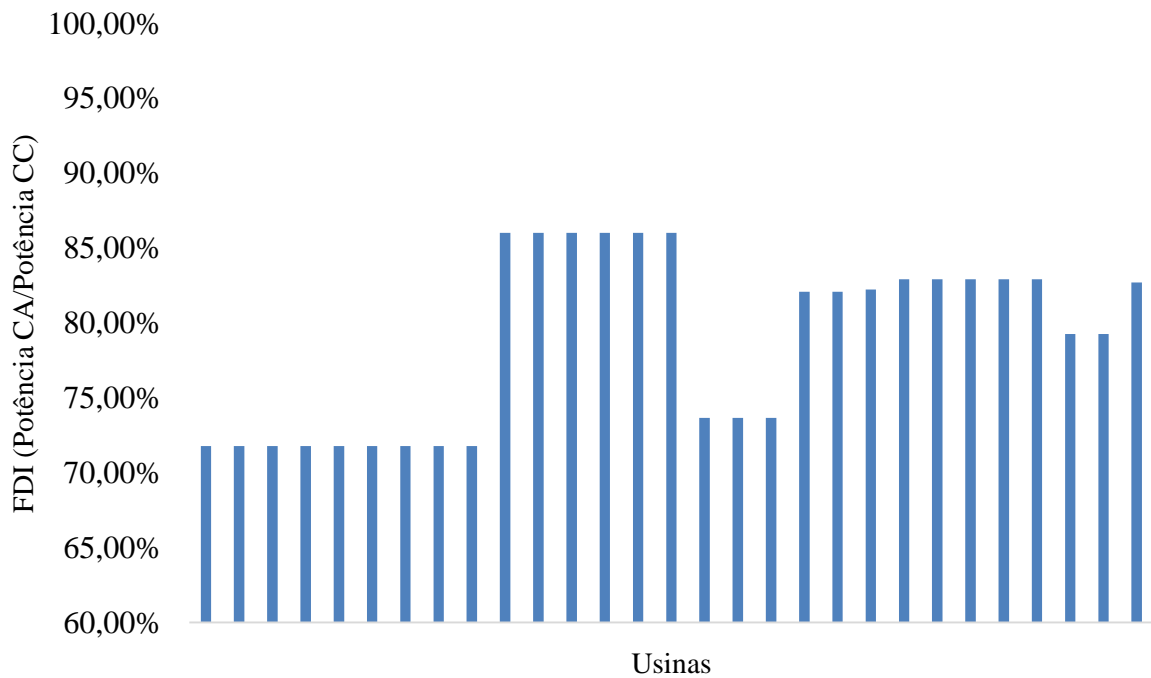


Figura 13 – Histórico do ano de 2018.

Fonte: EPE (2019).

A partir das Figuras 10, 11, 12 e 13 é possível concluir que os menores valores de FDI foram contratados em 2017, chegando a 61%, e os maiores também estão no mesmo leilão em aproximadamente 95%.

O sobredimensionamento do inversor implica em uma maior frequência do gerador operando na potência nominal, porém isso pode implicar em perdas por corte de potência e em diminuição da vida útil do inversor (BURGER E RUTHER, 2004).

A potência CC média dessas usinas é de 35,08 MWP e a potência CA média é de 28,15 MWP, então o FDI médio de todas as usinas analisadas é de 80%.

A usina de menor FDI encontrado, São Gonçalo, localizada no estado do Piauí foi uma das selecionada para simulação. O complexo teve oito usinas contratadas, de sua potência instalada 475 MW, 388 MW foram contratados no Leilão A-4 de 2018 e tem previsão de operação a partir de 2020. Apenas uma será analisada, ela tem 48,478 MW de potência CC e apenas 30 MW de potência CA, o que leva a um FDI de 61%.

A usina de maior FDI encontrado é a FCR III Itapuranga, contratada no primeiro leilão, em 2014. Ela fica localizada no estado de Goiás e atualmente está em operação. Ela tem potência CC de 10,4 MW e potência CA de 10 MW, portanto um FDI de 96,15%.

A partir desses dados coletados e com algumas considerações gerais será possível simular o desempenho das usinas escolhidas através do *software System Advisor Model (SAM)*.

### **3.3 Configurações utilizadas**

Optou-se por utilizar módulos m-Si para ambas as usinas. A opção por esse tipo de módulo foi para garantir uma boa eficiência de conversão para o sistema. Como opção de modelo, buscou-se um produto no catálogo da fabricante *Canadian Solar* (<https://www.canadiansolar.com/en>), marca conhecida e uma das maiores do mercado. Dentre as opções ofertadas, na usina de menor FDI o modelo escolhido foi o CS6x-330PN, com especificações apresentadas na Tabela 2.



Tabela 2 – Informações Técnicas do Módulo

Área	1,901 m <sup>2</sup>
Células	72 unidades
Potência nominal	330 W
Eficiência do módulo	17,37%.

Fonte: *System Advisor Model* (2019).

Na escolha do inversor, optou-se por um produto no catálogo da fabricante ABB, marca conhecida e uma das maiores do mercado mundial. Dentre as opções ofertadas, o modelo escolhido foi o ABB 1100 TL, que apresenta as informações técnicas da Tabela 3.

Tabela 3 – Informações Técnicas do Inversor de Usina de menor FDI.

Eficiência (Europeia)	97.80%
Corrente máxima CC	2100 A

Fonte: *System Advisor Model* (2019).

O fator de dimensionamento encontrado na usina simulada foi de 64%. Existe uma discrepância entre os resultados obtidos e os da usina idealizada, porém não são significativos.

Na usina de maior FDI o módulo escolhido foi novamente o CS6X-330PN da Canadian Solar, a justificativa de uso para esse modelo é que a potência dele é alta comparada à média de modelos apontados no programa, o que, para uma usina de 30MW é muito interessante.

Na escolha do inversor, para a usina de maior FDI optou-se por um produto no catálogo da fabricante SMA América (<https://www.sma-america.com/>), um dos principais fabricantes do mundo. O modelo escolhido foi o SC500CP- US 600V, que apresenta as informações técnicas da tabela 4.

Tabela 4 – Informações Técnicas do Inversor da Usina de maior FDI.

Eficiência (Europeia)	97.42%
Corrente máxima CC	1600 A

Fonte: *System Advisor Model* (2019).

O fator de dimensionamento encontrado na usina simulada foi de 93%. Existe uma discrepância entre os resultados obtidos e os da usina idealizada, porém não são significativos.

### 3.4 SAM – *System Advisor Model*

O *software* SAM foi desenvolvido pelo *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) nos Estados Unidos e realiza simulações de sistemas fotovoltaicos com dados climáticos horários ao longo de um ano (NREL, 2016).

### 3.5 Indicadores

Como principais indicadores de desempenho para as usinas simuladas foram utilizados:

#### 3.5.1 Fator de Capacidade

É determinado nas Equações 3 e 4, tomando-se como referência a Potência Habilitada ( $P_{otH}$ ) ou Potência CC ( $P_{otCC}$ ) do empreendimento (EPE, 2014).

$$FC_H = \frac{E}{P_{otH} \cdot 24(\text{horas}) \cdot 30(\text{dias})} \quad (3)$$

$$FC_{CC} = \frac{E}{P_{CC} \cdot 24(\text{horas}) \cdot 30(\text{dias})} \quad (4)$$

#### 3.5.2 Produtividade

Com o objetivo de se comparar o desempenho de sistemas fotovoltaicos operando sob diferentes configurações e em diferentes localidades, a engenharia de sistemas fotovoltaicos se utiliza de alguns indicadores de produtividade, conhecidos como índices de mérito. Esses

índices permitem verificar se um determinado sistema fotovoltaico está produzindo energia de forma otimizada ou se deve ser reconfigurado para aproveitar ao máximo o recurso solar disponível (BENEDITO, 2009).

A Produtividade (P), representada na Equação 5, é fundamental para a determinação do desempenho de um sistema fotovoltaico, correspondente à energia gerada (EG) em kWh pela potência instalada (PI) do sistema em kWp, permitindo a comparação da energia produzida de diversos sistemas fotovoltaicos com potências diferentes. Segundo Benedito (2009) em último caso, representaria o número de horas que o sistema deveria operar em sua potência nominal para produzir a mesma quantidade de energia entregue no período.

$$P = \frac{E_G}{P_I} \quad (5)$$

### 3.5.3 Eficiência do Inversor

A eficiência de inversores não tem um valor constante, apresentando uma dependência em relação ao nível de carregamento, o qual varia continuamente conforme as variações de irradiância e temperatura às quais o gerador fotovoltaico está submetido. A eficiência também é influenciada pela tensão CC de entrada (RAMPINELLI; KRENZINGER; ROMERO, 2013).

A Eficiência do Inversor (EI) é definida pela Equação 6, que corresponde a Potência em Corrente Alternada (PCA) pela Potência em Corrente Contínua (PCC).

$$EI = \frac{P_{CA}}{P_{CC}} \quad (6)$$

### 3.5.4 Eficiência do Sistema Fotovoltaico

A Eficiência do Sistema Fotovoltaico (ESF) é um indicador de desempenho definido pela Equação 7, que corresponde a relação entre a variável de Energia Elétrica (EE) pela Energia Solar (Es).

$$ESF = \frac{E_E}{E_S} \quad (7)$$

### 3.5.5 Razão de Performance

A Razão de Performance é uma índice que avalia a qualidade de um sistema fotovoltaico. É fornecida em porcentagem e designa a relação entre o Rendimento Real (R) e o Rendimento Esperado ( $R_E$ ) do sistema fotovoltaico definido pela Equação 8:

$$PR = \frac{R_R}{R_E} \quad (8)$$

## 3.6 Locais Analisados

Apesar das usinas com valores mais discrepantes em relação ao fator de dimensionamento do inversor estarem localizadas em outras cidades, a cidade de Florianópolis foi escolhida por estar presente no programa utilizado, *System Advisor Model*, e por apresentar irradiação muito diferente da outra cidade avaliada, Bom Jesus da Lapa. As duas cidades apresentam diferentes características de níveis de radiação solar em função da latitude local e do clima, Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina (SC), no litoral do estado e Bom Jesus da Lapa fica localizado no interior da Bahia (BA).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Dados de Desempenho

Na Figura 14, que leva em conta o  $FC_H$  e  $FC_{cc}$  das usinas de maior e menor FDI em Florianópolis com suporte fixo é possível observar que a usina de menor FDI apresenta um  $FC_{cc}$  muito menor em relação ao  $FC_H$ , e a usina de FDI maior possui os dois índices muito próximos.

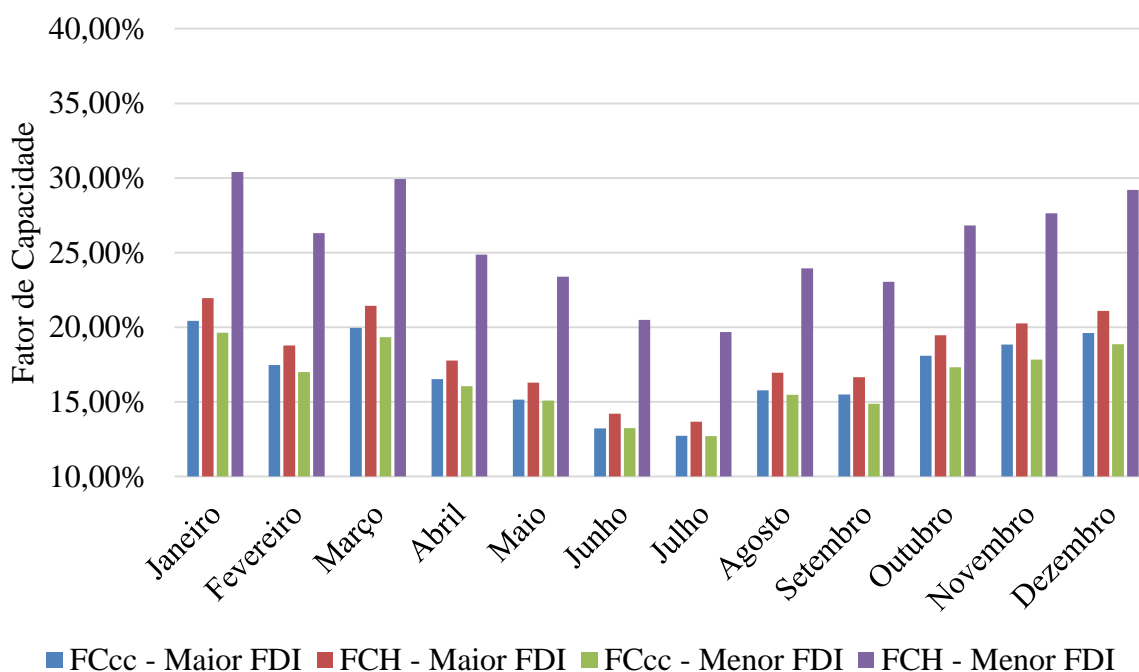


Figura 14 – Fator de Capacidade na Cidade de Florianópolis

Fonte: A autora (2019).

Quando o mesmo critério é analisado nas usinas na localidade de Bom Jesus da Lapa, novamente é possível observar que a usina de menor FDI apresenta um  $FC_{cc}$  muito menor em relação ao  $FC_H$ , e a usina de FDI maior possui os dois índices muito próximos, como pode ser visto na Figura 15.

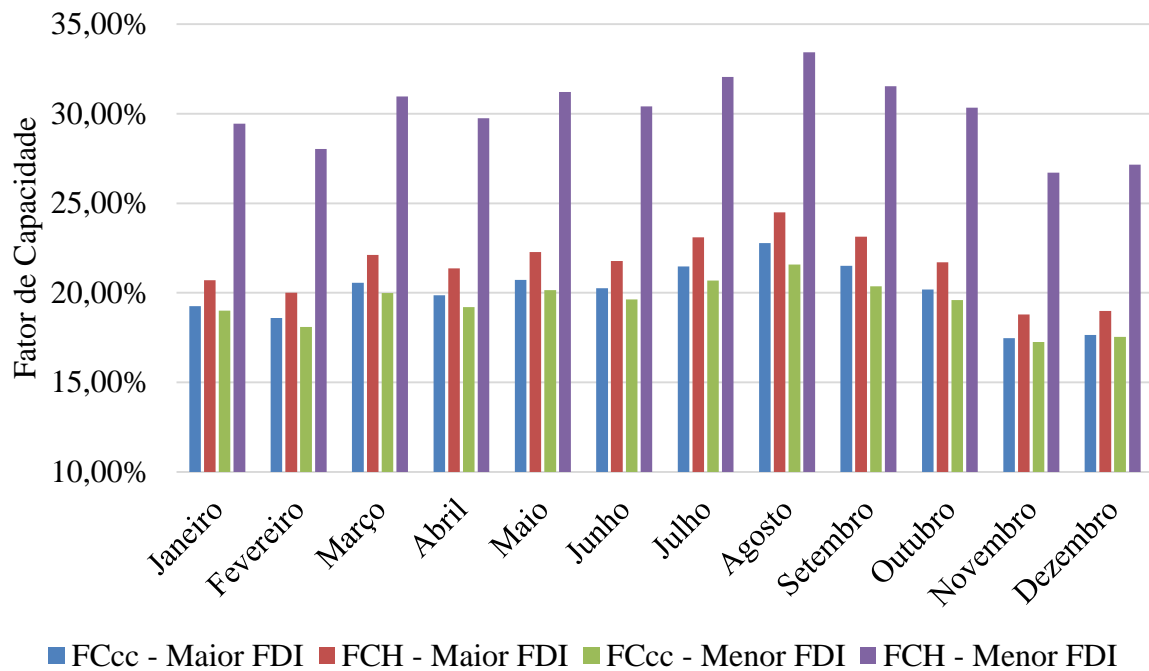


Figura 15 – Fator de Capacidade Habilitado em Bom Jesus da Lapa

Fonte: A autora (2019).

Isso acontece pois o FDI indica a relação entre as potências CA e CC do sistema, ou seja, quando o FDI é quase unitário, as potências são muito próximas, o que leva a Fatores de Capacidade similares. Já quando o FDI é menor, como o de 64% analisado neste trabalho, a potência CC é muito maior, o que leva a um Fator de Capacidade Habilitado mais elevado, uma vez que o sistema vai operar mais tempo na potência nominal.

O Fator de Capacidade também foi analisado na configuração de sistema de eixo único, uma vez que é a mais comum. Na Figura 16, observa-se novamente que a usina de menor FDI apresenta um FCcc muito menor em relação ao FCH, e a usina de FDI maior possui os dois índices muito próximos, como esperado.

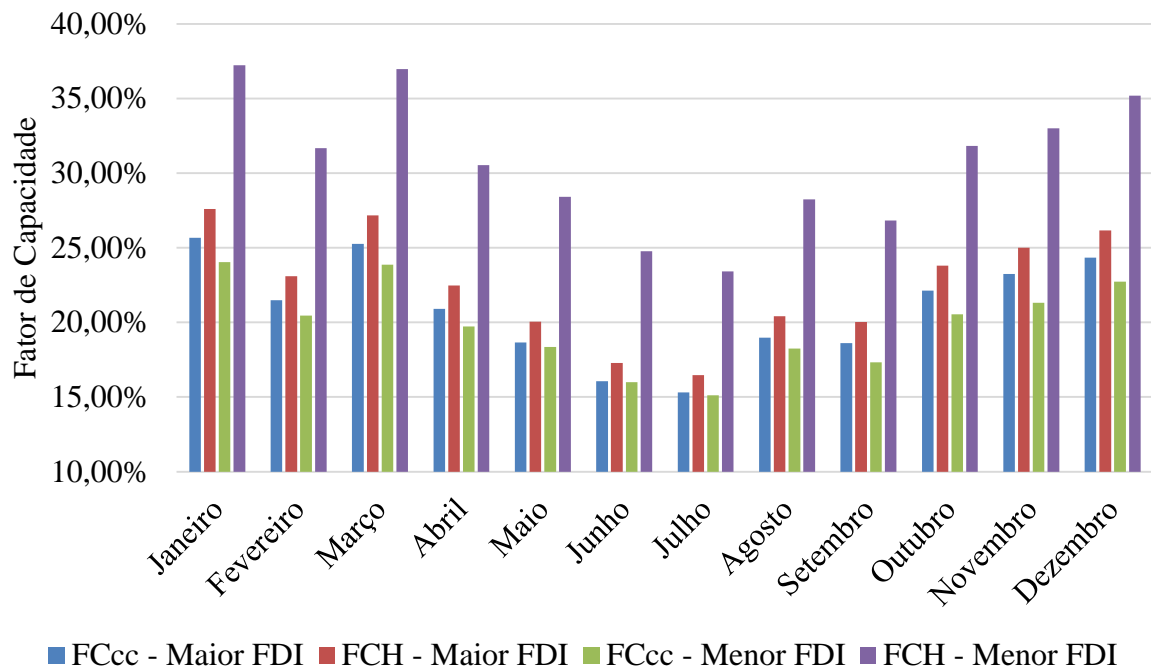


Figura 16 – Fator de Capacidade na Cidade de Florianópolis

Fonte: A autora (2019).

Quando o mesmo critério é analisado nas usinas na localidade de Bom Jesus da Lapa, novamente é possível observar que a usina de menor FDI apresenta um FCcc muito menor em relação ao FCH, e a usina de FDI maior possui os dois índices muito próximos, como pode ser visto na Figura 17.

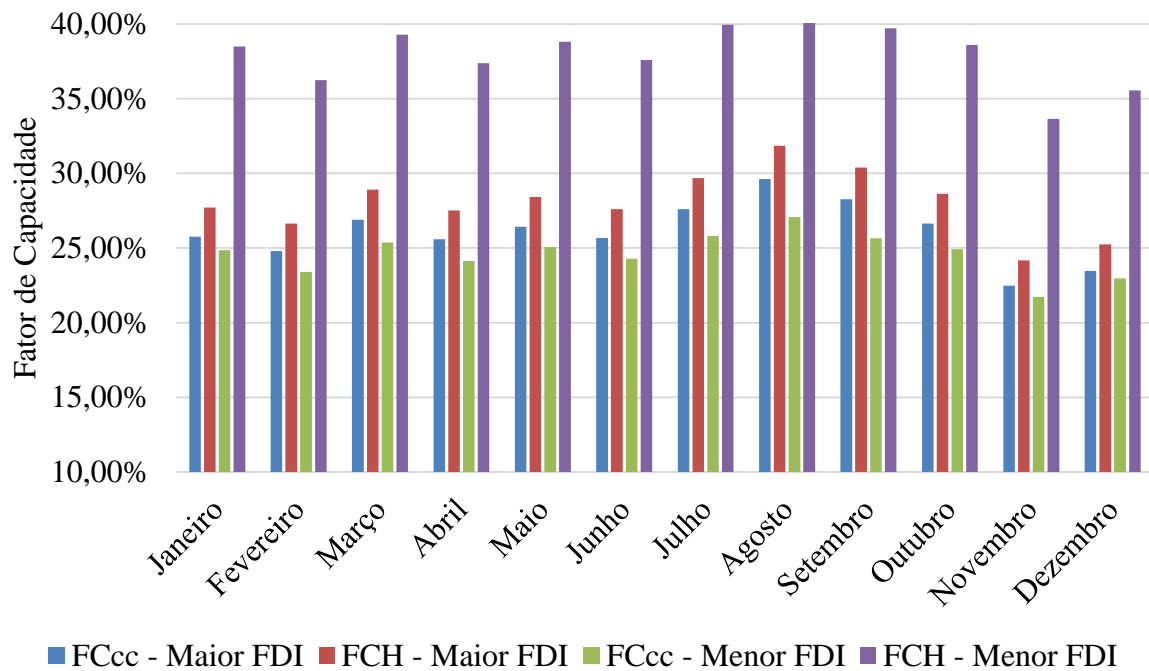


Figura 17 – Fator de Capacidade Habilitado em Bom Jesus da Lapa

Fonte: A autora (2019).

As Figuras 18 e 19 apresentam a eficiência do inversor para as duas usinas com rastreamento de eixo único, em Florianópolis e Bom Jesus da Lapa, respectivamente. Nestas é possível observar que a eficiência do inversor é menor para a usina de menor FDI, que apresenta potência elevada do gerador fotovoltaico em relação ao inversor, ocasionando cortes de potência.



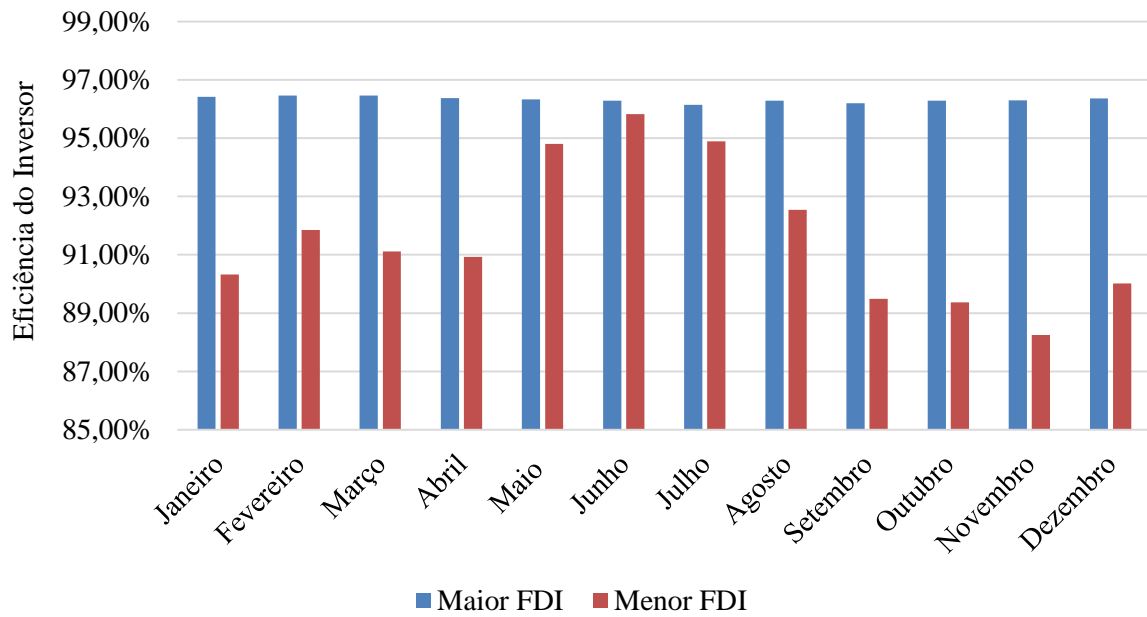


Figura 18 – Eficiência do Inversor em Florianópolis

Fonte: A autora (2019).

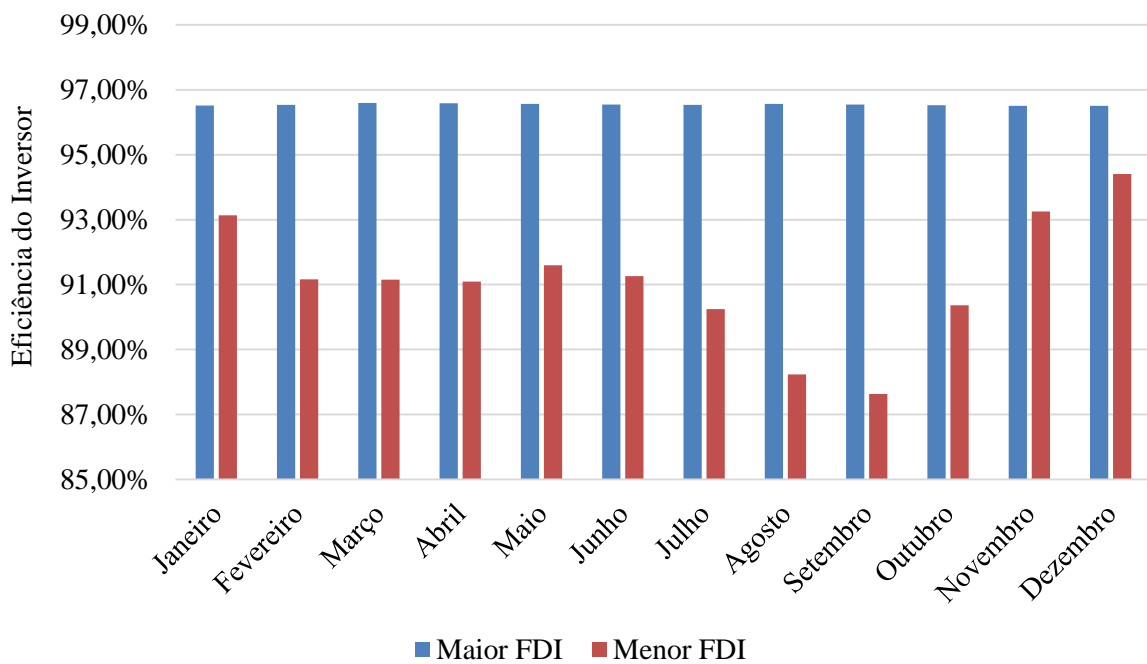


Figura 19 – Eficiência do Inversor em Bom Jesus da Lapa

Fonte: A autora (2019).

A produtividade em sistemas fotovoltaicos indica se as usinas fotovoltaicas estão produzindo energia de forma otimizada ou se deve ser reconfigurado para aproveitar ao máximo o recurso solar disponível. Avalia-se a produtividade das usinas, em Florianópolis, nas Tabelas 5 e 6, onde é possível encontrar um crescimento de 23% e 20% respectivamente entre a produtividade no rastreamento fixo e de eixo único da mesma usina. Porém, o crescimento entre os rastreamentos de eixo único e duplo, 5% e 3% respectivamente, não é tão significativo.

Tabela 5 – Produtividade da Usina de maior FDI em Florianópolis.

Suporte	Produtividade (kWh/kWp)				
	Fixo	1 Eixo	2 Eixos	Crescimento	
				Fixo e 1 Eixo	1 Eixo e 2 Eixos
Janeiro	158	199	208	26%	5%
Fevereiro	135	166	170	23%	2%
Março	154	196	200	27%	2%
Abril	128	162	169	27%	4%
Maio	117	144	158	23%	10%
Junho	102	124	140	22%	13%
Julho	99	119	130	20%	9%
Agosto	122	147	155	20%	5%
Setembro	120	144	146	20%	1%
Outubro	140	171	174	22%	2%
Novembro	146	180	186	23%	3%
Dezembro	152	188	198	24%	5%
Valor Médio Anual	131	162	170	23%	5%

Fonte: A autora (2019).

Tabela 6 – Produtividade da Usina de menor FDI em Florianópolis.

(contínua)

Suporte	Produtividade (kWh/kWp)				
	Fixo	1 Eixo	2 Eixos	Crescimento	
				Fixo e 1 Eixo	1 Eixo e 2 Eixos
Janeiro	219	268	278	22%	4%
Fevereiro	189	228	233	21%	2%
Março	216	266	271	23%	2%
Abril	179	220	225	23%	2%
Maio	168	205	214	22%	4%
Junho	148	178	191	20%	7%

Tabela 6 – Produtividade da Usina de menor FDI em Florianópolis.

(continuação)

Julho	<b>142</b>	<b>169</b>	<b>176</b>	<b>19%</b>	<b>4%</b>
Agosto	172	203	208	18%	2%
Setembro	166	193	194	16%	1%
Outubro	193	229	232	19%	1%
Novembro	199	238	244	20%	3%
Dezembro	210	253	263	20%	4%
Valor Médio Anual	183	221	227	20%	3%

Fonte: A autora (2019).

A produtividade novamente é avaliada nas Tabelas 7 e 8, agora na localidade de Bom Jesus da Lapa.

Tabela 7 – Produtividade da Usina de maior FDI em Bom Jesus da Lapa.

Suporte	Produtividade (kWh/kWp)				
	Fixo	1 Eixo	2 Eixos	Crescimento	
				Fixo e 1 Eixo	1 Eixos e 2 Eixos
Janeiro	149	199	21	34%	11%
Fevereiro	144	192	204	33%	6%
Março	159	208	214	31%	3%
Abril	154	198	203	29%	2%
Maiο	160	205	214	28%	5%
Junho	157	199	211	27%	6%
Julho	166	214	225	29%	6%
Agosto	176	229	237	30%	3%
Setembro	167	219	224	31%	2%
Outubro	156	206	216	32%	5%
Novembro	135	174	189	29%	9%
Dezembro	137	182	205	33%	13%
Valor Médio Anual	155	202	214	30%	6%

Fonte: A autora (2019).

Tabela 8 – Produtividade da Usina de menor FDI em Bom Jesus da Lapa.

Suporte	Produtividade (kWh/kWp)				
	Fixo	1 Eixo	2 Eixos	Crescimento	
				Fixo e 1 Eixo	1 Eixos e 2 Eixos
Janeiro	149	199	221	34%	11%
Fevereiro	144	192	204	33%	6%
Março	159	208	214	31%	3%
Abril	154	198	203	29%	3%
Maio	160	205	214	28%	4%
Junho	157	199	211	27%	6%
Julho	166	214	225	29%	5%
Agosto	176	229	237	30%	3%
Setembro	167	219	224	31%	2%
Outubro	156	206	216	32%	5%
Novembro	135	174	189	29%	9%
Dezembro	137	182	205	33%	13%
Valor Médio Anual	155	202	214	31%	6%

Fonte: A autora (2019).

É fácil observar que há otimização na produtividade avaliando as configurações fixas e eixo único. Nas Tabelas 7 e 8 é possível observar um crescimento de 30% e 31% respectivamente em relação ao rastreamento fixo. Porém, quando se avalia a diferença em produtividade entre eixo único e dois eixos, ambas 6%, observa-se que o crescimento não é tão substancial.

Por isso, quando é considerado o custo benefício deste tipo de empreendimento, geralmente a decisão é por rastreamento de eixo único ou fixo (ORTIZ et. al, 2018).

A Eficiência do Sistema Fotovoltaico corresponde a relação entre a variável de Energia Elétrica (EE) pela Energia Solar (Es), como pode ser observado nas figuras 20 e 21, nas usinas de maior e menor FDI respectivamente. Nestas, a eficiência foi analisada com o rastreamento de eixo único, a configuração mais comum.

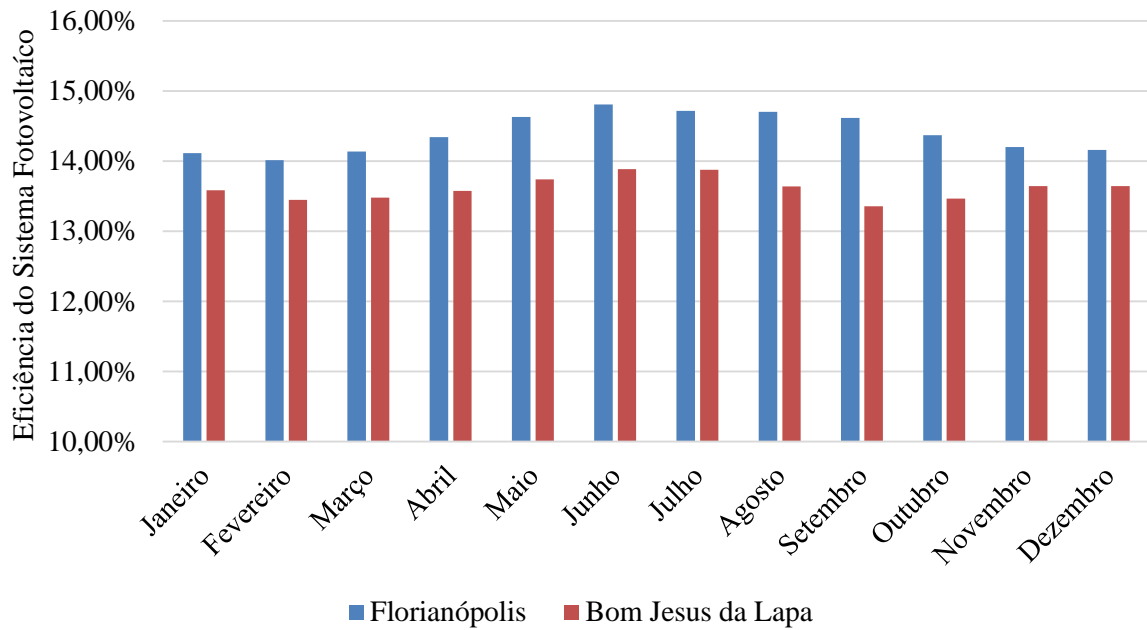


Figura 20 – Eficiência do Sistema Fotovoltaico – Rastreamento eixo único

Fonte: A autora (2019).

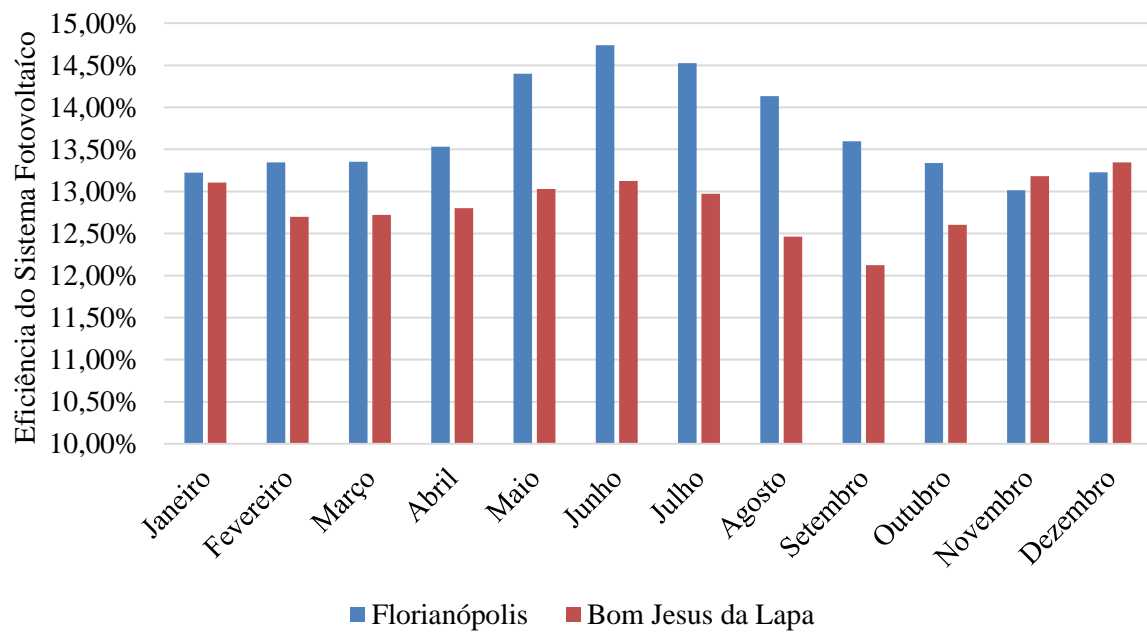


Figura 21 – Eficiência do Sistema Fotovoltaico – Rastreamento eixo único

Fonte: A autora (2019).

A eficiência em Florianópolis é maior do que a eficiência em Bom Jesus da Lapa, porém, esse índice indica que em Florianópolis há um melhor aproveitamento do recurso solar, e mesmo que o aproveitamento seja menor em Bom Jesus da Lapa, nesta região o recurso solar é maior, ou seja, a energia gerada será maior, quando se trata do mesmo sistema. Esse fato se deve principalmente ao índice Razão de Performance (PR), que é influenciado pela temperatura ambiente, como pode ser visto na Tabela 9:

Tabela 9 – Razão de Performance – Média Anual

	<b>Suporte</b>	<b>Usina de Menor FDI</b>	<b>Usina de Maior FDI</b>
<b>Bom Jesus da Lapa</b>	Fixo	0,75%	0,78
	Rastreamento Eixo Único	0,74%	0,78
	Rastreamento Eixo Duplo	0,72%	0,78
<b>Florianópolis</b>	Fixo	0,80%	0,82
	Rastreamento Eixo Único	0,78%	0,83
	Rastreamento Eixo Duplo	0,77%	0,82

Fonte: A autora (2019).

Além disso, também é possível observar que as eficiências em uma maneira geral são muito maiores na usina de menor FDI, que alcança com maior frequência a potência nominal do gerador.

Segundo o NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) o preço dos módulos fotovoltaicos caiu incrivelmente nos últimos 7 anos, variando de \$1,80/watt em 2010, até \$0,35/watt em 2017 para módulos de silício policristalino. Ou seja, sobredimensionar o sistema se tornou mais viável nos últimos anos.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo apresentar a geração fotovoltaica e o desempenho dois sistemas fotovoltaicos em distintas condições. Os resultados obtidos foram comparados com resultados oriundos de simulações utilizando o *software System Advisor Model*.

Como esperado, a análise comparativa indica que a aplicação de rastreadores solares em sistemas de geração fotovoltaica centralizados sempre é favorável no ponto de vista energético. O rendimento complementar entre suporte fixo e rastreamento de eixo único é bastante expressivo. Então, a decisão em utilizar destes recursos é de viabilidade financeira, uma vez que a utilização desses implica em um investimento maior.

Como pode-se observar nos dados dos leilões, é comum prever a instalação de uma potência CC maior que a potência CA. Assim o sobredimensionamento dos módulos possibilita a operação mais eficiente do inversor próximo às suas condições nominais. Conclui-se de uma maneira geral que os rendimentos são maiores nas usinas de menores FDI, porém isso pode implicar em perdas por corte de potência e em diminuição da vida útil do inversor.

A eficiência do sistema fotovoltaico é maior para a usina de Florianópolis em comparação a usina de Bom Jesus da Lapa, essa afirmação indica que o aproveitamento solar é maior na cidade de Florianópolis. Este cenário é explicado em função das menores temperaturas ambientes que são registradas em Florianópolis. Em Bom Jesus da Lapa, apesar do aproveitamento solar ser menor, o recurso solar é mais abundante do que em Florianópolis, conseqüentemente, a energia elétrica gerada pela usina fotovoltaica é maior comparativamente em Florianópolis.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Finalmente sugere-se uma possível evolução do trabalho realizado: a análise da vida útil de sistemas sobredimensionados, e também a análise econômica entre o investimento em usinas de rastreamento de eixo único e rastreamento de eixo duplo. Estas análises tornam possíveis a melhor escolha de fator de dimensionamento e de rastreamento.



**PERFORMANCE ANALYSIS OF CENTRALIZED GENERATING  
PHOTOVOLTAIC POWER PLANT: TRACKING AND SIZING FACTOR OF THE  
INVERTER (SFI)**

**ABSTRACT**

As a consequence of the increase in prices of fossil fuels and recent droughts, it is indispensable that there is a diversification of the Brazilian electricity matrix for the continuity of the supply of electric energy. In addition, it is important that such diversification include renewable sources so that it is a long-term solution and does not compromise the environment and society. In recent years photovoltaic energy has been seen internationally as a very promising technology and the distributed generation facility has been growing exponentially all over the world. The present work has the objective of simulating and analyzing the performance of two photovoltaic plants contracted in the last auctions considering different types of support: fixed, single axis tracking and double axis tracking and their different inverter design factors, of different indicators to verify the most efficient alternative.

Keywords: Centralized Generation. Tracking. Sizing Factor of The Inverter.

## REFERÊNCIAS

ANTONIO, S. A., PEREIRA, H. A., 2014. **Análise de um seguidor solar unidirecional em um dia parcialmente nublado.**, In: Congresso Brasileiro de Energia Solar., Recife., Anais do CBENS.

BENEDITO, R. S., 2009. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnicos, econômico e regulatório**, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo

BRASIL. Decreto-lei Nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Lex: coletânea de legislação: edição federal, Brasília, 2004. 52  
BRASIL. Decreto-lei Nº 6.048, de 27 de julho de 2007. Altera os Arts. 11, 19, 27, 34 e 36 do Decreto no 5.163, de 30 de julho de 2004, que regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica. Lex: coletânea de legislação: edição federal, Brasília, 2007.

BURGER, Bruno; RUTHER, Ricardo. **Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature.** 2004. 13 f. Tese (Doutorado) - Curso de Electrical Engineering, Department Of Electrical Energy Systems, Fraunhofer-institute For Solar Energy Systems Ise, Freiburg, 2005.

CHEN, Song; LI, Peng; BRADY, David. **Optimum Inverter Sizing in Consideration of Irradiance Pattern and PV Incentives.** 2011. 7 f. Tese (Doutorado) - Curso de Electrical And Computer Engineering, Department Of Electrical And Computer Engineering, Northeastern University, Boston, 2011. Disponível em: <[http://www.ece.neu.edu/groups/power/lehman/Publications/Pub2011/2011\\_3\\_Chen.pdf](http://www.ece.neu.edu/groups/power/lehman/Publications/Pub2011/2011_3_Chen.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2018.

CUBEROS, F.L. **Novo modelo institucional do setor elétrico brasileiro: análise dos mecanismos de mitigação de riscos de mercado das distribuidoras.** 2008. Dissertação

(Mestre em Engenharia Elétrica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DIAS, João Batista. **Instalação fotovoltaica conectada à rede**: Estudo experimental para a otimização do fator de dimensionamento. 2006. 175 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/5819>>. Acesso em: 23 out. 2018.

FARICELLI, C., 2008. **Seguidor solar para sistemas fotovoltaicos**. São Paulo, São Paulo, Brasil: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

FROSI, Fabiano et al. **ANÁLISE COMPARATIVA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA DE UM SEGUIDOR SOLAR DE DOIS EIXOS PARA A REGIÃO DE FARROUPILHA-RS**. In: **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**, 2018, Gramado. **Anais**. Farroupilha: 2018. p. 1 - 9. Disponível em: <<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwi56cXcrMbiAhWjDbkGHXPnAAUQFjACegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fanaiscbens.emnuvens.com.br%2Fcbens%2Farticle%2Fview%2F161%2F161&usg=AOvVaw1tquVLAp5zisiQ3IgzW2v>>. Acesso em: 31 maio 2019

GASPARIN, Fabiano Perin; KRENZINGER, Arno. **DESEMPENHO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM DEZ CIDADES BRASILEIRAS COM DIFERENTES ORIENTAÇÕES DO PAINEL**. Revista Brasileira de Energia Solar, Porto Alegre, v, n. 8, p.10-17, jul. 2017. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/search/titles?searchPage=3>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

**GLOBAL MARKET OUTLOOK: For Solar Power/2016-2020**. Bruxelas, Bélgica: European Photovoltaic Industry Association, 2016.

GUARNIERI, Maurício Vivan. **USINAS SOLARES FOTOVOLTAICAS COM SEGUIMENTO EM UM EIXO NO BRASIL: ASPECTOS DA CONSTRUÇÃO, CUSTOS**

E EXPECTATIVA DE DESEMPENHO. 2017. 184 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/189002/PECV1108-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>>. Acesso em: 23 out. 2018.

MACÊDO, Walter Negrão; ZILLES, R. Operational Results of Grid-Connected Photovoltaic System With Different Inverter's Sizing Factors (ISF). **Wiley Interscience: PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS**, São Paulo, n. 15, p.337-352, dez. 2006.

MACEDO, Wilson Negrão. **Análise do fator de dimensionamento do inversor (FDI) aplicado a sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR)**. 2006. 201 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Energia, Usp, São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-29112006-153307/pt-br.php>>. Acesso em: 11 out. 2018.

MARTINS, Frederico Osvaldo. **Seguidor solar de dois eixos com**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2016. Disponível em: <[https://run.unl.pt/bitstream/10362/27882/1/Martins\\_2016.pdf](https://run.unl.pt/bitstream/10362/27882/1/Martins_2016.pdf)>. Acesso em: 31 maio 2019.

MME. **Entidades Vinculadas**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/entidades-vinculadas-e-afins/epe>>. Acesso em: 31 maio 2019.

ORTIZ, Fernando H. V. et al. **DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE**. In: **VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR**, 2018, Gramado. **Artigo**. Goiania, 2018. p. 1 - 10. Disponível em: <[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwj et-PG8sXiAhXOJrkGHdr8Cr4QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fanaiscbens.emnuv ens.com.br%2Fcbens%2Farticle%2Fview%2F169%2F169&usg=AOvVaw0YuG64yxt94\\_wti R8P-eq1](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwj et-PG8sXiAhXOJrkGHdr8Cr4QFjABegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fanaiscbens.emnuv ens.com.br%2Fcbens%2Farticle%2Fview%2F169%2F169&usg=AOvVaw0YuG64yxt94_wti R8P-eq1)>. Acesso em: 31 maio 2019.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: Swera, 2006. 60 p. Disponível em: <[http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil\\_solar\\_atlas\\_R1.pdf](http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2018.

PEREIRA, F. **Guia de Manutenção de Instalações Fotovoltaicas**. 1 ed. Anduriña: Publindústria Edições Técnicas, 2012.

PINHO, João Tavares (Org.). **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014. 529 p.

RAMPINELLI, Giuliano Arns; KRENZINGER, Arno; ROMERO, Faustino Chenlo. **Descrição e Análise de Inversores Utilizados em Sistemas Fotovoltaicos**. 2013. Disponível em: <<https://revistas.unicentro.br/index.php/RECEN/article/viewFile/2428/2231>>. Acesso em: 21 maio 2019.

SAM (Estados Unidos). **System Advisor Model. Welcome to SAM**. Disponível em: <<https://sam.nrel.gov/>>. Acesso em: 21 maio de 2019.

TREVELIN, Felipe Camargo. **Estudo Comparativo Entre Métodos de Rastreamento Solar Aplicados a Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-02092014-093245/?&lang=br>>. Acesso em: 31 maio 2019.

## AGRADECIMENTOS

Em especial ao meu pai, Valdir Itamaro (in memoriam) que infelizmente não pode estar presente neste momento tão feliz da minha vida, mas que não poderia deixar de dedicar a ele, pois se hoje estou aqui, devo muitas coisas a ele e por seus ensinamentos e valores passados. Obrigada por tudo! Saudades eternas!

À minha mãe, Dilma Heber Itamaro e meu irmão, Pedro Itamaro Neto, os quais me deram contínuo suporte e incentivo para que eu concluísse esta importante etapa da minha vida, agradeço por me ensinarem a ser forte o bastante para que eu pudesse enfrentar todos os desafios durante esta caminhada.

Agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, juntamente ao Curso de Engenharia de Energia e seus professores, que oportunizaram a realização deste trabalho.

A meu orientador Giuliano Arns Rampinelli, responsável por tornar este trabalho possível, por sua atenção, compreensão e paciência.

Aos amigos, que me apoiaram e que sempre estiveram ao meu lado durante esta longa caminhada, em especial aos amigos: Bruna, Kamille, Djéssica, Jaqueline, Júlia, Israel e Pâmela, que foram tão presentes durante todos os momentos da minha graduação.

Aos amigos que sempre estão presentes na minha vida: Mariana, Leticia, Frederick, Arthur e Ana Carolina.

Aos amigos do intercâmbio que trouxeram ânimo para enfrentar o restante do curso. Aos amigos da ENEjr e da SAENE, que tornaram a experiência da graduação muito mais especial!

Aos colegas novos que tanto me ajudaram na volta do intercâmbio, sempre disponíveis para ajudar em qualquer tipo de dúvida: Arieli, Danilo, Gabriel, Murillo e Roberto.

Especialmente a Pâmela que me ajudou constantemente na construção deste trabalho e ao Murillo que me ajudou com o *software*.