

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

Thiago Flosino Alves

ESTUDO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE INVERSORES SOLAR
FOTOVOLTAICO

Palmas – TO

2019

Thiago Flosino Alves

**ESTUDO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE INVERSORES SOLAR
FOTOVOLTAICO**

Trabalho de Graduação submetido ao curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. MSc. Alcy Monteiro Júnior

Palmas – TO

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

A474e Alves, Thiago Flosino.

ESTUDO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE INVERSORES SOLAR FOTVOLTAICO. / Thiago Flosino Alves. – Palmas, TO, 2019.

57 f.

Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Alcy Monteiro Júnior

1. EFICIÊNCIA DE INVERSORES SOLAR FOTVOLTAICO. 2. TEMPERATURA. 3. EFICIÊNCIA. 4. INVERSOR SOLAR FOTVOLTAICO.
I. Título

CDD 621.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Thiago Flosino Alves

ESTUDO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE INVERSORES SOLAR

Monografia foi avaliada e apresentada à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Palmas, Curso de Engenharia Elétrica para obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 12 / 04 / 2019

Banca Examinadora



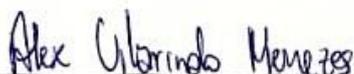
Prof. Me. Alcy Monteiro Júnior

Universidade Federal do Tocantins



Profa. Ma. Gisele Souza Parmezani Marinho

Universidade Federal do Tocantins



Prof. Me. Alex Vilando Menezes

Universidade Federal do Tocantins

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a toda minha família, principalmente ao meus país, Romildo Flosino de Souza e Nilzete Alves Borges Souza e tios Erivaldo João da Silva e Raimunda Alves Borges Souza, por todo apoio, companheirismo e por terem sonhado comigo essa conquista.

Agradeço também a todos os meus amigos que estiveram comigo desde o início dessa caminhada, e do tão sonhado título de engenheiro eletricista.

Ao meu orientador, Prof. MSc. Alcy Monteiro Júnior, por todo conhecimento transmitido, toda atenção, amizade e sobretudo paciência para comigo durante esse trabalho.

RESUMO

Com o avanço constante da tecnologia, a cada dia se discute mais sobre temas, como, eficiência energética e energias renováveis, pois eficiência energética significa menos perdas de recursos e economia tanto para concessionárias como para consumidores. O crescimento de tecnologias voltadas para eletrônica possibilitou um grande avanço em controle de processos relacionados á eletricidade, esse controle permite a manipulação de sinais elétricos, abaixamento ou elevação da amplitude do sinal, e a conversão entre sinais contínuo e alternado. Este trabalho aborda a interferência da temperatura na eficiência de inversores solar fotovoltaico conectado à rede na região do plano diretor sul em Palmas. Equipamentos eletrônicos são projetados para operar em torno de uma temperatura de segurança a qual não pode ser ultrapassada devido a instabilidades de operação, redução da vida útil ou até mesmo falha grave. Informação sobre eficiência de conversão de energia elétrica e de perdas causadas pelo aumento de temperatura é importante para a implementação de uma possível otimização em inversores quando aplicados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

PALAVRAS-CHAVE: Inversor solar fotovoltaico. Eficiência energética. Temperatura.

ABSTRACT

Nowadays with constant development of technology, more and more subjects such as energy efficiency and renewable energies are discussed every day, cause energy efficiency means less losses of resources and saving for both concessionaires and consumers. The development of electronic technologies enabled to have a great advance in the control of processes related to electricity, this control allows the manipulation of electrical signals, lowering or increasing the amplitude of the signal, and the conversion between direct and alternate signals. This work is about the interference of temperature in the efficiency of inverters on grid at the region of the southern master plan at Palmas. Electronic devices are designed to operate on a safety temperature which it must not be exceeded due to operating instability, reduced life or even serious failure. Information on electricity conversion efficiency and losses caused by temperature rise is important for the implementation of a possible optimization in inverters when it applied to on grid photovoltaic systems.

KEYWORDS: Solar inverter. Energy efficiency. Temperature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Inversor ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S	18
Figura 2 – Curva de tensão em CC, potência de saída pela eficiência.	19
Figura 3 – Região de operação do inversor, potência de saída pela eficiência.	20
Figura 4 – Número de micro e minigeradores até 23/05/2017.	23
Figura 5 – Conexão por tipo de fonte até 23/05/17.	24
Figura 6 – Potência instalada por fonte até 23/05/17.	24
Figura 7 – Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17.	25
Figura 8 – Classes de consumo dos consumidores até 23/05/17.	25
Figura 9 – Faixas de potência dos geradores até 23/05/17.	26
Figura 10 – Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos.	27
Figura 11 – Potência instalada em MW.	28
Figura 12 – Temperatura do dia 05/02/2018	35
Figura 13 – Potência do dia 05/02/2018	35
Figura 14 – Eficiências do dia 05/02/2018	36
Figura 15 – Temperatura do dia 16/02/2018	36
Figura 16 – Potência do dia 16/02/2018	37
Figura 17 – Eficiências do dia 16/02/2018	37
Figura 18 – Temperatura do dia 26/02/2018	38
Figura 19 – Potência do dia 26/02/2018	38
Figura 20 – Eficiências do dia 26/02/2018	39
Figura 21 – Temperatura do dia 16/08/2018	40
Figura 22 – Potência do dia 16/08/2018	40
Figura 23 – Eficiências do dia 16/08/2018	41
Figura 24 – Temperatura do dia 25/08/2018	42
Figura 25 – Potência do dia 25/08/2018	42
Figura 26 – Eficiências do dia 25/08/2018	42
Figura 27 – Temperatura do dia 30/08/2018	43
Figura 28 – Potência do dia 30/08/2018	43
Figura 29 – Eficiências do dia 30/08/2018	44
Figura 20 – Temperatura do dia 04/09/2018	44
Figura 31 – Potência do dia 04/09/2018	45

Figura 32 – Eficiências do dia 04/09/2018	45
Figura 33 – Temperatura do dia 11/09/2018	46
Figura 34 – Potência do dia 11/09/2018	46
Figura 35 – Eficiências do dia 11/09/2018	47
Figura 36 – Temperatura do dia 23/09/2018	47
Figura 37 – Potência do dia 23/09/2018	48
Figura 38 – Eficiências do dia 23/09/2018	48
Figura 39 – Spike	50
Figura 40 – Esquema de montagem.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Número de consumidores residenciais e comerciais que receberiam os créditos.	26
Tabela 2 – Potência instalada em MW	27
Tabela 3 – Eficiência teórica	29
Tabela 4 – Dados mensurados de janeiro a setembro de 2018.	31
Tabela 5 – Dados mensurados pelo inversor solar.	32
Tabela 6 – Amostras analisadas.	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

°C – Graus Celsius

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Contínua

GW – Gigawatts

h – Horas.

kW – Quilowatts

kWh – Quilowatts Hora

kWp – Quilowatts Pico

IGBT – *Isolated Gate Bipolar Transistor*

min – minutos

MPPT – *Maximum Power Point Tracker*

MW – Megawatts

SFCR – Sistemas Fotovoltaico Conectados à Rede

SRD – Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição

SSD – *Solid State Drive*

USB – *Universal Serial Bus*

V – volts

W- watts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Considerações iniciais.....	11
1.2 Objetivos Gerais	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
1.4 Justificativa	13
1.5 Metodologia, materiais e métodos utilizados	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Inversores fotovoltaico	14
2.1.1 Tipos de inversores	14
2.2 Eficiência nos inversores.	14
2.3 Influência da temperatura em inversores solar.....	16
2.4 Radiação solar fotovoltaica.....	17
2.5 Inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S.....	17
2.5.1 Eficiência do inversor solar PVI-3.6	18
2.5.2 Redução e queda de potência devido a diversos fatores.....	20
2.6 Resolução normativa ANEEL nº 482/2012.....	21
2.7 Nota Técnica nº 0056/2017 – SRD/ANEEL.....	22
3 DESENVOLVIMENTO.....	28
3.1 Considerações iniciais.....	28
3.2 Temperatura do inversor.....	30
3.3 Potência mensurada.	30
3.4 Eficiência mensurada e Teórica..	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Dados de janeiro a setembro de 2018.....	31

4.2 Potência CA.....	32
4.3 Eficiência.	33
4.4 Temperatura	34
4.5 Análise dos dias referidos nos gráficos da Figura 12 a 38.	42
4.5.1 Resultados.....	49
4.5.2 Possíveis falhas de medição elétrica.....	50
4.5.3 Possíveis soluções de análises.	47
5 CONCLUSÕES.....	48
5.1 Conclusões gerais	48
5.2 Sugestão para trabalhos futuros	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Até 3 de abril de 2019, o setor de energia solar fotovoltaica no Brasil possuía 81.459 sistemas fotovoltaicos instalados, com capacidade instalada de 683.372 kW (ANEEL, 2019). As previsões indicam que em 2024 o Brasil terá aproximadamente 887 mil sistemas fotovoltaico conectados à rede (SFRC) instalados por todo território brasileiro (BRASIL, 2018).

Por volta de 2012, a energia solar no território Brasileiro tornou-se uma opção mais acessível para os consumidores que desejam produzir a sua própria energia, através da instalação e uso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Desde então, o número desses tipo de sistemas instalados só cresceu no Brasil e, nos últimos anos, com as ofertas de linhas de financiamentos, a queda de preços da tecnologia, foi um fator, acelerou muito de tal forma a destacar o país no cenário internacional (BRASIL, 2018).

Segundo Rampinelli (2010), um sistema de produção de energia solar fotovoltaica é composto por três blocos bem definidos onde ficam agrupados os elementos básicos, nas quais, tem-se o bloco gerador onde se encontra o modulo fotovoltaico, estruturas de suporte e cabos; bloco de condicionamento de potência, encontra-se os inversores fotovoltaicos e controladores de carga, e por fim o bloco de armazenamento onde fica localizado as baterias.

Como o sistema que será abordar é conectado na rede elétrica então não tem o terceiro bloco de armazenamento, uma vez que a energia produzida pelo sistema fotovoltaico que não for consumida vai ser injetada na rede.

Entre os painéis solares e o ponto de fornecimento à rede, tem-se os inversores que ficam responsáveis por fazer toda a parte inteligente do processo de conversão de energia, e no caso do SFRC, pelo sincronismo e injeção de energia na rede, sabendo que um painel solar produz somente energia em corrente contínua e seu nível de tensão depende da radiação solar (RAMPINELLI, 2010).

Um inversor é um sistema elétrico constituído por elementos passivos (indutores, capacitores e resistores) e elementos ativos, como tiristores e transistores que mudam as características de tensão, corrente e frequência de acordo com sua topologia (RAMPINELLI, 2010).

Com avanço da Eletrônica de Potência foi possível a implementação de conversores de frequência com unidades de estado sólido SSD (sigla do inglês *solid state drive*), a principio

com tiristores e posteriormente entrou-se na fase dos transistores, mais especificamente IGBT, denominado transistor bipolar de porta isolada. O inversor fotovoltaico pode ser entendido como um conversor de energia eletromagnética onde a conversão ocorre de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) (RAMPINELLI, 2010).

De acordo com Bezerra (2010), os inversores solar convertem CC - CA, além de levar as baixas tensões dos painéis para 110V, 220V ou outra tensão que seja necessária. Os módulos fotovoltaicos produzem energia em CC, sabendo que a maioria dos aparelhos elétricos e eletrônicos usa CA tem-se a necessidade do inversor no sistema.

Existem vários inversores, porém alguns são mais difundidos e utilizados. Os inversores podem ser classificados de acordo com sua topologia e função que executa para cada aplicação específica. Entre os mais comuns tem-se: Inversores de onda quadrada, inversores de onda senoidal modificada, inversores de onda senoidal pura e inversores para conexão à rede (BEZERRA, 2010).

Segundo Bezerra (2010), pode-se destacar que a eficiência do inversor é um fator primordial para viabilizar o projeto solar, além de estar diretamente ligado a produção de energia.

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo desta análise é avaliar como a eficiência de inversores solar se relaciona com a variação de temperatura, além de conceituar o efeito da temperatura em inversores, fazer um levantamento bibliográfico de estudos relacionados ao efeito de altas temperaturas em componentes eletrônicos e possíveis métodos de solução já existente.

1.3 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste projeto são:

- Comparar a potência de saída em CA em relação com a potência de entrada em CC, por meio de dados digitalizados, fornecidos pelo inversor que está instalado na região sul de Palmas;

- Utilizar as técnicas digitais para comparar a eficiência do inversor solar fornecidas nos dados de placa, para cada condição de operação específica, com a eficiência mensurada pelo inversor solar em operação.

1.4 Justificativa

Sabe-se que na região norte do Brasil em especial em Palmas tem altas temperaturas praticamente o ano todo. Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 20 °C a 35 °C e raramente é inferior a 18 °C ou superior a 37 °C (WEATHER, 2018). O estudo a ser realizado nesse trabalho trata-se de um caso real localizado no plano diretor sul de Palmas. O aumento da temperatura em componentes eletrônicos resulta na elevação da resistência dificultando a passagem da corrente. Portanto, o estudo do comportamento dos inversores nessas condições climáticas se faz necessário para uma possível intervenção que resulte em uma maior quantidade de energia produzida.

Logo, a relevância desse estudo consiste em estudar a importância de um bom condicionamento para os inversores, levando em consideração a ventilação do local onde o inversor esta instalado, bem como o sombreamento e dissipação de calor no ambiente.

1.5 Metodologia, materiais e métodos utilizados

O estudo referido é de cunho qualitativo e quantitativo, realizado através de revisão bibliográfica e dados de monitoramento fornecidos pelo inversor solar: ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S. Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica acerca do tema: eficiência energética, mais especificamente a eficiência de inversores solar em diferentes condições ambientais, foi analisada a folha de especificações e comparado os dados reais com os teóricos. Os dados reais foram fornecidos pelo inversor que mensura os parâmetros elétricos de cinco em cinco minutos durante todo o seu período de funcionamento. Além disso, o delineamento do problema foi feito com dados práticos de tensão, potência de operação, eficiência e temperatura que posteriormente serão usados para validar as hipóteses com relação aos dados de placa do inversor. Todos os cálculos e plotagem de gráficos foram feitos usando o *software* Excel.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Inversores fotovoltaicos.

Os inversores são circuitos estáticos que convertem potência CC gerado pelos módulos fotovoltaicos em potência CA com corrente, frequência ou tensão de saída desejada. O principal papel dos inversores fotovoltaicos nos sistemas de geração distribuída é garantir a segurança do sistema é entregar energia elétrica à rede de distribuição em CA, dentro de padrões de qualidade adequados. Isso requer, principalmente, o mínimo de distorção na forma de onda da corrente resultante na rede, ou seja, o mais próximo possível da forma senoidal (POMILIO, 2015).

Basicamente, o inversor deve fornecer uma tensão ou corrente alternada, com frequência, forma e amplitude definidas pelas cargas alimentadas pela rede CA. Em princípio, a saída deve ser independente das alterações que ocorrem na tensão (ou corrente) na fonte CC (POMILIO, 2015).

2.1.1 Tipos de inversores.

Os módulos solares e baterias fornecem energia na forma de CC. Hoje, nossos aparelhos eletrônicos em sua maioria utilizam AC, portanto o uso de corrente contínua fica restrito a casos isolados, dificilmente um sistema pode dispensar o inversor (BEZERRA, 2010).

Segundo Bezerra (2010) os inversores são divididos em:

- Inversores de Onda Senoidal Pura – Esse tipo de inversor produz uma onda senoidal pura e muitas vezes até mais pura que a da própria rede elétrica. Podem ser utilizados em qualquer aparelho de corrente alternada respeitando os requisitos técnicos. Seu preço elevado vem sofrendo queda e se aproximando ao valor dos inversores de onda modificada e, portanto tem sido cada vez mais utilizados.
- Inversores para Conexão à Rede – Para as instalações conectadas à rede, é necessário um Inversor. A função desses inversores vai além da produção de uma onda senoidal pura, também é preciso sincronizar a frequência com a rede elétrica. Em geral esses

inversores possui um mecanismo chamado “anti-ilhamento”, responsável por garantir que o sistema não energiza a rede quando for desligada, possibilitando a manutenção sem eletrocutar as pessoas durante procedimento.

- Microinversores para Conexão à Rede – O microinversor é um novo tipo de inversor *grid tie* que tem sido cada vez mais utilizado. Sem o uso de um inversor central, cada microinversor é conectado a um único painel solar. Possui as mesmas proteções e apresentam algumas vantagens sobre os inversores convencionais, com uma melhor eficiência, maior vida útil, facilidade de instalação e facilidade de manutenção.
- Inversor/Carregador – Esse tipo de inversor tem a capacidade de carregar as baterias a partir de uma fonte AC. Permitindo carregar as baterias e reduzindo o risco de danos a elas por descarga exagerada e, reduzindo os bancos de baterias. Uma grande vantagem é que permite dar partida em um motor ou gerador mesmo quando as baterias estão descarregadas.
- Inversores de Onda Quadrada – São os tipos mais simples e econômico de inversores, porém não pode ser utilizado em qualquer aparelho. Serve apenas para uma quantidade limitada de aplicações.
- Inversores de Onda Senoidal Modificada – É um tipo de inversor muito utilizado e bastante econômico produz uma onda intermediária entre a senoidal pura e a quadrada. Com exceção de aparelhos mais exigentes, esses tipos de inversores atende a maioria das aplicações. Os equipamentos com *timers* ou controle de velocidade, cada vez mais comuns, podem não funcionar de forma adequada. Estes inversores são uma boa escolha para instalações pequenas.

2.2 Eficiência nos inversores.

A eficiência de conversão CC/CA de inversores é definida como a razão entre a energia em corrente alternada entregue à rede e a energia em corrente contínua efetivamente absorvida na entrada do inversor, na Equação 1 (ALMEIDA, 2011).

$$\eta_{INV.CONV} = \frac{\int_0^T P_{CA}(t).dt}{\int_0^T P_{CC}(t).dt} \quad (1)$$

Onde:

$\eta_{\text{INV.CONV}}$ = eficiência de conversão do inversor.

T_M = período de integração considerado.

P_{CA} = potência CA entregue à rede pelo inversor.

P_{CC} = potência CC absorvida pelo inversor.

A eficiência do inversor em geral é medida em %, indicando o quão eficiente este inversor é em converter a energia solar de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA) (ALMEIDA, 2011). Na formula apresentada a eficiência pode atingir valores entre 0 e 1, sabendo que zero representa a não produção de energia e o 1 representa uma eficiência de 100%, logo a eficiência 100% é uma situação irreal devido as perdas internas que ocorre em aparelhos eletrônicos (ASADES, 2016).

2.3 Influência da temperatura em inversores solar.

A confiabilidade e a vida útil de equipamentos eletrônicos são fortemente ligadas á sua temperatura de operação. Com o crescente uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede faz-se necessário o conhecimento detalhado sobre estes sistemas quanto à segurança de operação, confiabilidade e eficiência (ASADES, 2016).

Dentre os componentes destes sistemas os inversores possuem os componentes mais frágeis e mais sucessíveis a falhas. Por esta razão, os inversores vêm sendo constantemente aprimorados. Com o conhecimento das condições de operação de inversores pode haver um auxilio na definição de prioridades e melhorias do produto, sejam elas relacionadas à construção mecânica ou configuração eletrônica (ASADES, 2016).

De acordo com Asades (2016) o superaquecimento, no caso dos inversores, muitas vezes é decorrente de uma dissipação térmica insuficiente para o seu arrefecimento e pode ter diversas causas, tanto internas como externas. Como causas internas podem ser citadas operação acima da potência nominal e o projeto térmico inadequado. A elevada temperatura ambiente e o acúmulo de pó em dissipadores de calor pode ser exemplo de causas externas.

A expressão em inglês *temperature derating*, é designada para referir-se a rotina nos algoritmos de inversores, que são responsáveis por estratégias em gerenciamento térmico, seja para a proteção do equipamento, aumento de vida útil ou maior estabilidade em sua operação (ASADES, 2016).

2.4 Radiação solar.

Radiação solar é um termo usado de forma genérica e pode ser referenciado em termos de fluxo de potência, quando é especificamente denominado de irradiância solar, ou em termos de energia por unidade de área, denominado, então, de irradiação solar (TAVARES, 2014).

Segundo Tavares (2014), pode-se definir a radiação e irradiância como:

Radiação solar: Energia incidente por unidade de superfície de um dado plano, obtida pela integração da irradiância durante um intervalo de tempo, normalmente uma hora ou um dia. É a quantidade de energia solar que incide em uma superfície durante um certo período de tempo e é pode ser, medido em Wh ou kWh por metro quadrado (Wh/m^2 ou kWh/m^2). Como a energia é expressa como potência ao longo do tempo, a radiação solar é a irradiação ao longo de um determinado tempo.

Irradiância solar: Potência radiante (radiação solar) incidente por unidade de superfície sobre um dado plano. E pode ser entendida como, a intensidade da luz do sol e pode ser medida em watts por metro quadrado (W/m^2). A potência é um valor instantâneo, e portanto a irradiação é a intensidade da luz do sol em um momento específico. A irradiação muda ao longo do dia à medida em que o sol é encoberto pelas nuvens ou se desloca no céu.

2.5 Inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S

Segundo o manual técnico da ABB (2018b), esse inversor executa sua operação sem transformador sua eficiência se dá até 97,0%. A ampla faixa de tensão de entrada no inversor é adequada para baixo consumo de energia nas instalações. Este inversor externo foi projetado para ser uma unidade completamente selada e, suportar condições de temperatura ambiente de até 60°C.

Figura 1 – Inversor ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S



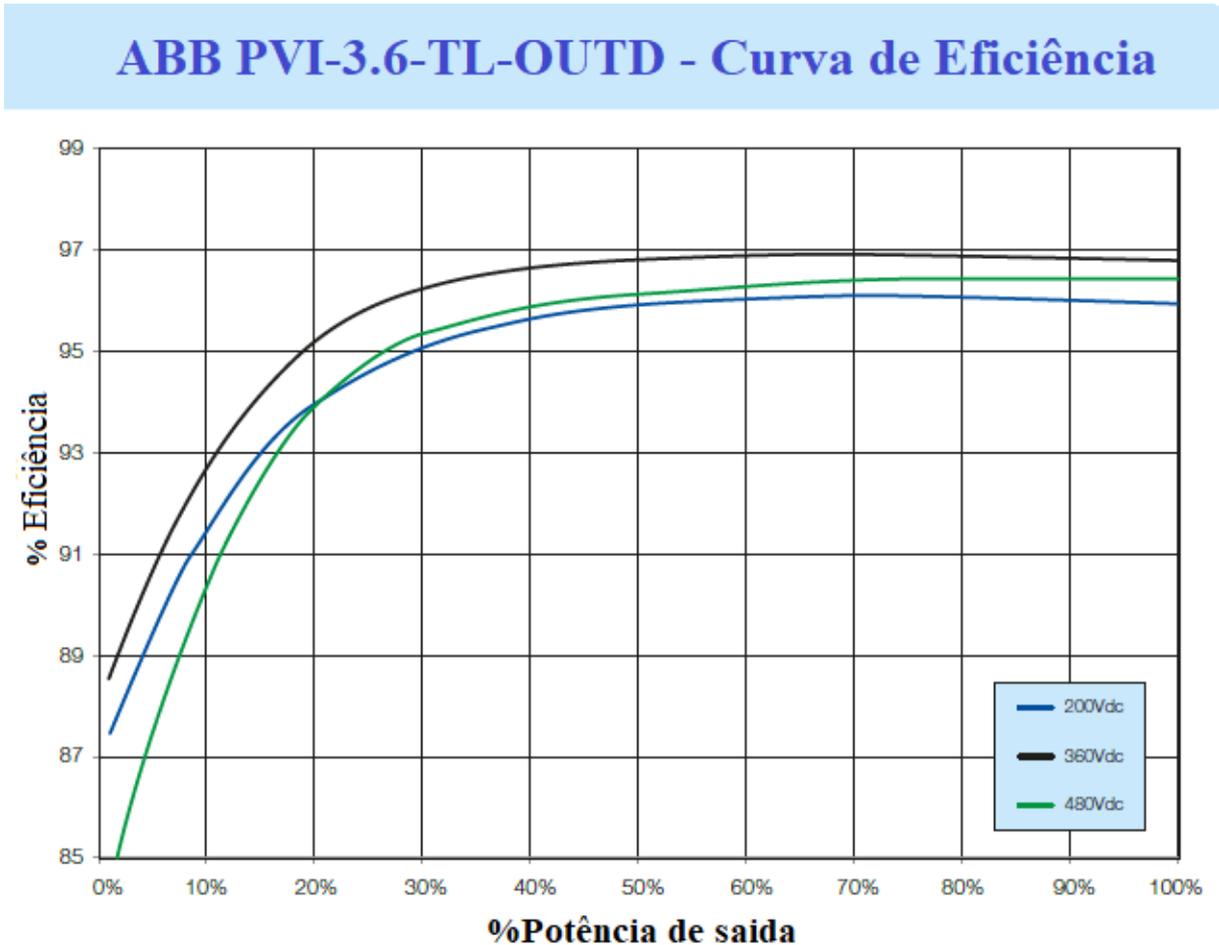
Fonte: ABB (2018b)

Sua saída para rede elétrica pode ser trifásica ou monofásica. O inversor referido oferece uma seção de entrada dupla que processa duas correntes distintas com a tecnologia de Rastreamento do Ponto de Máxima Potência MPPT (sigla do inglês, *Maximum Power Point Tracker*). Isso é especialmente útil para telhados instalações com duas orientações diferentes (ABB, 2018b).

2.5.1 Eficiência do inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S

De acordo com o manual de instruções do inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S tem-se a curva de tensão em CC que relaciona a eficiência de acordo com a potência como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Curva de tensão em CC, potência de saída pela eficiência.

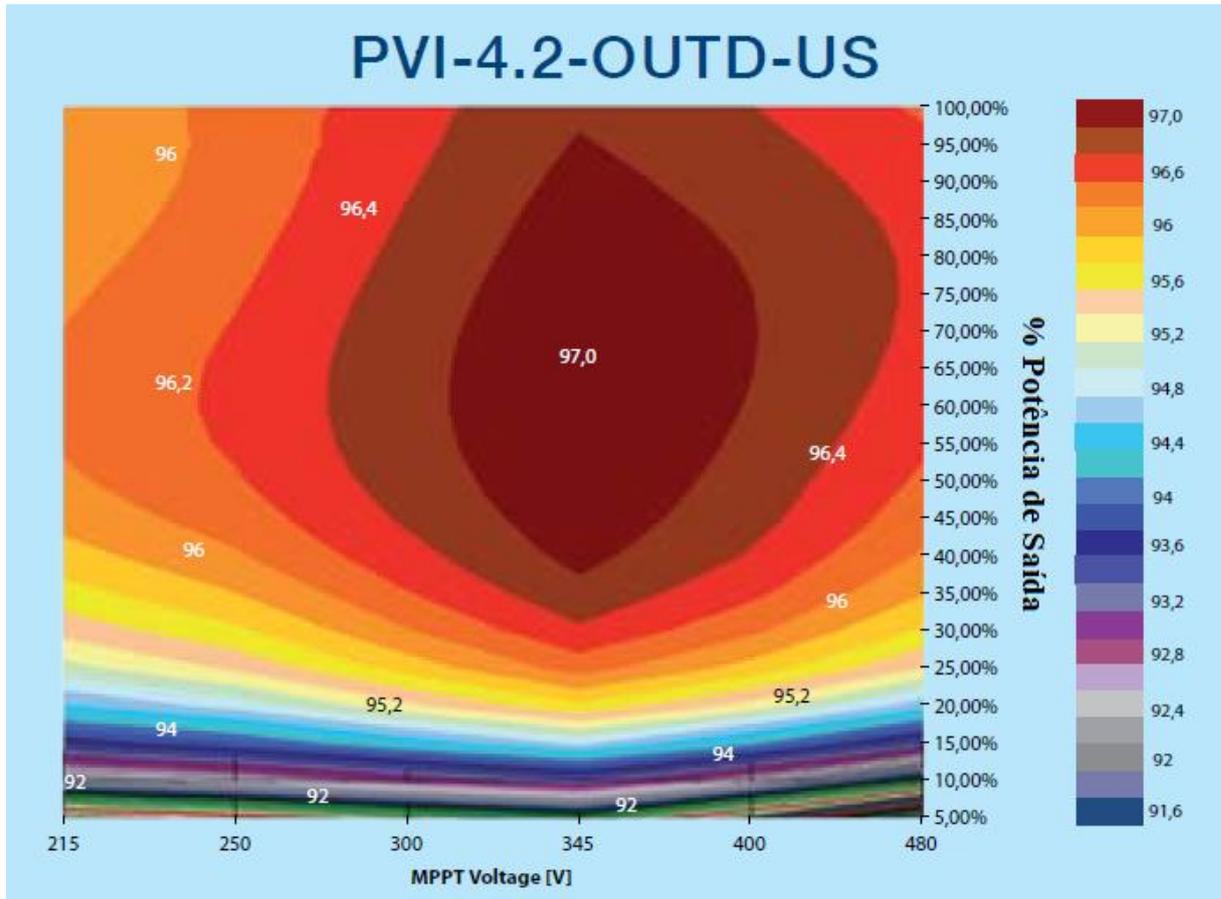


Fonte: Adaptado de: ABB (2018a)

Os inversores geralmente são dimensionados com uma potência nominal de saída CA cerca de 30% abaixo da potência nominal do gerador fotovoltaico. Essa prática pode levar perdas consideráveis de energia (ELSEVIER, 2006).

Em seu *data sheet* encontra-se a região de operação do inversor solar ABB PVI-3.4-TL-OUTD-US para tensão acima de 215V, relacionando a potência de saída pela eficiência conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Região de operação do inversor: potência de saída pela eficiência.



Fonte: Adaptada de: ABB (2018A)

A região de operação do inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S não foi encontrada em seu *data sheet*. A Figura 3 fornece uma imagem ilustrativa semelhante à região de operação do inversor PVI – 3.6 e serve como uma base para outros inversores solar da mesma linha de fabricação que pertencem a mesma empresa.

2.5.2 Redução e queda de potência devido a diversos fatores.

Segundo ABB (2019b), a fim de permitir a operação do inversor em condições térmicas e elétricas seguras, a unidade reduz automaticamente o valor da potência entregue a rede essa limitação de energia pode ocorrer devido a condições ambientais adversas, valores altos de tensão e de corrente de entrada. A queda de potência também pode ocorrer devido a porcentagem de potência de saída e a tensão de rede acima da frequência sendo esses parâmetros definidos pelo usuário.

O valor de redução de potência e a temperatura do inversor em que ocorre dependem da temperatura ambiente e de muitos parâmetros operacionais como por exemplo: tensão de entrada, tensão da rede e energia disponível no gerador fotovoltaico. O inversor pode, portanto, reduzir a potência durante determinados períodos do dia, de acordo com o valor desses parâmetros. Em qualquer caso, o inversor garante a máxima potência de saída mesmo em altas temperaturas, desde que a radiação do sol não incida diretamente sobre ele (ABB, 2019b).

2.6 Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012.

A Agência Nacional de Engenharia Elétrica (ANEEL) é uma entidade em regime especial vinculada ao ministério de Minas e Energia. De acordo com Carvalho (2013), as atribuições da ANEEL são regular a geração, distribuição, transmissão, e comercialização de energia elétrica, fiscalizar concessões, implementar as políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração de energia elétrica, permissões e serviços de energia elétrica, estabelecer tarifas, e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos, promover atividades às outorgas de concessão, mediar os conflitos entre os agentes e os consumidores de energia elétrica, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica e mediar, na esfera administrativa.

A Resolução Normativa (REN) da ANEEL nº 482/2012 foi atualizada pra a REN ANEEL 687 e REN ANEEL 786.

Conforme a resolução normativa ANEEL nº 482/2012 que teve início em 17 de abril de 2012, permite que o consumidor brasileiro possa gerar sua própria energia elétrica através de fontes renováveis, podendo inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição local. Essa modalidade é denominada micro e minigeração distribuídas de energia elétrica. O incentivo a adesão desse método de produção de energia se justifica por suas vantagens financeiras, consciência socioambiental e auto sustentabilidade.

A Normativa ANEEL nº 482/2012, permiti o uso de qualquer fonte renovável para a produção de energia elétrica, além da cogeração qualificada, a microgeração distribuída é definida por uma central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e a minigeração distribuída tem potência instalada acima de 75 KW e menor ou igual a 5 megawatts (MW), conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

O mês que tiver a produção de energia superior à consumida naquele período gera ao consumidor um bônus em forma de créditos, para diminuir a fatura dos meses seguintes. De acordo com a normativa a validade dos créditos é de 60 meses, eles podem ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, ficando limitado a ter todas as unidades consumidoras atendidas pela mesma distribuidora de energia (BRASIL, 2018).

É importante deixar claro que a ANEEL define que, para o grupo B (unidades consumidoras conectadas em baixa tensão), mesmo que a energia injetada na rede seja superior ao consumo, terá que ser feito o pagamento referente ao custo de disponibilidade, esse valor em reais equivalente a 30 kWh monofásico, 50 kWh (bifásico) ou 100 kWh (trifásico). Para os consumidores do grupo A (conectados em alta tensão), caso a quantidade de energia injetada ao longo do mês seja maior ou igual à quantidade de energia consumida a parcela de energia da fatura poderá ser integralmente abatida, uma vez que a parcela da fatura correspondente à demanda contratada será faturada normalmente.

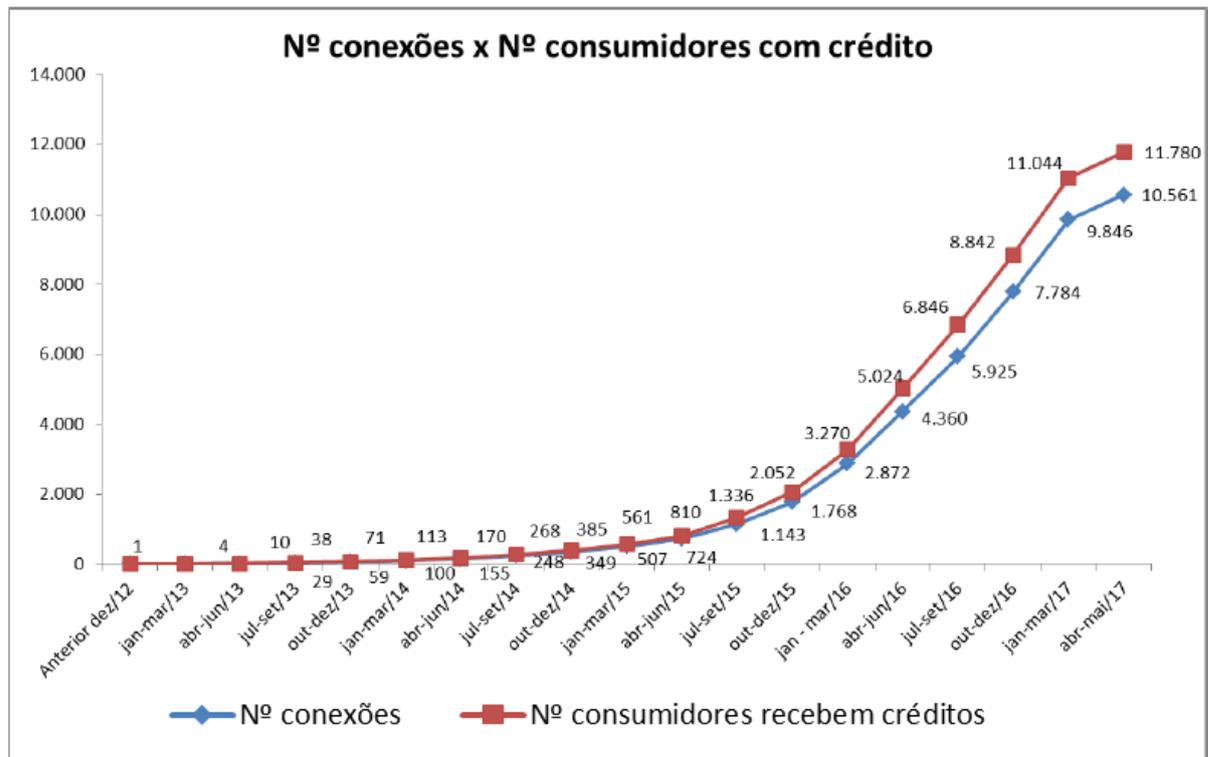
2.7 Nota Técnica n° 0056/2017 – SRD/ANEEL.

De acordo com o Regimento Interno da ANEEL (2015), a Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição (SRD) é uma autarquia que tem como responsabilidade a regulação técnica dos serviços de distribuição de energia elétrica, a elaboração de regras e procedimentos referente a planejamento da expansão, operação e medição dos sistemas de distribuição, definição e acompanhamento de indicadores de qualidade do serviço e do produto energia elétrica, desenvolvimento de redes inteligentes, gerenciamento do lado da demanda, Condições gerais de fornecimento de energia elétrica, universalização do acesso e uso da energia elétrica, aplicação da tarifa social de energia elétrica.

Um dos objetivos dessa Nota Técnica é apresentar o resultado estimado do número de consumidores residenciais e comerciais que podem instalar ou receber os créditos da microgeração solar fotovoltaica no horizonte 2017-2024 (ANEEL, 2017).

A Figura 4 mostra os valores acumulados de conexões e consumidores que recebem os créditos de micro e minigeração distribuída até o dia 23/05/2017.

Figura 4 – Número de micro e minigeradores até 23/05/2017

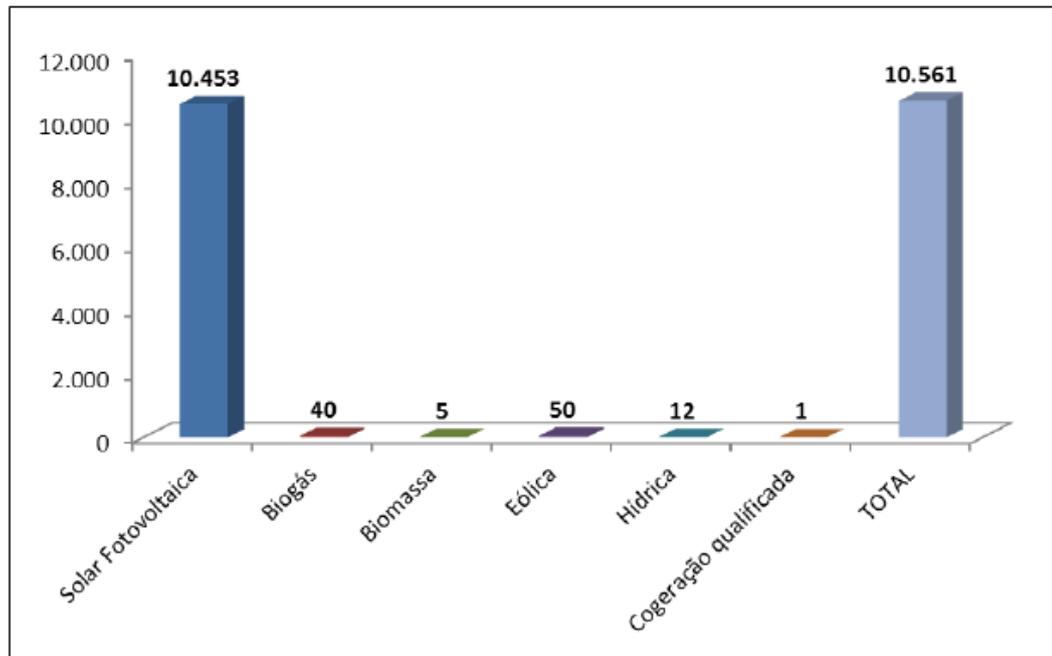


Fonte: ANEEL (2017)

Conforme indicado na Figura 4, o número de consumidores com micro ou minigeração distribuída no final de 2016 é 4,4 vezes maior ao registrado no final de 2015, deixando em evidencia um crescimento acentuado no último ano, mas ainda assim e muito abaixo do potencial de expansão no país.

Na Figura 5 termos a potência instalada relacionada com o meio de produção da energia, a fonte solar responde por 99% seguida da eólica por.

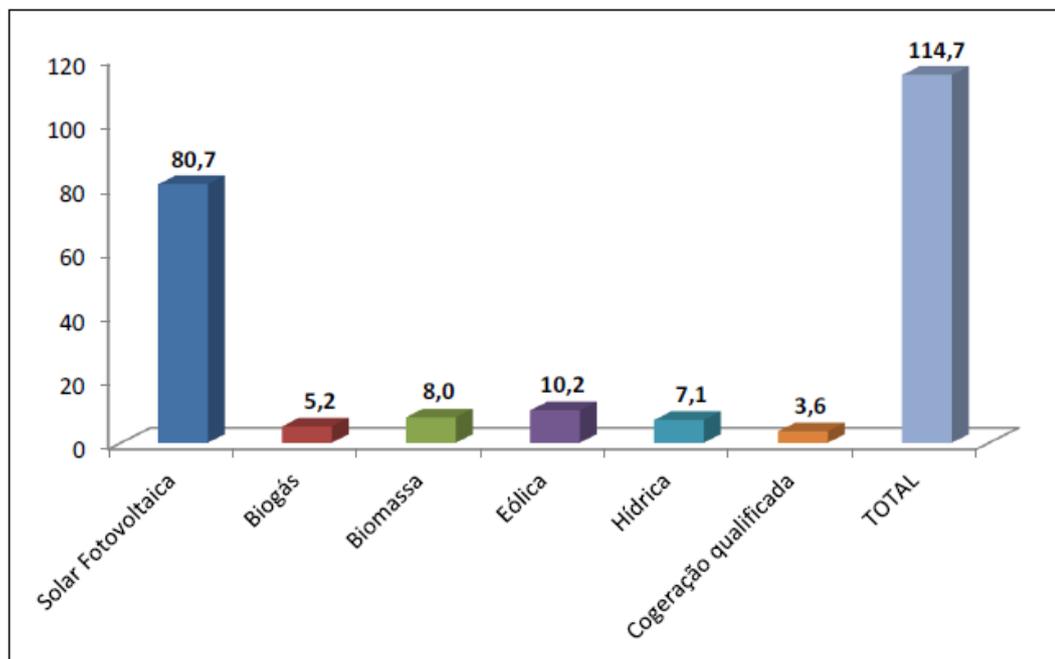
Figura 5 – Conexão por tipo de fonte até 23/05/17



Fonte: ANEEL (2017)

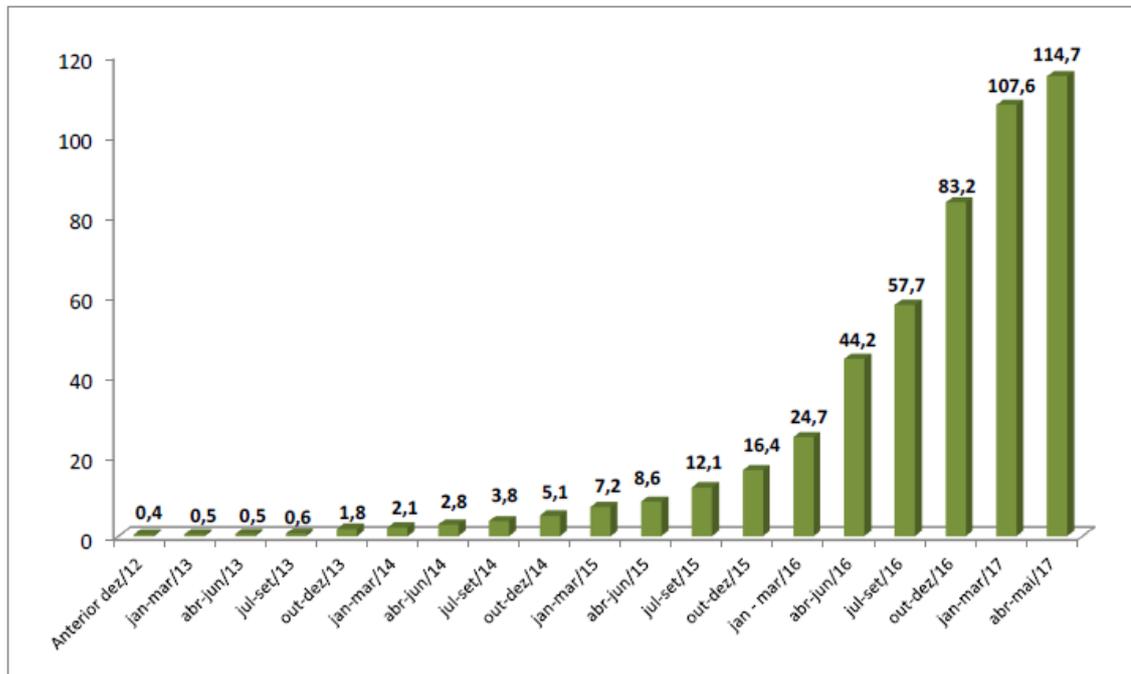
Conforme apresentado na Figura 6, a fonte solar responde por 70% e a eólica por 9%.

Figura 6 – Potência instalada por fonte até 23/05/17



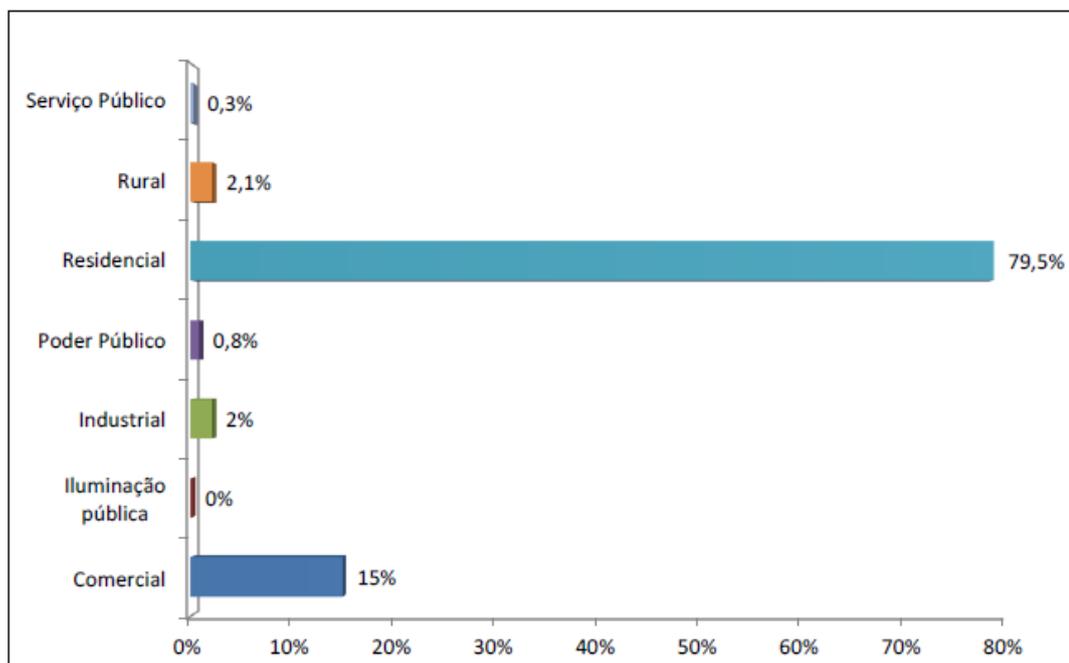
Fonte: ANEEL (2017)

Na Figura 7 temos a evolução da potência instalada desde 2012, evidenciando o forte crescimento em 2016, com aumento de 407% em relação a 2015.

Figura 7 – Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/17

Fonte: ANEEL (2017)

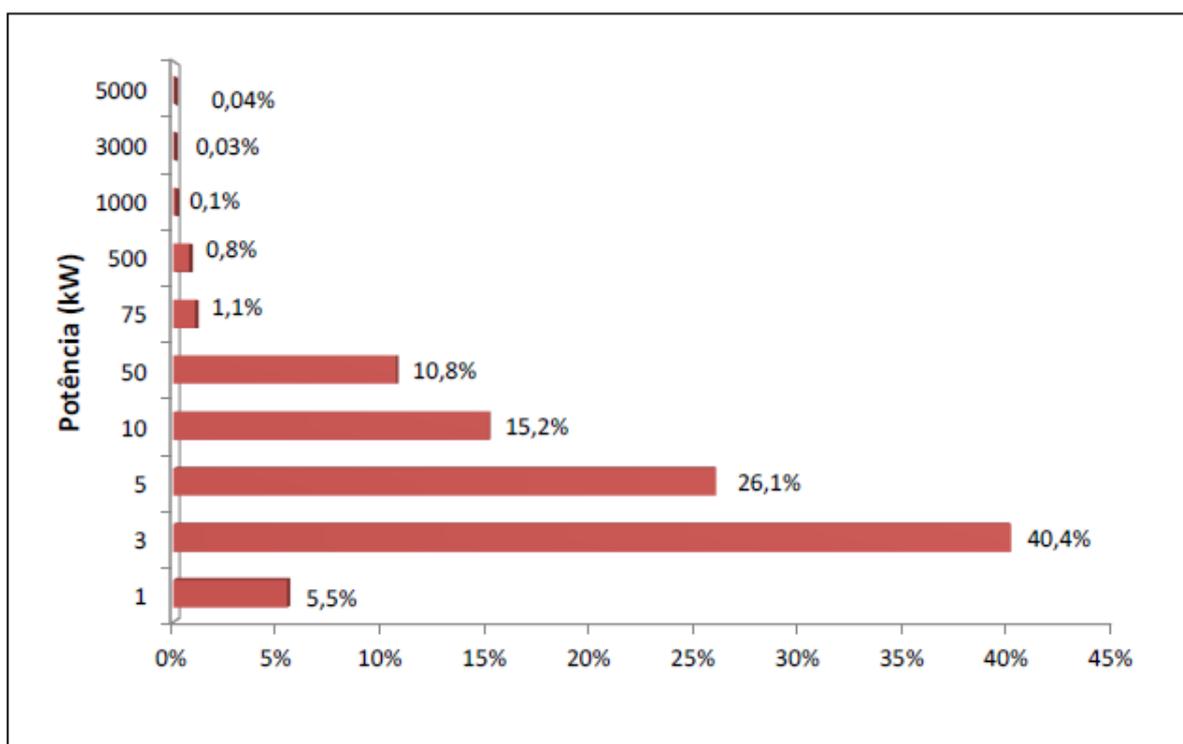
Na Figura 8 temos a relação da participação dos consumidores, destacam-se as classes, residencial com 79,5% seguido da comercial com 15%.

Figura 8 – Classes de consumo dos consumidores até 23/05/17

Fonte: ANEEL (2017)

Conforme apresentado na Figura 9, com relação as faixas de potência, observa-se que 72% dos equipamentos têm potência menor ou igual a 5 kW, esse fator está associado principalmente ao perfil dos consumidores residenciais.

Figura 9 – Faixas de potência dos geradores até 23/05/17



Fonte: ANEEL (2017)

A ANEEL fez a estimativa de crescimento do número de consumidores residenciais e comerciais que irão instalar ou receber os créditos de microgeração solar fotovoltaica no horizonte 2017-2024. Para realizar estudo, considerou-se a instalação de sistemas de 3 kWp para os consumidores residenciais e de 10 kWp para os comerciais.

A Tabela 1 apresenta os resultados das projeções para os mercados residencial e comercial, indicando o número de consumidores que adotariam a microgeração por qualquer modalidade permitida por ano.

Tabela 1 – Número de consumidores residenciais e comerciais que receberiam os créditos

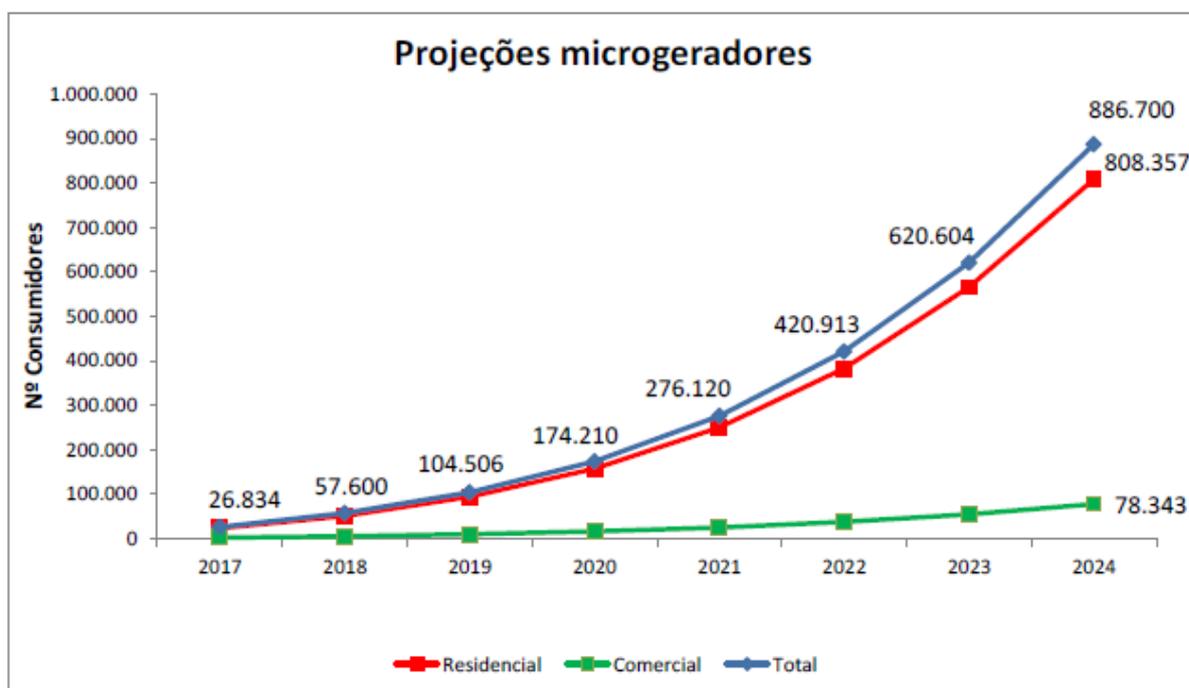
Ano	Residencial	Comercial	Total
2017	23.794	3.040	26.834
2018	51.683	5.917	57.600

2019	94.310	10.196	104.506
2020	157.776	16.434	174.210
2021	250.758	25.362	276.120
2022	383.010	37.903	420.913
2023	565.448	55.156	620.604
2024	808.357	78.343	886.700

Fonte: ANEEL (2017)

Na Figura 10 temos o gráfico referente a Tabela 1, onde pode ser visto o aumento no número de consumidores que receberiam os créditos.

Figura10– Projeção de unidades consumidoras que receberiam os créditos



Fonte: ANEEL (2017)

A Tabela 2 apresenta as estimativas de potência instalada por ano para consumidores residenciais e comerciais. Na Figura 11 tem-se o gráfico da Tabela 2 plotado.

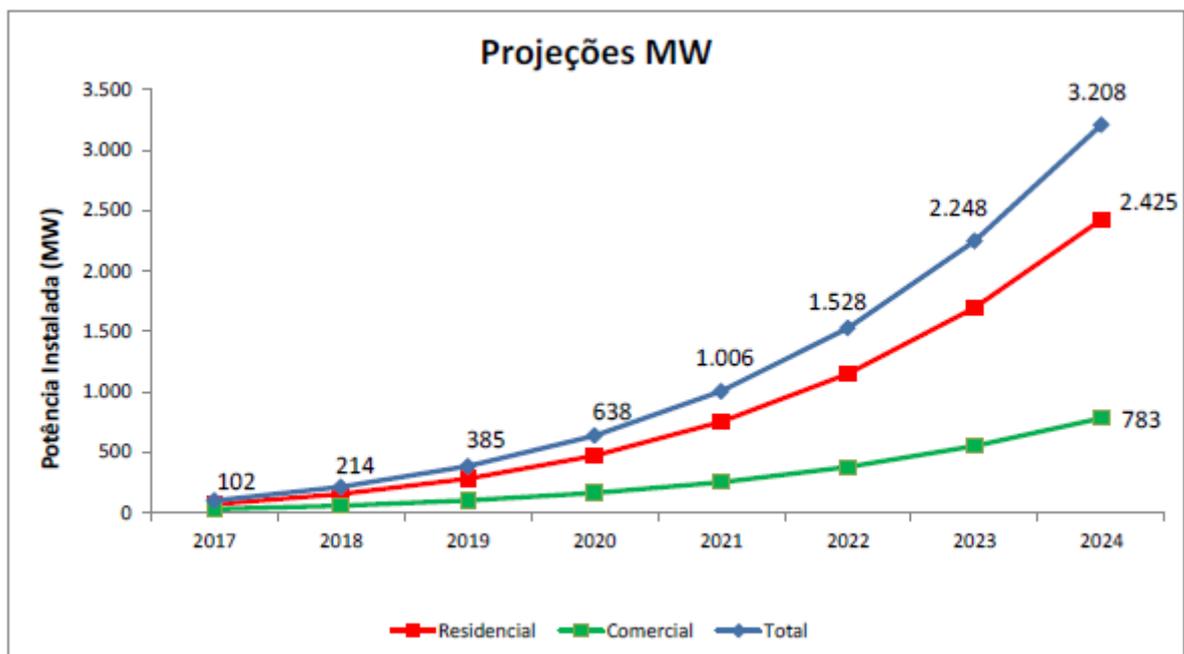
Tabela 2 – Potência instalada em MW

Ano	Residencial	Comercial	Total
2017	71	30	102
2018	155	59	214

2019	283	102	385
2020	473	164	638
2021	752	254	1.006
2022	1.149	379	1.528
2023	1.696	552	2.248
2024	2.425	783	3.208

Fonte: ANEEL (2017)

Figura 11 – Potência instalada em MW



Fonte: ANEEL (2017)

A quantidade de centrais geradoras solar fotovoltaica até o dia 03 de abril de 2019 era de 81.459 unidades em operação com potência instalada de 683,37 MW (ANEEL,2019). Se comparado com a projeção da ANEEL (2017), tem-se na Figura 10 a projeção do número de unidades consumidoras que receberiam créditos em 2019 é de 104.506 já na Figura 11 a previsão de potência instalada é de 385MW para o ano de 2019.

3 DESENVOLVIMENTO.

3.1 Tratamento dos dados.

Todos os dados usados nesse capítulo foram fornecido pelo inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S, que encontra - se instalado na região sul de palmas o inversor é alimentado por 14 módulos solar fotovoltaico *Canadian Solar* modelo CS6P-255 e possui potência instalada de 3,57 kWp. Esse inversor fotovoltaico mensura varias grandezas elétricas entre elas tem-se: corrente e tensão CC de cada *Maximum Power Point Tracker* (MPPT), temperatura, potência CA e potência CC. Os dados são integrados de 5 em 5 minutos, a potência nominal de saída em CA do inversor fotovoltaico é de 3600 W.

No tratamento dos dados foram excluídos os valores de potência de saída CA abaixo de 10% por estarem mais susceptíveis as falhas de medições.

O Inversor fotovoltaico conta com duas entradas distintas de corrente e tensão em CC (dois MPPT), para plotar a eficiência teórica na Tabela 3 foi usado a curva de eficiência de 200 volts em CC que se encontra na Figura 2, e foi usado como parâmetro os dados de tensão CC 01 fornecido pelo inversor. Com o uso de ferramentas computacionais para determinar os intervalos temos o valor da eficiência teórica como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Eficiência teórica

Potência CA (W)	Percentual	Eficiência Teórica
360 – 450	10% – 12,5%	92,70%
450 – 540	12,5% – 15%	93,10%
540 – 630	15% – 17,5%	93,50%
630 – 720	17,5% – 20%	94,00%
720 – 810	20% – 22,5%	94,50%
810 – 900	22,5% – 25%	94,80%
900 – 990	25% – 27,5%	94,90%
990 – 1080	27,5% – 30%	95,00%
1080 – 1170	30% – 32,5%	95,30%
1170 – 1260	32,5% – 35%	95,50%
1260 – 1350	35% – 37,5%	95,6%
1350 – 1440	37,5% – 40%	95,7%
1440 – 1620	40% – 45%	95,8%
1620 – 1800	45% – 50%	96,00%
1800 – 2160	50% – 60%	96,06%
2160 – 2520	60% – 70%	96,20%

2520 – 3240	70% – 90%	96,10%
3240 – 3600	90% – 100%	96,00%

Fonte: Própria

Para comparar a eficiência teórica com a eficiência mensurada pelo Inversor solar foi usado os dados do mês de fevereiro, agosto e setembro. O mês de fevereiro está dentro da estação mais nublada de Palmas, a estação mais quente do ano de 2018 teve início em 14 de agosto e terminou em primeiro de outubro (WEATHER, 2018). Dentro de cada mês escolhido foi selecionado três dias distintos para observar o comportamento do inversor em condições ambientais distintas.

Nos gráficos do capítulo 4 serão apresentadas as seguintes variáveis: potência CA, eficiência teórica, eficiência mensurada no inversor e temperatura, foi analisado um dia de cada vez com o propósito de evidenciar de forma objetiva como essas grandezas se relacionam durante a operação do inversor solar referido.

No total foram escolhidos três dias de cada um dos seguintes meses: fevereiro, agosto e setembro. Em fevereiro foram analisados os dias 05, 16 e 26, em agosto foram analisados os dias 16, 25 e 30 já em setembro analisaram-se os dias 04, 09 e 11, todos os dias são refere-se ao ano de 2018.

3.2 Temperatura do inversor fotovoltaico.

Conhecendo a temperatura de operação do inversor pode-se analisar o comportamento de varias grandezas elétricas com relação à variação de temperatura.

Na escolha dos dias a serem analisados foi levado em consideração a temperatura de operação do inversor em função do tempo, foram escolhidas amostras em que a temperatura ambiente se distingue entre um dia e outro. Sabendo que o termômetro se encontra integrado ao inversor.

3.3 Potência mensurada.

Com os gráficos da potência de saída é possível observar em qual percentual de potência CA esse inversor opera. As curvas de potência CA pelo tempo em geral revelam as condições climáticas do dia em que o gráfico se refere, por exemplo, uma parábola bem

desenhada com seu pico localizado na metade do dia, representa um dia de céu limpo com poucas ou ausência de nuvens.

Na escolha dos dias a serem analisados foi levado em consideração à potência CA em que o inversor opera. Nos gráficos têm-se vários comportamentos distintos da potência CA em relação ao tempo. Analisando cada dia de forma individual. E observando o gráfico da curva de eficiência, na Figura 2 pode-se analisar como a potência de operação do inversor se relaciona com eficiência.

3.4 Eficiência mensurada e Teórica.

A eficiência mensurada pelo inversor fotovoltaico foi obtida pela razão entre a potência de saída CA e a potência de entrada CC. Foram ocultados dos gráficos os valores de eficiência que resultaram em divisão por zero, zero e valores que superavam ou eram iguais a 100%.

Nos de eficiência mensurada e a teórica em função do tempo, pode-se constatar que a eficiência teórica quase sempre é inferior a eficiência mensurada pelo inversor. Os valores de eficiência iguais ou superior a 100% foram ocultados por serem considerados erros de medição uma vez que se trata de uma situação impossível de acontecer.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados de janeiro a setembro de 2018.

Entre o mês de janeiro até o mês de setembro de 2018 foi calculado a eficiência média e a temperatura média interna do inversor como pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados mensurados de janeiro a setembro de 2018

Mês	Eficiência média	Temperatura média (°C)
Janeiro	96,60%	46,69
Fevereiro	96,67%	45,00
Março	96,71%	46,13
Abril	96,66%	45,49
Maior	96,56%	46,76

Junho	94,95%	39,41
Julho	96,88%	46,71
Agosto	96,71%	48,79
Setembro	96,54%	49,15

Fonte: Própria (2019)

Dentro dos meses analisados a eficiência média ficou entre 94,94% no mês de junho e 96,88% em julho, já a temperatura média ficou entre 39,41 °C em junho e 49,15 setembro. O mês de junho apresenta a menor média de eficiência e temperatura dentro dos meses analisados, além de ter sua máxima temperatura registrada de 50,7°C.

Isso ocorre, devido ser os meses que estão no ápice do inverno brasileiro com o sol inclinado de aproximadamente 33° em relação à latitude de Palmas-TO. Já no mês de setembro os dias são quentes e com baixa incidência de nuvens.

Para o mês de fevereiro, agosto e setembro foram calculados os valores médio de tensão, temperatura, eficiência e potência de três dias distintos de cada mês. Como pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados mensurados pelo inversor.

Dia	Tensão CC (V)	Temperatura (°C)	Eficiência	Potência CA (W)
05/02/2018	230,40	35,22	96,92%	778,93
16/02/2018	207,62	48,24	96,13%	1699,42
26/02/2018	212,88	47,25	97,02%	1869,66
16/08/2018	214,95	48,28	96,80%	1536,84
25/08/2018	212,58	50,64	97,17%	1653,38
30/08/2018	212,84	51,44	97,04%	1768,81
04/09/2018	212,35	51,39	96,40%	1828,97
11/09/2018	209,30	52,23	96,81%	1808,13
23/09/2018	211,57	50,08	95,93%	1522,45

Fonte: Própria (2019)

Os dias escolhidos para fazer os valores médios de tensão, temperatura eficiência e potência são os mesmos dias que foram plotados os gráficos de potência CA, eficiência e temperatura.

4.2 Potência CA

Nos gráficos de potência do capítulo 4 pelo tempo observa-se que a curva da potência se aproxima de uma função parabólica. Isso ocorre pelo fato da incidência solar sobre os painéis solares acontecer de forma crescente do início da manhã até por volta das 12h00 depois a incidência solar diminui até o final do dia. Em alguns gráficos pode-se observar uma queda brusca de potência (por exemplo na Figura 16) a causa mais provável desse fenômeno é a perda da radiação solar que pode ser causada por intempéries climáticas, entretanto na Figura 24 pode-se observar uma função parabólica mais definida isso ocorre em dias de funcionamento ideal do inversor solar que é resultado de poucos bloqueios dos raios solares.

Todos os gráficos de potência CA tiveram seu início de funcionamento por volta das 07h00, levando em consideração que foram excluídas todas as leituras de potência CA inferior a 10% da capacidade nominal do inversor solar.

Os dias escolhidos para fazer a análise da eficiência levou em consideração a potência CA, foram coletados dias em que se tem uma alta produção de energia como pode-se constatar na Figura 30 onde a média da potência CA foi 1828,97W como pode-se ver na Tabela 5, também foram analisados dias de baixa produção de energia como pode ser visto na Figura 13 onde a média da potência CA ficou em torno 778,93W como pode ser visto na Tabela 5.

Sabendo que a eficiência do inversor está ligada a sua potência de operação faz-se necessário analisar o funcionamento do mesmo sobre condições distintas de produção de energia.

A potência máxima CA do inversor solar é de 3600, sabendo que em todos os gráficos analisados a potência CA é inferior a 3300W, apesar da potência instalada de transformação de CC para CA ser de 3570kWp

4.3 Eficiência

Pode-se observar nos gráficos de eficiência que na maioria dos casos a eficiência teórica é inferior a eficiência calculada com os parâmetros mensurados pelo inversor. Em média todos os valores de eficiência teórica são inferiores a eficiência mensurada.

Vale ressaltar que a eficiência teórica máxima do inversor é de 97,00% para seu funcionamento em condições ideais com tensão CC de 330V e operando acima de 50% da sua

capacidade nominal, mas nos dados mensurados pelo inversor a eficiência por varias vezes supera esse valor. Os valores de eficiência acima de 97,00% representam a maioria dos dados integrados pelo inversor, em média os dias 26 de fevereiro, 25 e 30 de outubro apresentam a eficiência superior ao valor especificado no manual do inversor, como pode ser visto na Tabela5.

Essa foi uma observação inesperada pelo fato das perdas de potência elétrica estar associada a altas temperaturas, além do fato de que a eficiência máxima ocorre em uma região de operação especifica. A tensão CC média funcionamento do inversor em todos os dias analisados ficou entre 207V até 231V em CC conforme a Tabela 5, para qualquer valor de potência CA nessa faixa de tensão de operação a eficiência máxima fica em torno dos 96%. Lembrando que o inversor fotovoltaico tem os dados integrados de 5 em 5 minutos, sabendo que nesse intervalo de tempo o inversor solar registra os valores médios de todos os parâmetros, se ocasionado por erro de medição houver valores impossíveis nesse intervalo de tempo o resultado médio que é registrado pode ser alterado, isso pode ser uma possível explicação para a divergência entre as eficiências teórica e mensurada. Tem-se em alguns pontos do gráfico valores de eficiência mensurada inferior a teórica como pode ser visto na Figura 17, já na figura 29 tem-se que todos em todos os pontos do gráfico a eficiência teórica é inferior a mesurada.

4.4 Temperatura.

Nos gráficos de temperatura tem-se a temperatura interna do inversor pelo tempo, pode-se observa que a temperatura quase sempre atinge seu valor máximo no intervalo entre as 11h30min ate 14h30min. As temperaturas médias nos dias analisados ficaram entre 52,23°C no dia 11 de setembro e alcançou apenas 35,2°C no dia 05 de fevereiro.

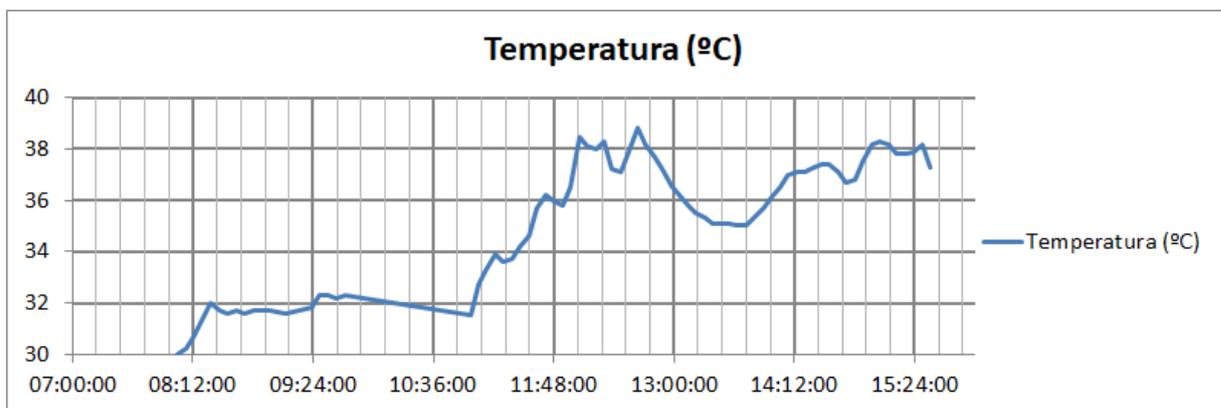
Os gráficos da temperatura do inversor se assemelham a uma parábola apresentando valores mais baixos pelo inicio da manhã e final da tarde todos, os gráficos saíram como esperado pela literatura sofrendo poucas variações bruscas ao longo do dia. Uma vez que o inversor não possui sistema de refrigeração sua temperatura varia em função da temperatura ambiente.

4.5 Análise dos dias referidos nos gráficos da Figura 12 a 38.

- Dia 05/02/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 230,40V; 35,22 e 778,93W. Pelo gráfico da temperatura tem-se o valor máximo entre as 12h00min e 13h00min com seu pico por volta das 12h40min onde ela atinge cerca de 39°C, nesse dia os gráficos começaram a registrar os valores por volta das 08h:00min isso pode ser explicado pelo fato de que todas as amostras com potências CA inferior as 10% foram ocultadas do gráfico. Como mostrado na Figura 12. No início da manhã a radiação solar é menor esse fator aliado ao céu nublado resulta em uma produção menor de energia.

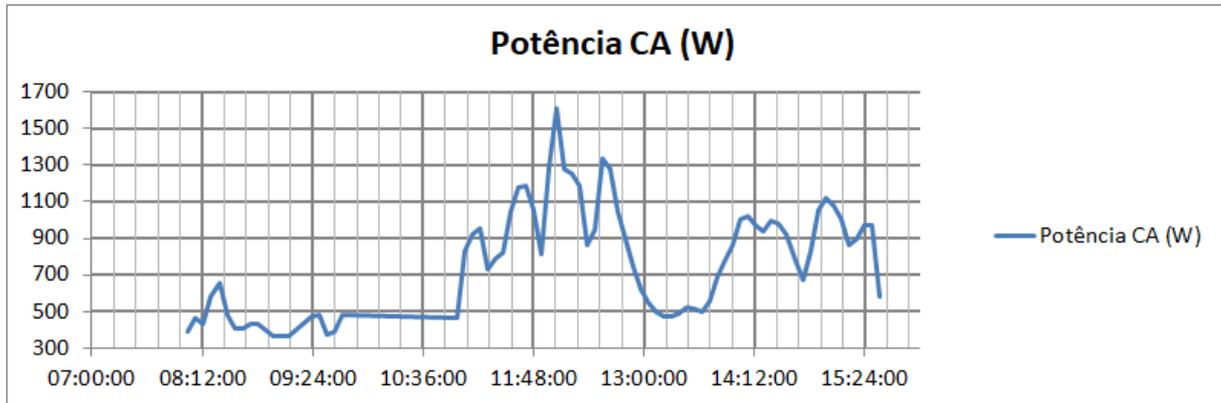
Figura 12 – Temperatura do dia 05/02/2018



Fonte: Própria (2019)

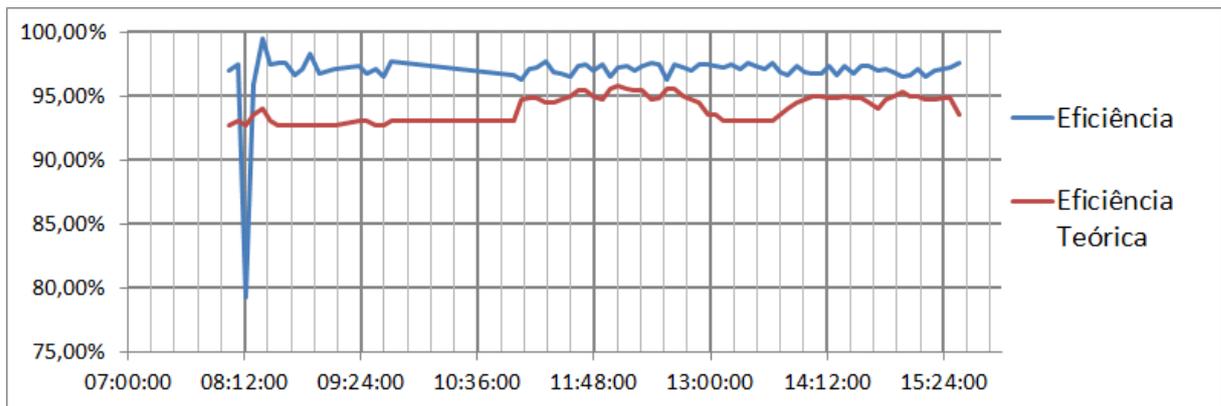
Dentre os dias analisados esse foi o dia com o menor valor médio de potência e também de menor temperatura média, uma possível explicação se da pelo fato de que em dias de pouca radiação solar a temperatura ambiente tende a atingir valores mais baixos.

A potência máxima produzida atingiu o valor de 1610W, esse foi um dia atípico, com baixa produção de energia, como pode-se ver na Figura 13, o mês de fevereiro em Palmas teve o céu nublado durante grandes intervalos de tempo essa é a provável causa da média de potência ter ficado tão baixa, o inversor parou o funcionamento por volta das 15h30min.

Figura 13 – Potência do dia 05/02/2018

Fonte: Própria (2019)

A eficiência teórica se manteve com valores inferiores a eficiência mensurada. Como pode ser visto no gráfico da Figura 14.

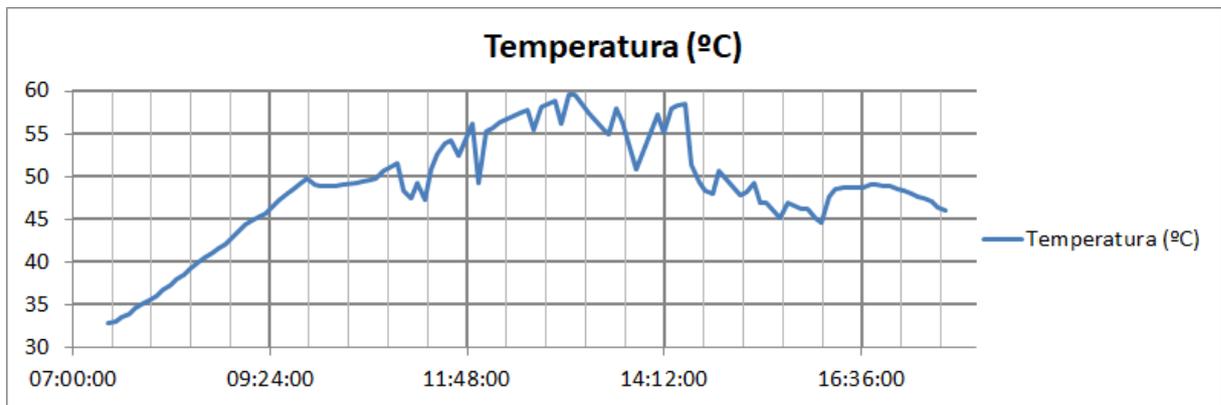
Figura 14 – Eficiências do dia 05/02/2018

Fonte: Própria (2019)

A eficiência mensura assumiu valor inferior á teórica em apenas uma amostra, sendo essa amostra fora do intervalo de tempo de máxima temperatura.

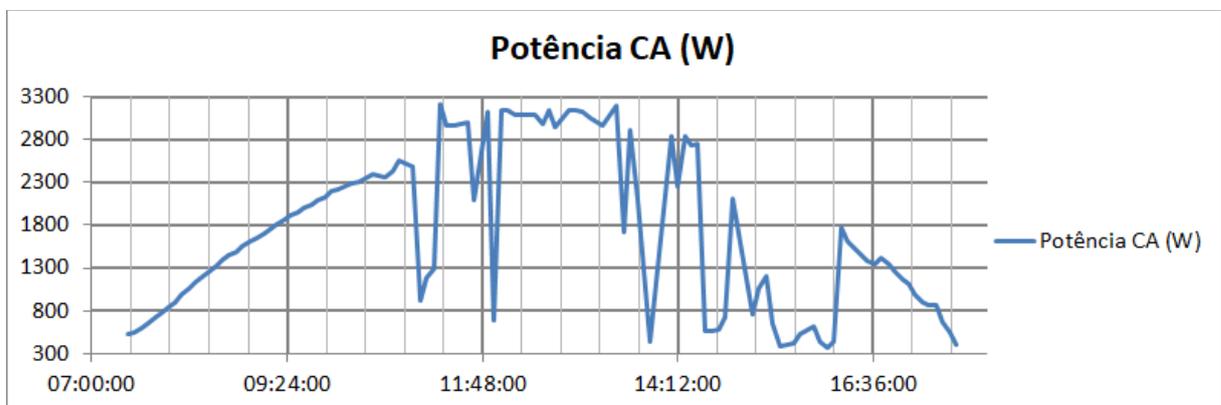
- Dia 16/02/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 207,62V; 48,24 e 1699,42. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 12h00min e 14h00min com seu pico por volta das 12h30min onde ela atinge cerca de 60°C, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Temperatura do dia 16/02/2018

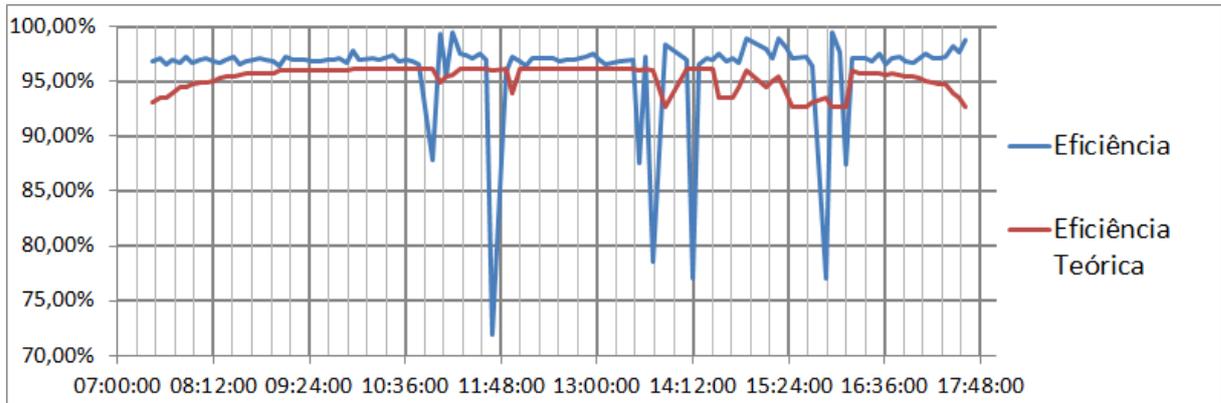
Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 3210W por volta das 11h15min, seu valor de maior produção ficou entre 12h00min e 13h00min. Ao longo do dia a curva de potência sofreu grandes variações bruscas, como mostrado na Figura 16 as interrupções provavelmente foram causadas pela interrupção da radiação nos painéis do inversor.

Figura 16 – Potência do dia 16/02/2018

Fonte: Própria (2019)

Nesse dia o intervalo de tempo com maior temperatura do inversor coincide com o intervalo de tempo de maior potência produzida. Uma possível explicação é que tanto a temperatura quanto a produção de energia solar tende a aumentar com a radiação solar.

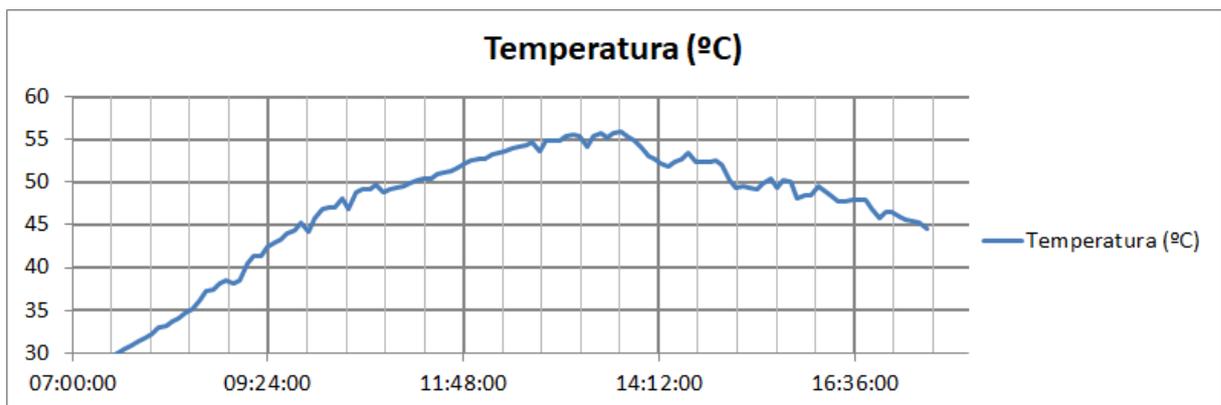
Figura 17 – Eficiências do dia 16/02/2018

Fonte: Própria (2019)

Das sete amostras onde a eficiência teórica é superior á mensurada, três delas aconteceram durante os valores máximos de temperatura. Conforme a figura 17

- Dia 26/02/2018

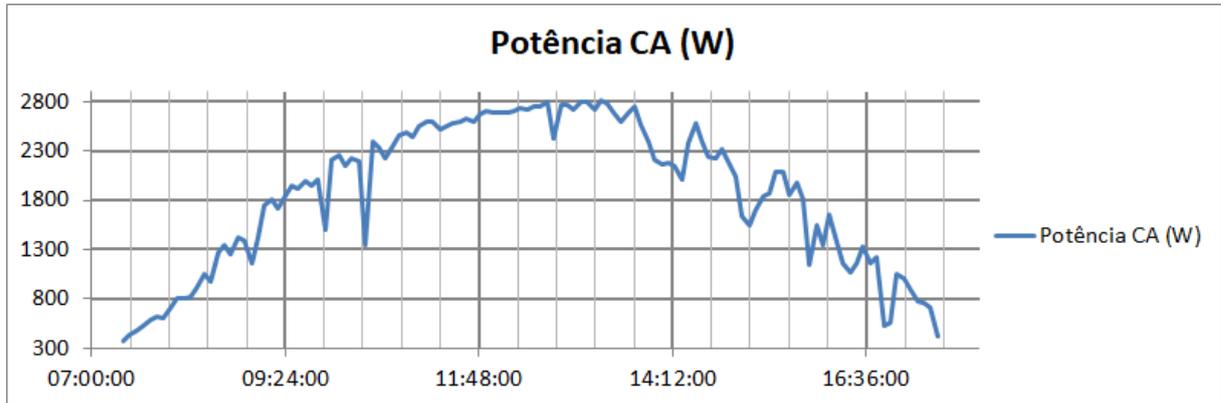
A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 212,88V; 47,25 e 1869,66W. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 13h30min e 14h30min com seu pico por volta das 13h40min onde ela atinge cerca de 56°C, como mostrado na Figura 18

Figura 18 – Temperatura do dia 26/02/2018

Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2814W por volta das 13h20min, seu valor de maior produção ficou entre 12h00min e 13h30min. A potência sofreu pequenas variações durante todo o dia. Como mostrado na Figura 19.

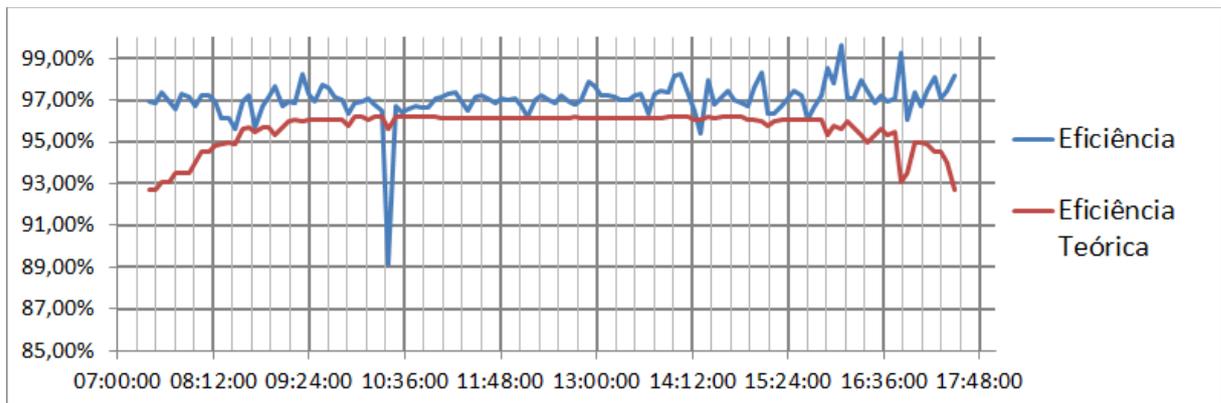
Figura 19 – Potência do dia 26/02/2018



Fonte: Própria (2019)

Entre os dias analisados nesse dia ocorreu a maior potência média, a eficiência teórica se manteve inferior à eficiência mensurada exceto por duas amostras coletadas como pode-se ver na Figura 20.

Figura 20 – Eficiências do dia 26/02/2018



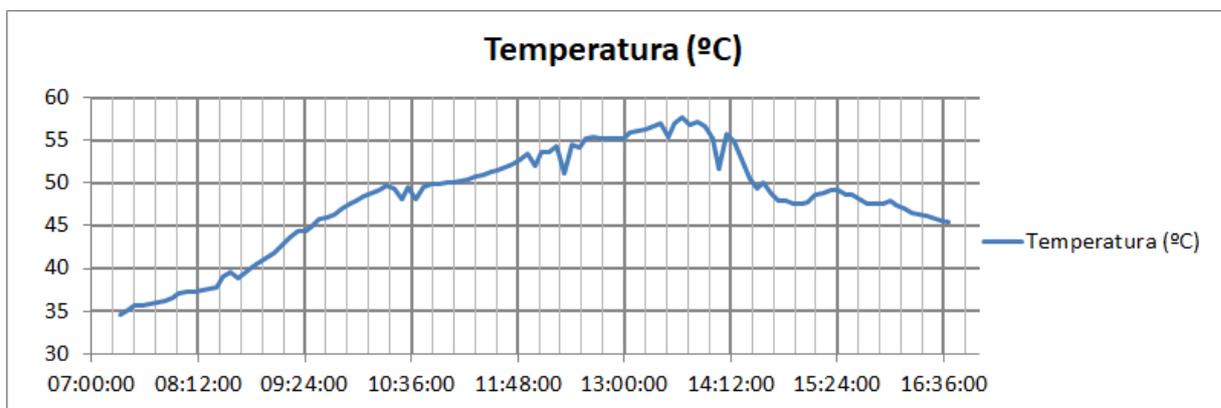
Fonte: Própria (2019)

Das duas amostras onde a eficiência teórica é superior á mensurada uma delas aconteceu durante os valores máximos de temperatura.

- Dia 16/08/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 214,95V; 48,28 e 1536,84W. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 13h30min e 14h00min com seu pico por volta das 13h40min onde ela atinge cerca de 57°C, como mostrado na Figura 21

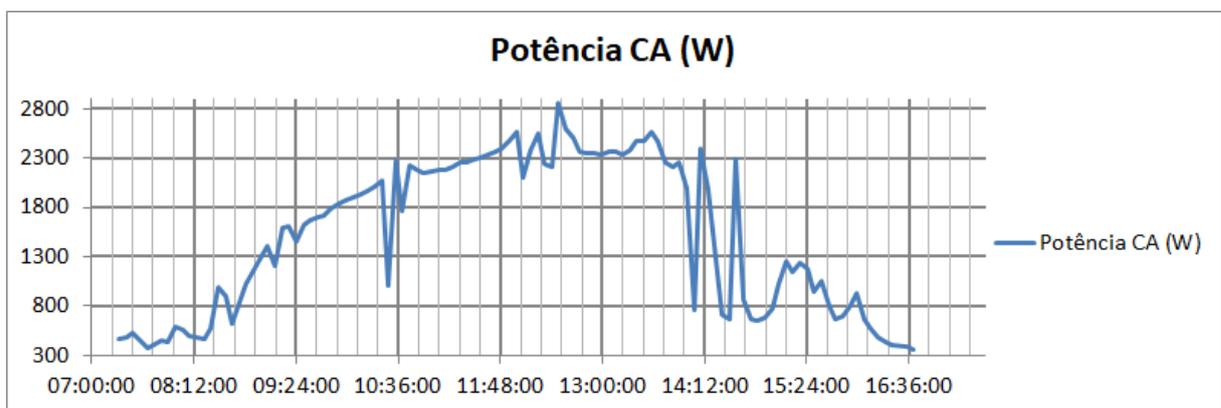
Figura 21 – Temperatura do dia 16/08/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2857W por volta das 12h30min, seu valor de maior produção ficou entre 12h00min e 13h00min, a potência sofreu muitas variações ao longo do dia com uma grande diminuição na produção de energia a partir das 14h00min, como mostrado na Figura 22

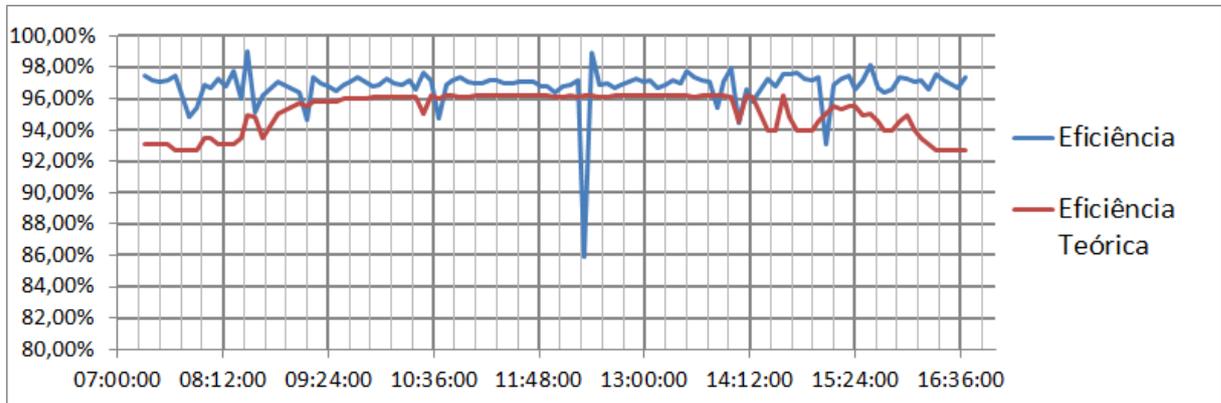
Figura 22 – Potência do dia 16/08/2018



Fonte: Própria (2019)

A eficiência teórica se manteve inferior à eficiência medida durante quase todo intervalo de tempo, exceto em Cinco amostras. Como pode ser visto na Figura 23

Figura 23 – Eficiências do dia 16/08/2018



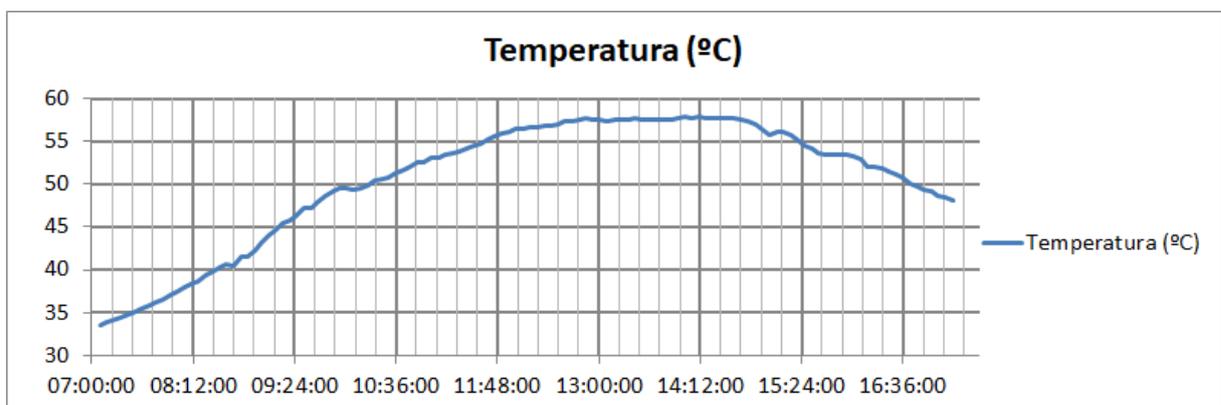
Fonte: Própria (2019)

Das cinco amostras onde a eficiência mensurada foi inferior à teórica, duas delas aconteceram durante os valores máximos de temperatura.

- Dia 25/08/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 212,58V; 50,64 e 1653,38W. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 11h40min e 15h00min com seu pico por volta das 14h00min onde ela atinge cerca de 57°C, como mostrado na Figura 24

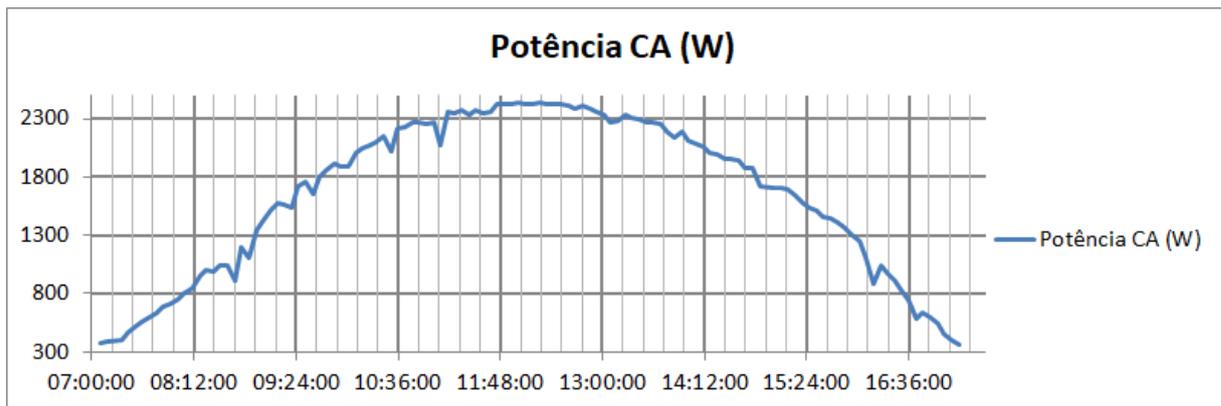
Figura 24 – Temperatura do dia 25/08/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2437W por volta das 12h15min, seu valor de maior produção ficou entre 11h00min e 13h00min, a produção de energia sofreu poucas variações ao longo do dia, encerrando sua produção por volta das 17h00min, como mostrado na Figura 25.

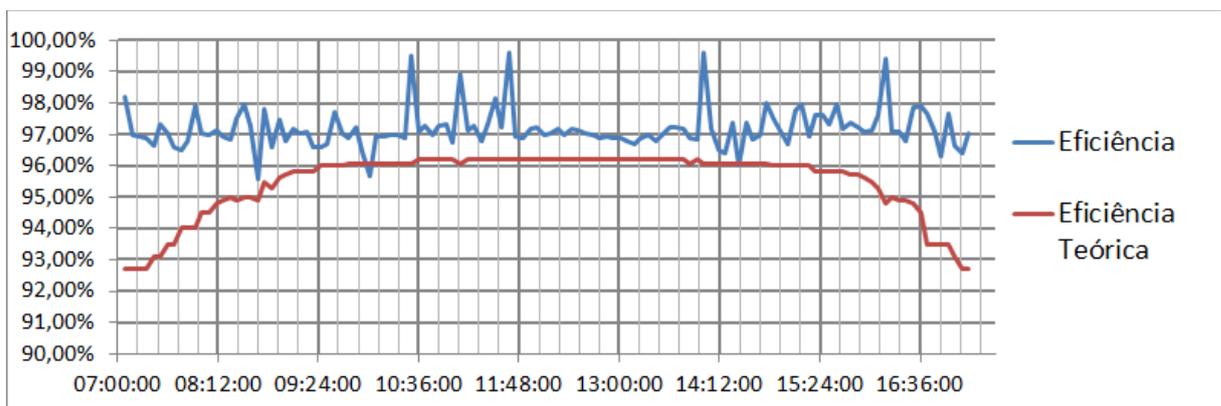
Figura 25 – Potência do dia 25/08/2018



Fonte: Própria (2019)

Dentre os dias analisados nesse dia ocorreu a máxima eficiência mensurada, durante todo intervalo de tempo à eficiência mensurada foi superior à teórica, exceto em duas amostras. Como pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 – Eficiências do dia 25/08/2018



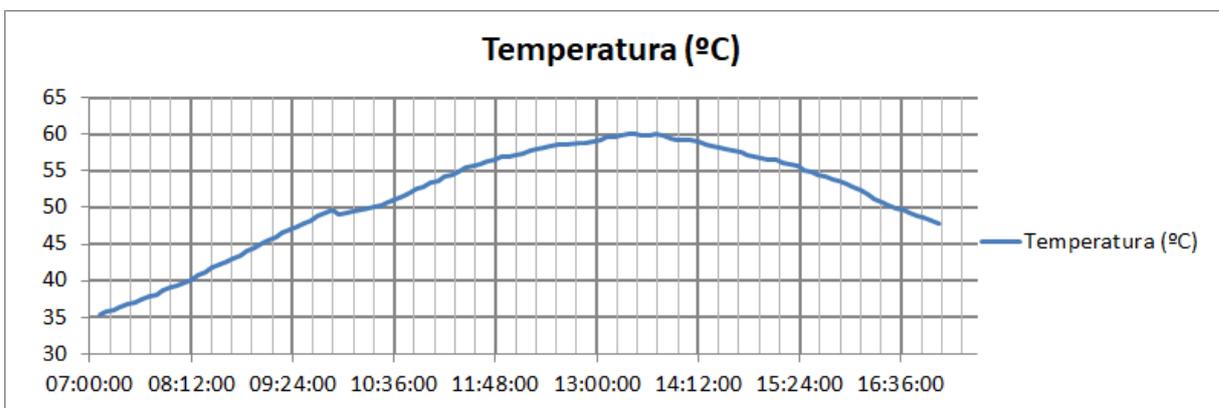
Fonte: Própria (2019)

Das duas amostras que a eficiência mensurada foi inferior a teórica uma aconteceu durante os valores máximos de temperatura.

- Dia 30/08/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 212,84V; 51,44 e 1768,81W. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 12h00min e 15h00min com seu pico por volta das 13h30min onde ela atinge cerca de 60,01°C, como mostrado na Figura 27

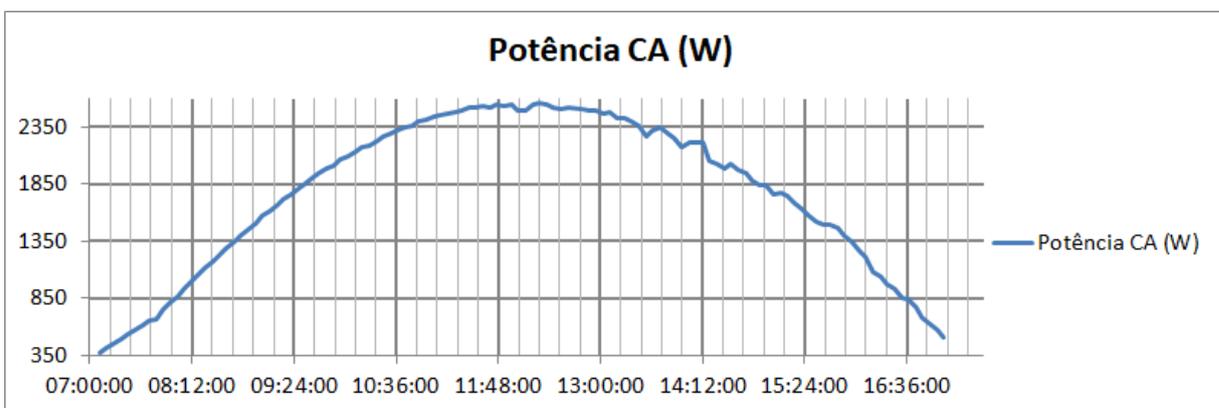
Figura 27 – Temperatura do dia 30/08/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2564W por volta das 12h20min, tem-se uma curva de potência que pode ser considerada ideal, formando uma parábola crescente até por volta das 12:30 e a parti desse ponto começa a decrescer até o final do dia, como mostrado na figura 28

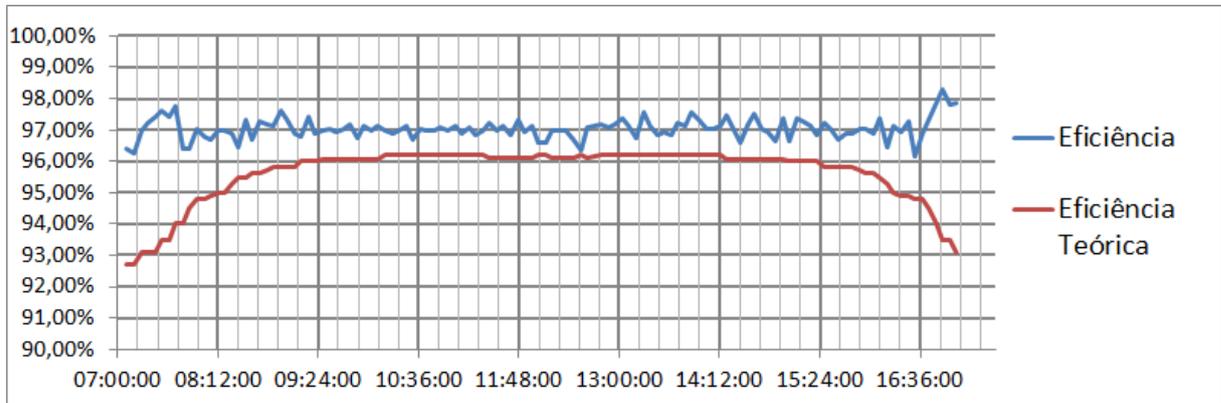
Figura 28 – Potência do dia 30/08/2018



Fonte: Própria (2019)

A eficiência teórica se manteve inferior à eficiência medida em todos os intervalos de tempo sem exceção. Como pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 – Eficiências do dia 30/08/2018



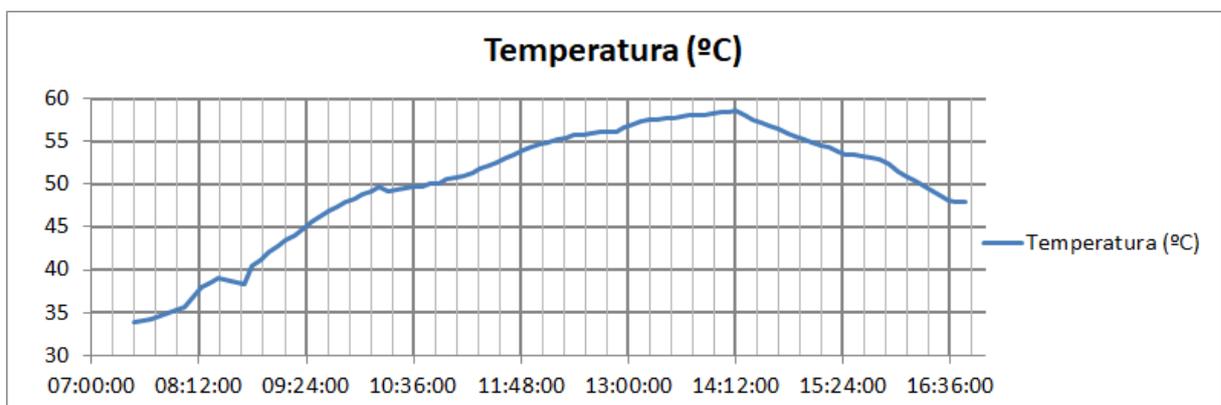
Fonte: Própria (2019)

Entre os dias analisados esse foi o único em que a eficiência teórica se manteve inferior a mensurada em todo intervalo de tempo.

- Dia 04/09/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 212,35V; 51,39 e 1828,97W. Pelo gráfico da temperatura temos o valor máximo entre as 12h00min e 15h00min com seu pico por volta das 14h10min onde ela atinge cerca de 59°C. Como mostrado na Figura 30

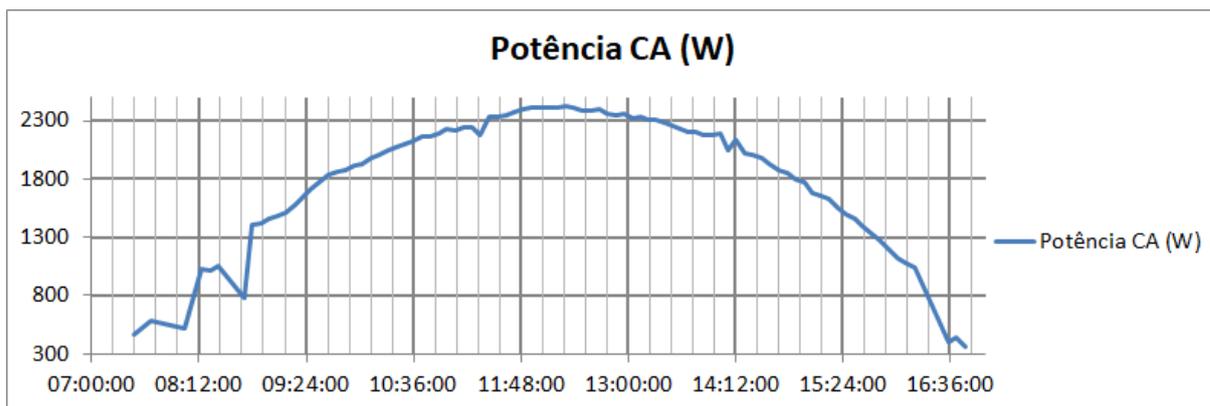
Figura 30 – Temperatura do dia 04/09/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2426W por volta das 12h20min, tem-se uma curva de potência que pode ser considerada ideal, formando uma parábola crescente até por volta das 12:30 e a partir desse ponto começa a decrescer com pequenas variações bruscas até o final do dia. Como pode ser visto na Figura 31

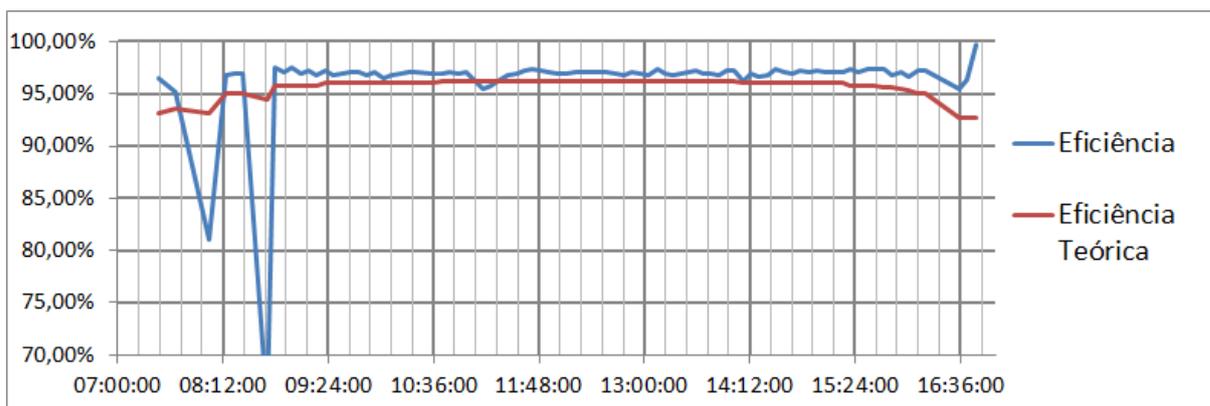
Figura 31 – Potência do dia 04/09/2018



Fonte: Própria (2019)

A eficiência teórica se manteve inferior à eficiência mensurada exceto em três amostras. Como pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 – Eficiências do dia 04/09/2018



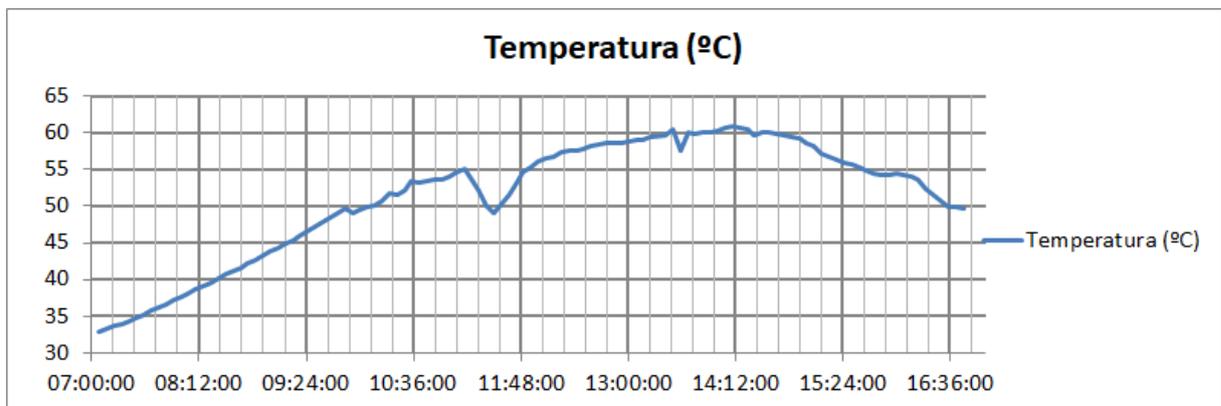
Fonte: Própria (2019)

Em nem uma das amostras à eficiência teórica foi superior à eficiência mensurada durante o intervalo de máxima temperatura.

- Dia 11/09/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 209,30V; 52,23 e 1808,13W. Pelo gráfico da temperatura temos o pico máximo entre as 13h30min e 15h00min com seu pico por volta das 14h10min onde ela atinge cerca de 61°C, como mostrado na Figura 33. Dentro dos dias analisados esse dia apresentou a maior temperatura média.

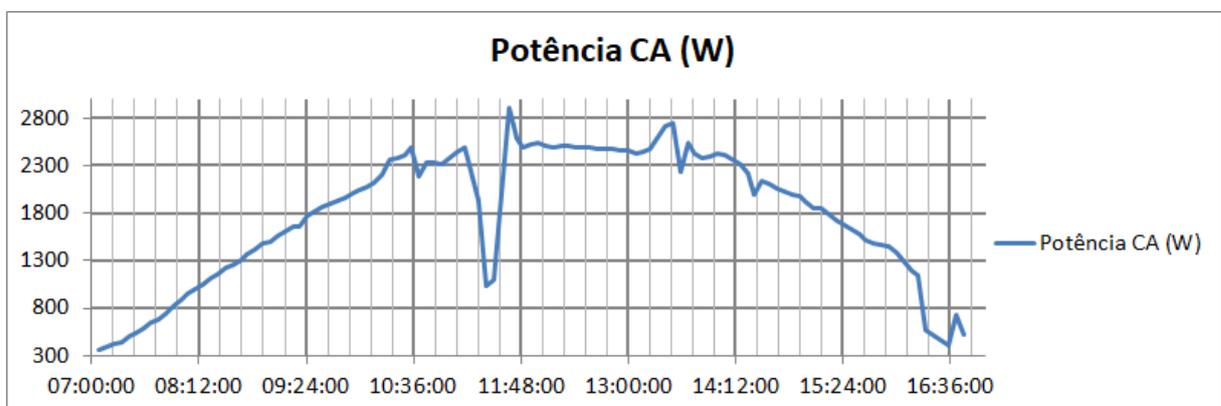
Figura 33 – Temperatura do dia 11/09/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2907W por volta das 11h30min, seu valor de maior produção ficou entre 12h00min e 13h30min, sofrendo poucas variações bruscas, como mostrado na Figura 34

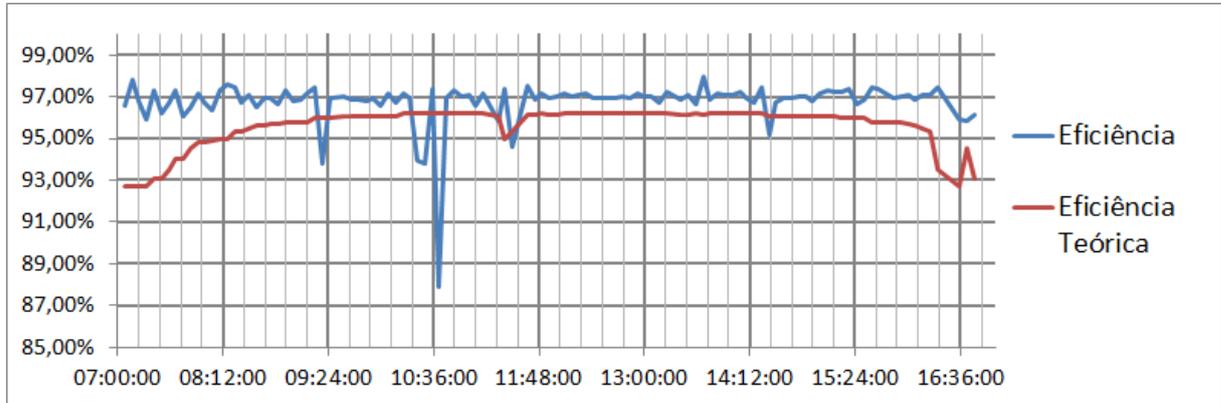
Figura 34 – Potência do dia 11/09/2018



Fonte: Própria (2019)

A eficiência teórica se manteve inferior à eficiência mensurada exceto em cinco amostras. Como pode ser visto na Figura 35.

Figura 35 – Eficiências do dia 11/09/2018



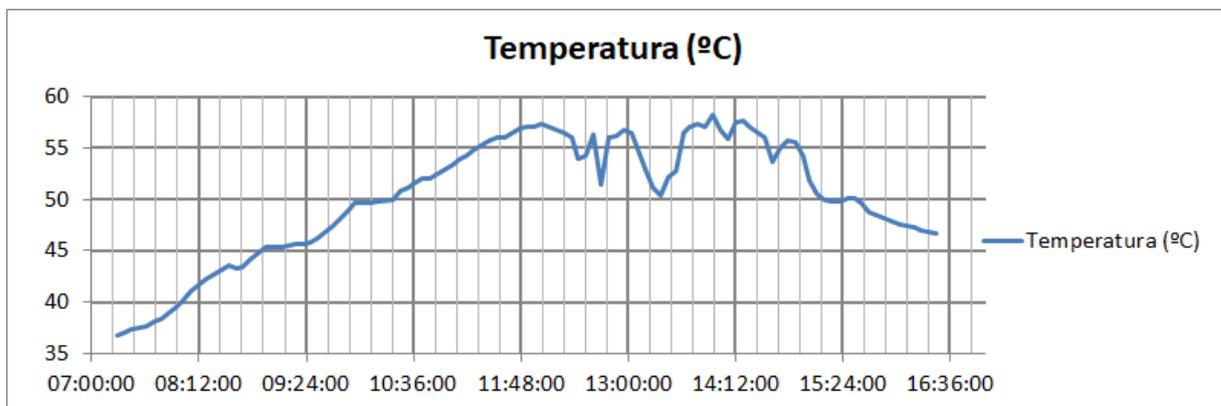
Fonte: Própria (2019)

Das cinco amostras que a eficiência teórica foi inferior a eficiência mensurada uma ocorreu durante o intervalo de máxima temperatura.

- Dia 23/09/2018

A média de tensão CC, temperatura e potência são respectivamente: 211,53V; 50,08 e 1522,45W. Pelo gráfico da temperatura temos o pico máximo entre as 13h00min e 15h00min com bastante variação entre 12h00min a 16h00min seu pico por volta das 14h00min onde ela atinge cerca de 59°C, como mostrado na Figura 36

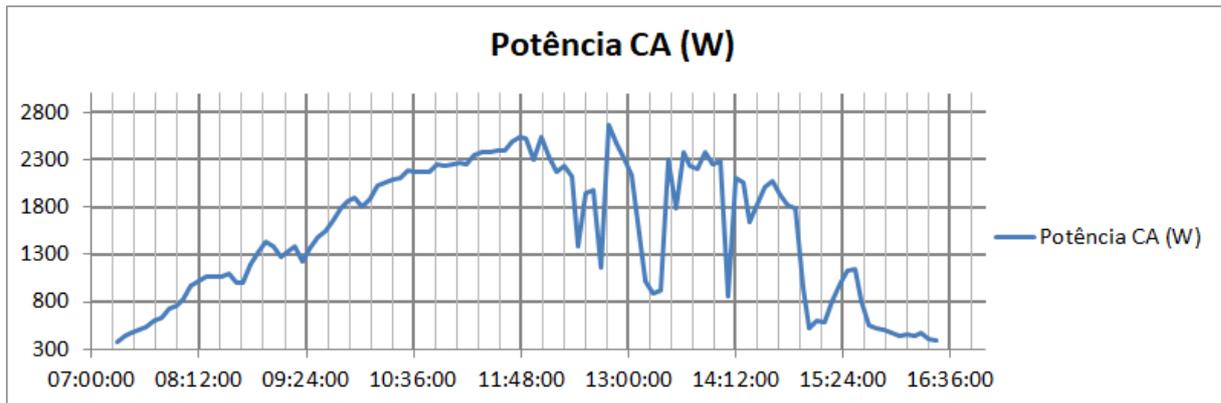
Figura 36 – Temperatura do dia 23/09/2018



Fonte: Própria (2019)

O pico de potência atingiu o valor de 2668W por volta das 12h50min, o produção de energia cresceu de forma parabólica com poucas variações até as 12h50min, a partir desse ponto sofreu grandes variações brusca até o final do dia. Como pode ser visto na Figura 37.

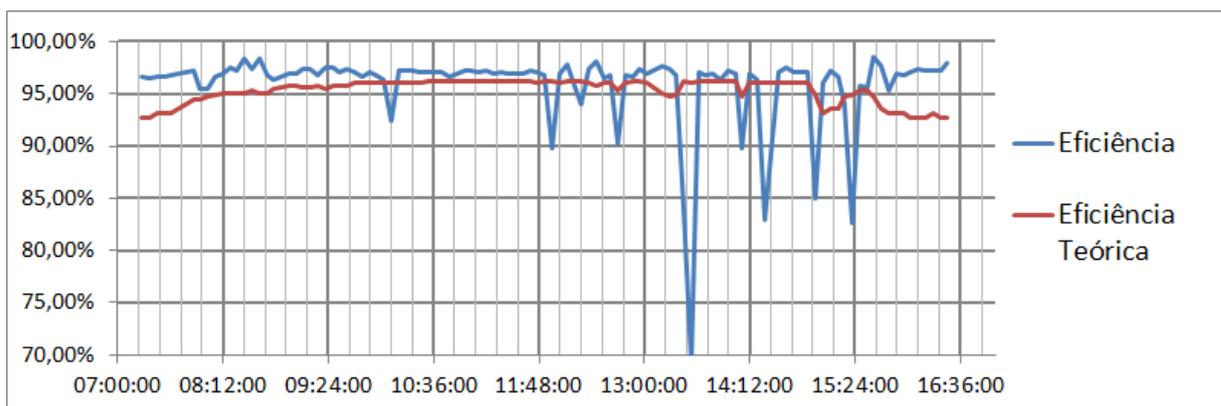
Figura 37 – Potência do dia 23/09/2018



Fonte: Própria (2019)

Dentro dos dias analisados esse dia teve a menor média de eficiência mensurada, nove amostras de eficiência mensurada foi inferiores a eficiência teórica. Como pode ser visto na Figura 38.

Figura 38 – Eficiências do dia 23/09/2018



Fonte: Própria (2019)

Dessas amostras que a eficiência mensurada foi inferior a eficiência teórica cinco delas ocorreram no intervalo de máxima temperatura.

4.5.1 Resultados.

Durante todos os dias analisados os intervalos de tempo de máxima temperatura do inversor foram superior a 55°C, alguns dias alcançaram o valor de 60°C. Na Tabela 6 pode-se ver o número de amostras analisadas em cada dia.

Tabela 6 – Amostras analisadas.

Dia	Amostras analisadas	Eficiência⁺	Eficiência⁻
05/02/2018	75	1	0
16/02/2018	108	7	3
26/02/2018	123	2	1
16/08/2018	107	5	2
25/08/2018	121	2	1
30/08/2018	120	0	0
04/09/2018	89	3	0
11/09/2018	130	5	1
23/09/2018	109	9	5
TOTAL	982	34	13

Fonte: Própria (2019)

A terceira coluna da Tabela 6 Eficiência⁺, refere-se ao número de amostras em que a eficiência mensurada foi inferior a eficiência teórica totalizando 34 amostras, já a quarta coluna Eficiência⁻, refere-se ao número de amostras em que a eficiência mensurada foi inferior a eficiência teórica dentro do intervalo de máxima temperatura totalizando 13 amostras.

Dentro das 982 amostras analisadas em 34 amostras apresentaram o valor de eficiência mensurada inferior a eficiência teórica, totalizando 3,47%. Pode concluir dentro dos valores em que a eficiência teórica foi menor que a eficiência mensurada, que 38, 23% dessas amostras ocorreram na faixa de temperatura máxima diária medida no inversor solar.

Sendo assim tem-se.

- 96,53% das amostras apresentam a eficiência mensurada superior á teórica e 03,47% das amostras coletas a eficiência teórica é superior a mensurada.
- 1,32% do total de amostra ocorreram com a eficiência teórica superior a eficiência mensurada dentro da faixa de máxima temperatura diária.
- 61,77% das amostras apresentam a eficiência mensurada superior a eficiência teórica fora da faixa de máxima temperatura diária e 38,23% das amostras apresentam a eficiência teórica superior a eficiência mensurada dentro da faixa de máxima temperatura diária.

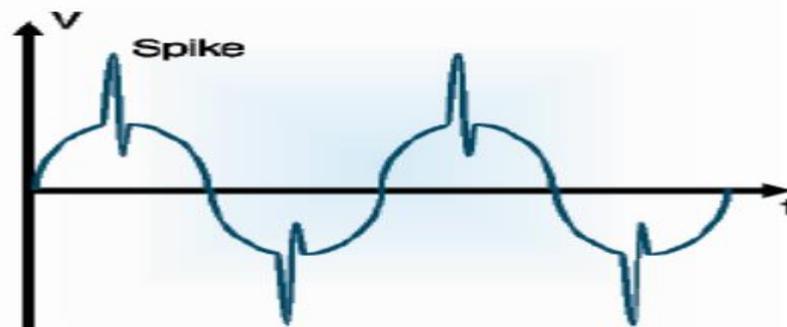
4.5.2 Possíveis falhas de medição elétrica.

Como 96,53% das amostras apresentaram valores de eficiência mensura superiores ao nível determinado pelo manual de instruções, foi feito o levantamento de possíveis falhas de medição.

Todas as amostras foram integradas ao inversor de cinco em cinco minutos, quando um dado é integrado registra-se o valor da média da grandeza durante o intervalo de tempo entre uma amostra é outra, então se houver algum erro nesse intervalo o resultado final fica alterado.

Segundo Capelli (2018), erros por *spike* é comum no chaveamento de cargas indutivas a exemplo temos conversores CC e inversores de frequência. O termo *Spike* refere-se a um transitório formado por uma rápida sobretensão, seguida de uma subtensão, esse distúrbio assemelha-se a uma agulha. A sobretensão e a subtensão, geralmente, atingem amplitudes que vão de duas a quatro vezes a tensão nominal. Como pode ser visto na Figura 39.

Figura 39 – Spike



Fonte: Capelli (2018)

Esse modelo de inversor não possui entrada que de acesso a sua memória de massa, sendo essa de fundamental importância para analisar-se o comportamento contínuo das variáveis elétricas mensurada.

4.5.3 Possíveis soluções de análises.

Um inversor fotovoltaico possui sua entrada de potência em CC e sua saída de potência em CA. Nesse caso um analisador de energia não seria suficiente para mensurar todas as grandezas necessárias, é fundamental o uso de um equipamento projetado para ser usado em sistema de energia solar.

Existem alguns equipamentos específicos para analisar a eficiência de sistema solar fotovoltaico conectado à rede. AR300N é um instrumento multi-função para a verificação da eficiência de sistemas fotovoltaicos monofásico e trifásico fabricados pela HT Instruments. Para este tipo de teste exige-se simultaneidade entre as medições de potência efetuadas a nível do inversor e as medições de irradiação e temperatura efetuadas a nível dos painéis fotovoltaicos. Esse equipamento mensura varias grandezas entre elas, tensão CC/CA, corrente CC/CA e potência CC/CA ativa todas as leituras podem ser realizadas em sistemas monofásicos e trifásicos. (HT, 2016).

Na Figura 40, tem-se o esquema de montagem do equipamento AR300N.

Figura 40 – Esquema de montagem.



Fonte: Capelli (2018)

Esse equipamento possui memória interna e saída USB para transferência de dados além da conexão com a internet.

5. CONCLUSÕES

5.1 Conclusões gerais

Este trabalho analisou o comportamento das características elétricas e térmicas do inversor solar ABB PVI-3.6-TL-OUTD-S, conectado a rede de baixa tensão e localizado na cidade de Palmas-TO, no plano diretor sul. No sistema de geração de energia solar em que o inversor está operando tem-se os dados das características elétricas e térmicas integrado de cinco em cinco minutos. A partir desses dados foi possível analisar e verificar a influência da temperatura na eficiência do inversor solar referido.

O levantamento bibliográfico do problema proposto aponta com clareza a influência da temperatura na eficiência de equipamentos elétricos e eletrônicos, bem como o próprio estudo das características elétricas de um inversor em específico, mostra a abrangência e importância do estudo em eficiência energética, levando em consideração a importância da energia solar no cenário mundial. Sabendo que a produção de energia solar de forma otimizada pode aumentar a produção de energia de forma significativa.

Foi considerado o valor de 3600W para a potência nominal do inversor solar, a curva de tensão CC usada foi de 200V CC e foram analisadas 982 amostras distribuídas entre os dias referido nos gráficos. Com as plotagens dos gráficos foi possível perceber o comportamento da potência, temperatura, eficiência teórica e eficiência mensurada pelo inversor solar. Porém observou-se, que a eficiência mensurada pelo inversor solar em 96,60% das amostras analisadas é superior à eficiência teórica máxima estipulada pelo manual técnico do equipamento, esse foi um resultado inesperado já que a máxima eficiência do inversor solar ocorre em uma região específica de operação, levando em consideração tensão de entrada CC e potência nominal de operação.

As prováveis causas que podem ter influenciado nos resultados inesperados da amostra é que os dados fornecidos pelo inversor solar são integrados, quando uma amostra é integrada leva-se em consideração a média da grandeza durante todo intervalo de tempo, então se houver alguma falha de medição durante os cinco minutos em que a amostra é integrada essa falha vai refletir no valor registrado pelo inversor solar.

O trabalho analisou e verificou a região de operação do inversor solar onde, a eficiência teórica é superior à eficiência mensurada dentro da faixa de máxima temperatura

diária. Como apenas 1,32% do total de amostra ocorreram nessa região de operação não foi possível relacionar o efeito da temperatura na eficiência do inversor solar.

5.2 Sugestão para trabalhos futuros.

São propostas válidas para continuidade desse estudo:

- Analisar mais de um inversor solar instalado na mesma região e no mesmo intervalo de tempo
- Usar um equipamento específico para energia solar para mensurar as grandezas do inversor, e comparar com os dados fornecidos pelo inversor no mesmo intervalo de tempo para eliminar os erros de leituras discrepantes.
- Identificar os pontos de baixa eficiência do inversor solar e investigar as causas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. **ABB string inverters.** Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/c48f2ba36ce94746b4ba58415b6875b4/PVI-3.0-EN-Rev%20F.pdf> Acesso em: 24 de Janeiro de 2019A.

ABB. **Product manual PVI-3.0/3.6/4.2-TL-OUTD (3.0 to 4.2 kW).** Disponível em: [https://library.e.abb.com/public/e57212c407344a16b4644cee73492b39/PVI-3.0_3.6_4.2-TL-OUTD-Product%20manual%20EN-RevB\(M000016BG\).pdf](https://library.e.abb.com/public/e57212c407344a16b4644cee73492b39/PVI-3.0_3.6_4.2-TL-OUTD-Product%20manual%20EN-RevB(M000016BG).pdf) Acesso em: 10 de março de 2019B.

ALMEIDA, M.; Zilles, R.; Pinto, A.. **Eficiência Brasileira de Inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente Vol 15,** Argentina, 2011.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/10184/15266087/painel+3+ap+7+2017.10.19+ABSOLAR+-+Energia+Solar+Fotovoltaica+-+Dr.+Rodrigo+Lopes+Sauaia.pdf/54f8b161-751b-0639-bd04-77a60cac45c3> Acesso em: 03 de novembro de 2018.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica, **Geração distribuída.** Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjVlLTlIMjItN2E5MzBkN2ZlMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR9>. Acesso em: 03 de abril de 2019.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0056/2017-SDR/ANEEL – Projeções 2017.** Brasília: [s.n.], 2008. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/N_Técnica. Acesso em: 06 de novembro 2018.

BRASIL. **Resolução Normativa nº 482, 687 e 786 da Agência Nacional de Energia Elétrica.** Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 17 Abril 2012.

BRASIL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Superintendência de Regulação dos Serviços de Distribuição (SRD)**. Brasília: [s.n.], 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/srd>. Acesso em: 03 de março 2019.

ASADES, 4., 2016, Santa Catarina, RS. **Montagem de bancada para ensaios elétricos e térmicos de inversores fotovoltaicos conectados à rede**, Argentina: PROMEC, 2016, 11p.

BEZERA, Luiz Daniel S. **Conversor cc-ca para aplicação em sistemas autônomos de energia elétrica**. 2010. Trabalho de pós-graduação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Ceará.

CAPELLI, Alexandre. **Tipos de Distúrbios**, 2018. Disponível em: https://files.comunidades.net/mutcom/Tipos_de_Disturbios.pdf. Acesso em: 28 de março de 2018

CARVALHO, R. S. **Análise harmônica em redes de distribuição de energia elétrica**. 2013. 129 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013

ELSEVIER, 2006, Florianópolis, SC. **Inverter sizing of grid-connected photovoltaic systems in the light of local solar resource distribution characteristics and temperature**, Alemanha: sciencedirect, 2006, 14p.

HT, Italia. **Catálogo Geral**, 2016. Disponível em: http://www.amperi.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Cata%CC%81logo-HT-Instruments-Brasil_NOVO.pdf. 2016
Acesso em: 28 de março de 2019

POMÍLIO, José Antenor. **Conversores CC-CA**. Disponível em: <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/files/eltpot/cap6.pdf#search=%22conversores>.
Acesso em: 16 fevereiro 2017.

RAMPINELLI, Giuliano Arns. **Estudo de características elétricas e térmicas de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. Trabalho de pós-graduação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.

TAVARES, João. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Março de 2014

WEATHER, SPARK. **Condições Meteorológicas Médias de Palmas**, Palmas, 2018. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30127/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Palmas-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em: 08 de março de 2018