

ANÁLISES DE EQUAÇÕES DE EFICIÊNCIAS DE INVERSORES ATRAVÉS DE UM COMPARATIVO PRÁTICO

Telma Aparecida Meneghette dos Santos Bassan – telmaapmeneghette@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGSE

Jair Urbanetz Junior – urbanetz@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, PPGSE

Resumo: Estudos aprofundados no setor fotovoltaico nacional se tornam necessários com o crescimento de mercado. Aprofundamentos nas características dos inversores fotovoltaicos em diferentes locais do mundo mostram que a radiação local influencia na eficiência dos equipamentos. Esta pesquisa apresenta um estudo feito em três diferentes inversores de mercado, levantando dados práticos de eficiência e mostrando o diferente funcionamento dos mesmos em situações distintas. Equações já existentes são utilizadas como base para o estudo, destacando a diferença de radiação em 3 regiões diferentes do planeta, Europa, Califórnia e Brasil.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica, Inversores Fotovoltaicos, Eficiência de Inversores Fotovoltaicos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou uma grande evolução em sistemas de geração fotovoltaica nos últimos anos. As primeiras instalações de geração distribuída no Brasil com fonte de geração fotovoltaica registradas na ANEEL começaram a surgir a partir do ano de 2007, mas segundo Ruther (2004), desde 1997 já existia instalações em universidades com intuito de estudos. Um crescimento pouco significativo foi observado até o ano de 2014, quando se iniciou uma fase de crescimento contínuo até outubro de 2017 (ANEEL, 2017). Pode-se observar através da Fig. 1 que o ano de 2016 houve um grande crescimento no número de instalações fotovoltaicas em geração distribuída, atingindo 6.011 kW instalados durante o ano. Ainda no ano de 2016, de janeiro a 15 de outubro haviam sido registradas instalação de 4.363 kW. Comparando com o ano de 2017, de janeiro de 2017 a 15 de outubro de 2017 já foram registradas instalações de 8.017 kW, quase o dobro que o mesmo período do ano anterior.

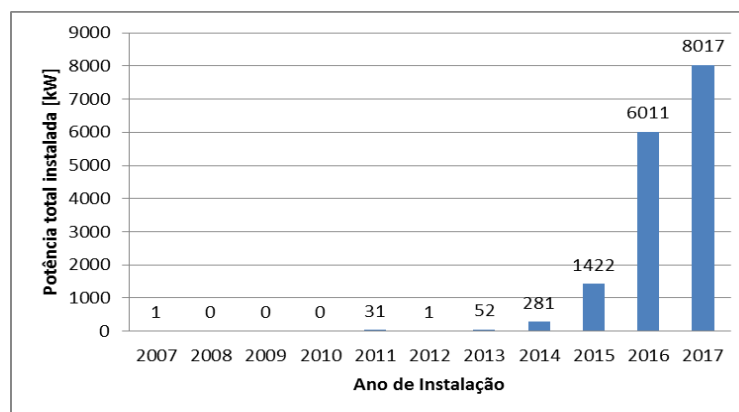


Figura 1- Potência de instalações fotovoltaicas em geração distribuída instaladas por ano

Fonte: Elaboração própria

Mesmo com o considerável crescimento no ano de 2016, a geração fotovoltaica ainda ocupava 0,01% da geração energética nacional, segundo o Balanço Energético Nacional - BEN (2016), tendo assim um largo espaço para ser conquistado. Esse alto crescimento do setor no país aponta a necessidade de aprofundamento nos estudos aplicados a localidade, para que junto ao crescimento tenham-se também evoluções e melhor utilização dos sistemas.

Um sistema fotovoltaico é composto por vários elementos, entre eles os módulos fotovoltaicos, o inversor, sistemas de proteção e cabeamentos, conforme ilustra a Fig. 2.

Todos os elementos devem ser dimensionados de forma correta para melhor eficiência do sistema. Para avaliar o rendimento de cada elemento são necessários conhecimentos técnicos dos equipamentos e também de características do local de instalação do sistema, isso é necessário visto que cada instalação possui características particulares.

Este trabalho tem como equipamento de aprofundamento o inversor fotovoltaico. Através de eletrônica de potência e de um bom sistema de controle o inversor é responsável pela conversão da corrente contínua proveniente dos módulos fotovoltaicos em corrente alternada que será injetada na rede elétrica de distribuição de energia.

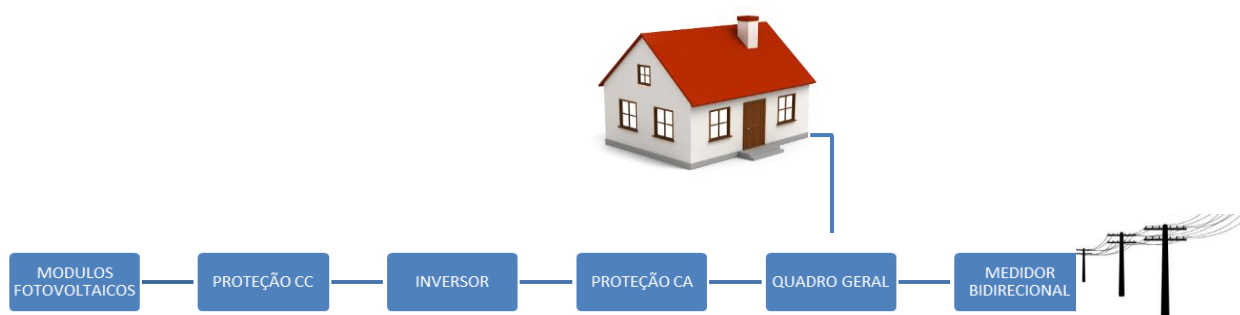


Figura 2 – Configuração de um SFCR
Fonte: Elaboração própria

Segundo a IEC/TS 61836, a eficiência de conversão CC-CA do inversor é definida como a razão entre a energia elétrica na saída do inversor e a energia na entrada do inversor, isto é, a razão entre a energia entregue à rede elétrica e a energia vinda dos módulos fotovoltaicos para o inversor. Tem influência na eficiência a topologia do inversor, a temperatura e a radiação do local, assim como seu método de busca do ponto de máxima potência. Segundo Urbanetz (2010) dependendo da topologia adotada na concepção do inversor do SFCR, tem-se um comportamento diferente em relação ao seu rendimento, dependendo do nível de tensão aplicado pelo arranjo FV.

Segundo Ruther (2004), um diferencial de 1% na eficiência do inversor pode resultar em 10% a mais em energia gerada ao longo de um ano. Para efetuar essa comparação os inversores apresentam curvas de eficiência x carregamento para três tensões de entrada diferentes, uma é utilizada para a eficiência máxima e as outras duas nas tensões limites de operação do seguidor do ponto de máxima potência (SPMP) (Almeida, 2011).

Segundo a norma brasileira ABNT NBR 10899 de 2013, irradiância solar é a taxa na qual a radiação solar incide em uma superfície, por unidade de área desta superfície, normalmente medida em Watt por metro quadrado (W/m^2).

O termo radiação solar é utilizado 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 (Pinho; Galdino, 2012).

A irradiância é um fator de influência na eficiência do inversor pois ela está diretamente ligada ao carregamento do mesmo, quanto maior a irradiância maior o carregamento. Isso é uma consideração a ser feita quando referenciados sistemas fotovoltaicos em que a entrada do inversor é a mesma da potência de saída, quando considerado sistemas em desequilíbrio, como sistemas em que a potência de entrada é maior do que a potência de saída deve-se ser avaliado em outro formato. Como cada localidade no globo possui uma característica específica, caracterizar uma única equação de eficiência de inversores para o mundo todo seria aceitar erros notáveis aos resultados.

Na década de 90 foi introduzido o conceito de eficiência Europeia, a qual apresenta a eficiência do inversor em carregamentos diferentes e um perfil de radiação solar específico de uma região da Alemanha, na cidade de Trier (Almeida, 2011). Essa forma de análise da eficiência independe da tensão de entrada, leva em consideração a eficiência em seis carregamentos diferentes, representados por: $\eta_{5\%}$ (carregamento de 5%); $\eta_{10\%}$ (carregamento de 10%); $\eta_{20\%}$ (carregamento de 20%); $\eta_{30\%}$ (carregamento de 30%); $\eta_{50\%}$ (carregamento de 50%) e $\eta_{100\%}$ (carregamento de 100%). Os coeficientes europeus obtidos são apresentados na Eq. 1.

$$\eta_{EURO} = 0,03_{\eta_{5\%}} + 0,06_{\eta_{10\%}} + 0,13_{\eta_{20\%}} + 0,10_{\eta_{30\%}} + 0,48_{\eta_{50\%}} + 0,20_{\eta_{100\%}} \quad (01)$$

Segundo Bletterie (2008), na obtenção do coeficiente de cada carregamento levam-se em consideração os seguintes fatores: irradiância no plano, temperatura do módulo, temperatura ambiente mínima, temperatura ambiente máxima, a temperatura normalizada de teste e o coeficiente modular de temperatura.

Visto que o conceito é totalmente confiável apenas na localidade em que foi obtido, a Comissão de Energia da Califórnia (CEC – California Energy Commission) verificou a necessidade de levantar um conceito que tivessem as características de alta irradiância e temperatura da Califórnia, com isso criaram a eficiência Californiana. Esse conceito também é uma média ponderada das eficiências do inversor em alguns carregamentos, ela leva em consideração carregamento um pouco diferentes do conceito europeu conforme é apresentado na Eq. 02.

$$\eta_{CEC} = 0,04_{\eta_{10\%}} + 0,05_{\eta_{20\%}} + 0,12_{\eta_{30\%}} + 0,21_{\eta_{50\%}} + 0,53_{\eta_{75\%}} + 0,05_{\eta_{100\%}} \quad (02)$$

Tem-se que nenhum dos dois conceitos, nem o europeu nem o CEC, consideram a dependência da tensão de entrada e a eficiência de seguimento do ponto de máxima potência (SPMP).

Na análise da proposta da eficiência brasileira foi necessário adquirir dados de radiação solar, com resolução de minutos, para que através deles fossem obtidos os coeficientes referentes ao índice de irradiação brasileiro. Para isso foram utilizados dados fornecidos pelo Projeto SoDa. Foram obtidos dados referentes ao ano de 2005 para todas as

capitais brasileiras. Segundo Neto (2012), com esses dados foram calculadas as irradiâncias média regional e nacional para cada minuto do ano. A partir disso foi avaliada a importância de cada carregamento e escolhidos como principais a serem utilizados os seguintes: 10%, 20%, 30%, 50%, 75% e 100%.

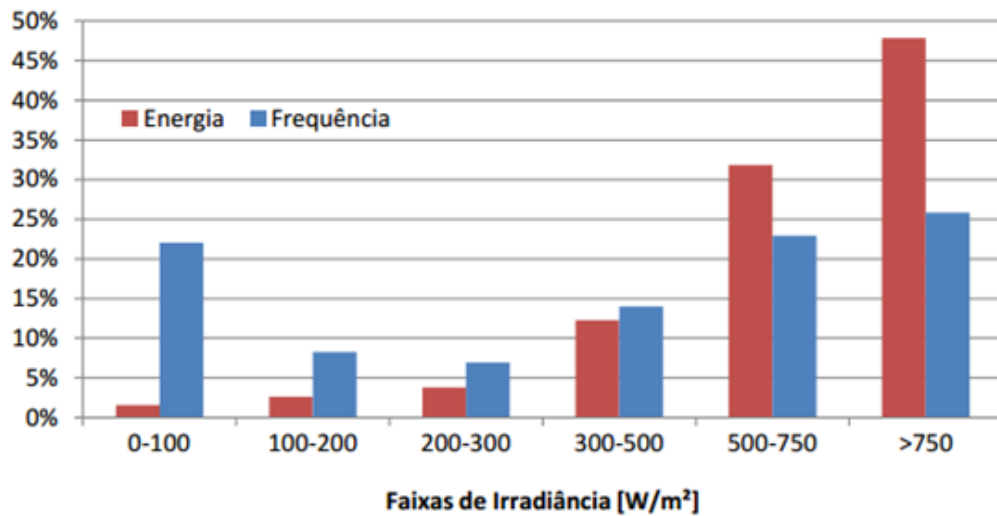


Figura 3 - Distribuição de frequência da irradiância e participação na irradiância anual para a média nacional por faixas. Fonte: Neto (2012)

Fazendo uma análise da Figura 3, pode-se observar que mais de 40% da irradiação anual é proveniente de irradiâncias maiores que 750 W/m² e mais de 70% da irradiação provêm de irradiâncias superiores a 500 W/m² (Neto, 2012). Com isso chega-se a conclusão de que as fórmulas de eficiência Europeia e Californiana não se enquadram ao perfil brasileiro de irradiância, visto que eles levam mais em consideração as faixas de baixa irradiância. A partir dessa distribuição de irradiância que são obtidos os coeficientes utilizados na equação de eficiência do local em questão.

Um estudo realizado por Almeida (2011), mostra uma eficiência brasileira de inversores para SFCR. A proposta do trabalho era apresentar uma nova maneira de calcular a eficiência ponderada considerando características ignoradas nos conceitos Europeu e Californiano e adaptando às características brasileiras de incidência solar.

Cada carregamento necessita de 10 medidas em diferentes tensões, isto é, o inversor é ensaiado com 10 tensões entre seu limite de tensão em cada um dos 6 carregamentos, obtendo 60 medidas diferentes. Para calcular a eficiência total deve-se calcular a eficiência total média de cada carregamento, conforme é apresentado na Eq. 03.

$$\eta_{TMEDk\%} = \frac{\sum_{i=V_{PMPmin}}^{V_{PMPmax}} \eta_{k\%i}}{10} \quad (03)$$

Sendo:

$\eta_{TMEDk\%}$ = eficiência total média

$k\%$ = carregamento

$\eta_{k\%i}$ = eficiência total a $k\%$ de carregamento e a uma dada tensão de entrada i .

Com isso, Almeida (2011) obteve como proposta para o cálculo da Eficiência Brasileira a Eq. 04:

$$\eta_{BR} = 0,02\eta_{TMED10\%} + 0,02\eta_{TMED20\%} + 0,04\eta_{TMED30\%} + 0,12\eta_{TMED50\%} + 0,32\eta_{TMED75\%} + 0,48\eta_{TMED100\%} \quad (04)$$

Observa-se que na proposta de Equação Brasileira foi considerada a variação de tensão e não apenas a eficiência por carregamento conforme a Equação Europeia e Equação Californiana.

A proposta da pesquisa é apresentar as diferenças entre as equações, fazendo uma análise prática de 3 modelos distintos de inversores, determinando as eficiências de cada um e avaliando a diferença entre as equações apresentadas e os resultados.

2. METODOLOGIA

Ao fazer uma análise nas 3 equações de eficiência, Eficiência Europeia, Eficiência Californiana e a proposta da Eficiência Brasileira, pode-se destacar como principal diferença os coeficientes apresentados em cada equação.

O coeficiente caracteriza o peso que aquele carregamento tem no funcionamento total do inversor, isto é, o maior coeficiente estará no carregamento que tem mais influência na geração total do inversor, e isso está diretamente ligado à irradiância do local. Por exemplo, em um local que possui irradiâncias altas, os coeficientes maiores estarão nos maiores carregamentos, próximo a 100%, diferente se for um local com baixa irradiância que terá os maiores coeficientes nos baixos carregamentos, abaixo de 50% de carregamento.

Conforme apresentado em Bassan (2017), pode-se observar através da Tab. 1 que a eficiência europeia leva em consideração o carregamento de 5% e não considera o carregamento de 75%. Isso ocorre devido a pouca relevância das altas faixas de irradiação na região analisada, o carregamento que mais tem importância nessa situação é o de 50% (0,48), pois é o que mais tem predominância na região. Da mesma forma vê-se que na eficiência Californiana o carregamento de maior relevância é o de 75% (0,53), e o de 100% (0,05) tem mínimo impacto no cálculo.

Tabela 1- Comparativo dos coeficientes por carregamento
Fonte: Elaboração própria

	5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
Eficiência Europeia	0,03	0,06	0,13	0,10	0,48	-	0,20
Eficiência Californiana	-	0,04	0,05	0,12	0,21	0,53	0,05
Eficiência Brasileira	-	0,02	0,02	0,04	0,12	0,32	0,48

Já na radiação brasileira, os altos carregamentos possuem maior impacto, fazendo com que os coeficientes de 100% (0,48) e 75% (0,32) tenham uma maior influência no cálculo final da eficiência do equipamento. Como pequenos carregamentos são desprezíveis a nível brasileiro, carregamentos de 5% não chegam a ser considerado, assim como o Californiano.

Pode-se considerar os coeficientes os fatores de maior influência na análise do inversor, pois alguns possuem uma maior eficiência em baixos carregamentos e outros em altos, fazendo assim com que um inversor de alto rendimento na Europa não necessariamente será um inversor de alto rendimento no Brasil.

Ao fazer uma pesquisa de dados dos inversores de mercado, observa-se que é muito comum os fabricantes apresentarem as eficiências dos inversores em duas formas: a máxima eficiência e a eficiência do equipamento em diferentes carregamentos. A máxima eficiência é a eficiência máxima alcançada pelo inversor, ela ocorre em um ponto específico de tensão e carregamento, não é uma curva, é um resultado pontual. A eficiência apresentada por carregamento é uma curva, isto é, a cada carregamento tem-se uma eficiência. Como a tensão de entrada do inversor também tem influência na eficiência, os fabricantes apresentam três curvas de eficiência diferentes, uma para cada tensão, comumente uma na tensão mínima, uma na tensão máxima e outra na tensão de melhor eficiência.

A Tab. 2 ilustra uma tabela de eficiência fornecida por um fabricante de inversores. Observa-se que é comum que as eficiências apresentadas pelos fabricantes sejam em carregamentos que atendam as equações de eficiência Europeia e Californiana.

Tabela 2- Eficiência apresentada na folha de dados do Inversor Galvo 1,5
Fonte: Adaptado de Fronius (2017)

Eficiência máxima	95,5%
Eficiência Europeia (η_{EU})	94,5%
η em 5% Pac, r^*)	84,5 / 86,0 / 86,0 %
η em 10% Pac, r^*)	87,5 / 89,7 / 89,6 %
η em 20% Pac, r^*)	91,3 / 93,3 / 93,1 %
η em 25% Pac, r^*)	92,4 / 94,1 / 93,9 %
η em 30% Pac, r^*)	93,0 / 94,6 / 94,3 %
η em 50% Pac, r^*)	93,9 / 95,5 / 95,2 %
η em 75% Pac, r^*)	94,2 / 95,9 / 95,4 %
η em 100% Pac, r^*)	94,0 / 95,9 / 95,6 %

*) $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$

Quando existe a necessidade de calcular a Eficiência Europeia ou a Eficiência Californiana através das suas equações pode-se utilizar diretamente os dados fornecidos pelos fabricantes, basta escolher uma das curvas, selecionando uma das tensões e desconsiderando as outras. Quando se trata da equação proposta como Eficiência Brasileira fazer o cálculo apenas com os dados fornecidos pelos fabricantes não é possível, visto que a equação brasileira utiliza a curva de eficiência em 10 tensões diferentes.

A proposta de Equação Brasileira necessita de 60 valores de eficiência do equipamento, variando o carregamento e a tensão. Deve-se dividir a faixa de tensão de entrada de trabalho do inversor em 10 tensões diferentes, e a partir disso, obter a eficiência nessas tensões em 6 carregamentos diferentes, de 5% a 100%. Como essas medidas não podem ser obtidas teoricamente foi necessário um laboratório com equipamentos que pudessem simular essas condições.

Buscou-se 3 (três) modelos de inversores fotovoltaicos de mercado, e foram ensaiados para obtenção das medidas necessárias para a utilização da proposta de Equação Brasileira de eficiência.

O primeiro passo para obter a eficiência brasileira, conforme apresentado na Eq. 04, é buscar a eficiência do inversor em dez diferentes tensões e em seis diferentes carregamentos, obtendo um total de 60 medidas. Para obtenção das 60 medidas apresentadas nesse trabalho, foram feitos 3 ensaios com as mesmas características em cada modelo e calculada uma média ponderada dos 3 ensaios. Os valores apresentados nas tabelas de tensões x carregamento são referentes a essa média ponderada em cada modelo. Como é necessária a obtenção das eficiências em 10 diferentes tensões, divide-se a faixa de tensão em que cada inversor trabalha em 10 valores, e, como cada inversor escolhido trabalha em uma faixa de tensão, as tensões utilizadas serão diferentes entre os modelos.

Para obtenção destes valores, é necessário fazer a variação no simulador fotovoltaico da tensão de entrada do inversor, nas 10 medidas exigidas, variando simultaneamente a carga aplicada, podendo ser mexida na radiação simulada na fonte CC.

Depois de obtidos os resultados práticos, é necessário aplicar os resultados de cada carregamento à Eq. 03, a qual calcula a eficiência média de cada carregamento. Com esse resultado, aplica-se a eficiência média de cada carregamento à Eq. 04, obtendo então a eficiência brasileira de cada modelo.

Com a obtenção da eficiência Brasileira por modelo pode-se fazer um comparativo de resultados de eficiência entre as equações, analisando o rendimento em cada localidade.

2.3 Equipamentos Utilizados

Para obtenção dos valores desejados é necessário simular um sistema fotovoltaico nas situações específicas. Para isto uma planta real fotovoltaica pode não ser tão útil pois não apresentará a variação de tensão e carregamento nos momentos desejados. Uma simulação em laboratório de um sistema fotovoltaico é o modelo ideal para os testes necessários nesse trabalho. Para isso são utilizados os equipamentos a seguir:

- Analisador de Potência: com precisão de potência $\leq 0,1\%$ da leitura $+0,1\%$ da escala de potência. Energia melhor ou igual à precisão de potência $+0,1\%$ da leitura de tempo.

Modelo: WT332E

Fabricante: Yokogawa

- Simulador de Painel Fotovoltaico: foi utilizada uma fonte de alimentação que simula o gerador Fotovoltaico. Uma Fonte CC simples não é o mais indicado visto que um módulo fotovoltaico tem características específicas, como sua curva de máxima potência variando de acordo com a radiação aplicada nele.

Um simulador fotovoltaico tem baixa capacitância na saída e permite que a tensão e corrente de saída sejam limitadas assim como nos módulos, por exemplo, pode-se configurar um módulo fotovoltaico de tensão de circuito aberto de 36,7 V com corrente de curto circuito de 8 A e eficiência de 16%. Configurando essas características pode-se aplicar a esse módulo a quantidade de radiação desejada, como por exemplo, 1.000 W/m² com temperatura de 25°C e assim simular condições reais de funcionamento dos módulos. A saída da fonte não será contínua em um só valor, o inversor fotovoltaico irá buscar o ponto de máxima potência desse módulo na situação aplicada e poderá simular nuvens baixando a radiação entre outros. O tempo de resposta desse simulador deve ser alto visto que nos módulos a resposta é imediata.

Modelo: ETS 10KW 600 X 17 C PVF

Fabricante: TerraSAS

- Alimentação CA: esta fonte pode ser uma fonte de alimentação CA propriamente dita ou até mesmo a própria rede elétrica da distribuidora. Nesse estudo foi utilizada a rede da distribuidora.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para obtenção dos valores de eficiência Europeia e Californiana foram utilizados os dados teóricos conforme apresentado em Bassan (2017). Buscou-se 3 modelos de inversores disponíveis no mercado. Foi feita uma busca na folha de dados de cada um dos equipamentos destacando as eficiências apresentadas por carregamento. Com isso obteve-se as eficiências apresentadas na Tab. 3, nela constam as eficiências buscadas nas folhas de dados dos fabricantes. Através dessa tabela pode-se verificar que a eficiência máxima dos inversores varia de acordo com os carregamentos, e também que esses equipamentos comparados não possuem eficiência máxima no mesmo carregamento.

Tabela 3 - Comparativo de modelos de mercado

Fonte: Elaboração própria

	5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
MODELO 1	84,2%	89,6%	92,6%	93,6%	94,3%	94,0%	93,5%
MODELO 2	80,8%	88,9%	93,0%	94,5%	95,6%	96,0%	96,2%
MODELO 3	87,2%	90,2%	93,2%	93,8%	94,9%	95,4%	95,4%

Para obtenção das Eficiências Europeia e Californiana, aplicam-se os valores da Tab. 3 nas equações 1 e 2. Obtendo as eficiências apresentadas na Tab. 4.

Tabela4 - Eficiência Europeia e Californiana

Fonte: Elaboração própria

	Eficiência Europeia	Eficiência Californiana
MODELO 1	94,7%	95,2%
MODELO 2	89,2%	90,5%
MODELO 3	92,6%	94,7%

Após obtenção das eficiências teóricas buscam-se os dados para obtenção da Eficiência Brasileira. Para essa eficiência são necessários ensaios. A Tabela 5 representa as eficiências obtidas através de ensaios do inversor de Modelo 1. Foram obtidas 60 medidas de eficiências.

Tabela 5 - Modelo de resultados de eficiência: carregamento x tensão Modelo 1

Fonte: Elaboração própria

	10%	20%	30%	50%	75%	100%
V1 = 230 V	89,9%	94,3%	94,5%	95,1%	94,8%	94,5%
V2 = 260 V	91,4%	93,5%	94,4%	94,9%	94,6%	93,8%
V3 = 290 V	91,8%	93,6%	94,4%	94,9%	94,4%	93,9%
V4 = 320 V	90,9%	93,5%	94,1%	94,7%	94,3%	94,7%
V5 = 350 V	91,4%	93,4%	94,0%	94,5%	94,9%	94,6%
V6 = 380 V	91,3%	94,1%	94,7%	95,2%	94,9%	94,5%
V7 = 410 V	91,5%	93,8%	94,5%	95,3%	94,9%	94,8%
V8 = 440 V	91,1%	93,6%	94,3%	95,1%	94,9%	95,0%
V9 = 470 V	91,2%	93,4%	94,4%	94,8%	95,3%	94,9%
V10 = 500 V	91,6%	94,2%	94,6%	95,3%	95,1%	94,7%

Cada inversor ensaiado obteve uma tabela igual à Tab. 5, variando a faixa de tensão entre eles. Aplicando as informações das tabelas de Resultados de eficiência na Eq. 4 pode-se obter a média de cada carregamento. Na Tab. 6 podem-se observar as médias de eficiências obtidas nos três modelos analisados.

Tabela 6 - Eficiência média por carregamento

Fonte: Elaboração própria

	10%	20%	30%	50%	75%	100%
MODELO 1	91,2%	93,7%	94,4%	95,0%	94,8%	94,5%
MODELO 2	81,1%	87,4%	89,4%	90,4%	90,3%	90,0%
MODELO 3	84,6%	88,7%	90,7%	92,2%	93,4%	92,6%

Observa-se que os Modelos 1 e 2 obtiveram maior eficiência em 50% do carregamento, e o Modelo 3 maior eficiência em 75% do carregamento. Aplicando os dados obtidos na Tab. 6 na Eq. 4, obtém-se a eficiência Brasileira para cada modelo analisado, demonstrado na Tab. 7.

Com o valor da Eficiência Brasileira para cada modelo analisa-se que o valor da eficiência Brasileira está sempre muito próximo do valor médio de eficiência no carregamento de 100%. Isto ocorre pois esse carregamento é o de maior importância para a análise na região do Brasil.

Tabela 7 - Eficiência Brasileira por Modelo
Fonte: Elaboração própria

Eficiência Brasileira	
MODELO 1	94,6%
MODELO 2	89,9%
MODELO 3	92,5%

Após obtenção desses resultados pode-se fazer um comparativo direto entre as eficiências obtidas em cada equação. Na Tab. 8 é apresentado um comparativo das eficiências entre os modelos, destacando as eficiências máximas, Europeia, Californiana e Brasileira. Através dela pode-se observar que a eficiência máxima possui um valor maior que todas as outras eficiências, podendo dessa forma mascarar o real rendimento de um equipamento.

Tabela8 - Comparativo das eficiências entre os modelos
Fonte: Elaboração própria

	Eficiência Máxima	Eficiência Europeia	Eficiência Californiana	Eficiência Brasileira
MODELO 1	95,7%	94,7%	95,2%	94,6%
MODELO 2	93,2%	89,2%	90,5%	89,9%
MODELO 3	96,6%	92,6%	94,7%	92,5%

Ao fazer uma análise dos resultados obtidos, pode-se observar primeiramente que nos dados fornecidos pelo fabricante nem todos os modelos obtiveram eficiência máxima na mesma tensão. Os modelos 1 e 3 tiveram melhor eficiência na tensão média de funcionamento e o modelo 2 na tensão máxima de funcionamento. Isso se deve pela variação das características de controle e topologia de cada inversor escolhido, mostrando que nem todos os equipamentos terão funcionamento similar nas diferentes tensões.

Fazendo um comparativo da curva de melhor eficiência apresentada pelos fabricantes e a curva de eficiência brasileira, obtêm-se os gráficos apresentados nas Figs. 4, 5 e 6.

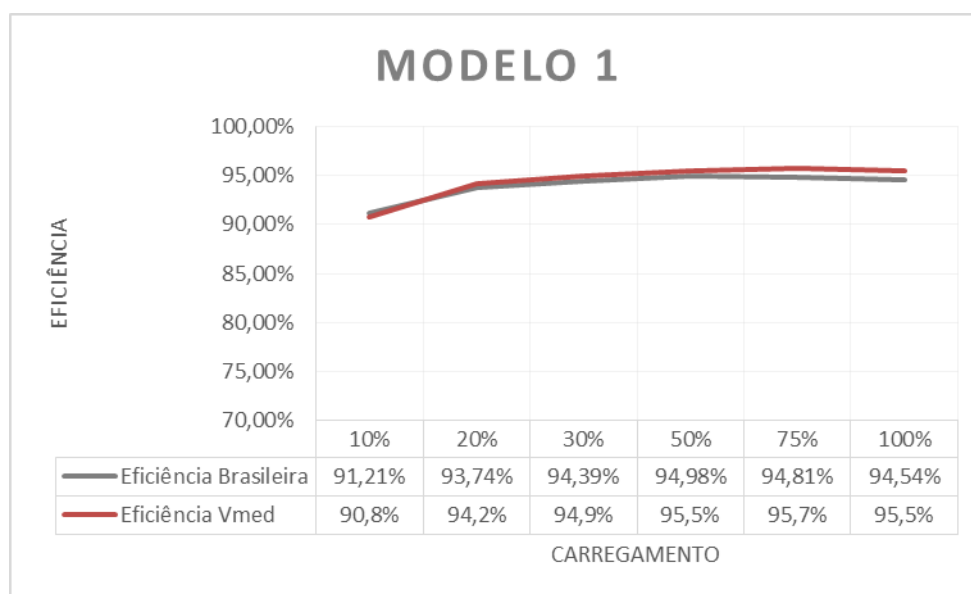


Figura 4 - Comparativo Eficiência Tensão média com Eficiência Brasileira - Modelo 1

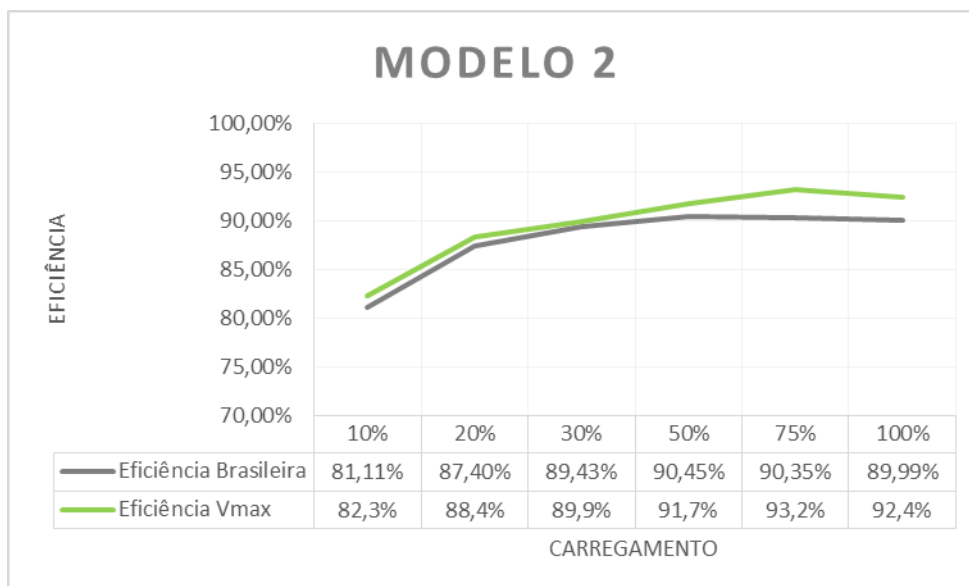


Figura 5 - Comparativo Eficiência Tensão média com Eficiência Brasileira - Modelo 2

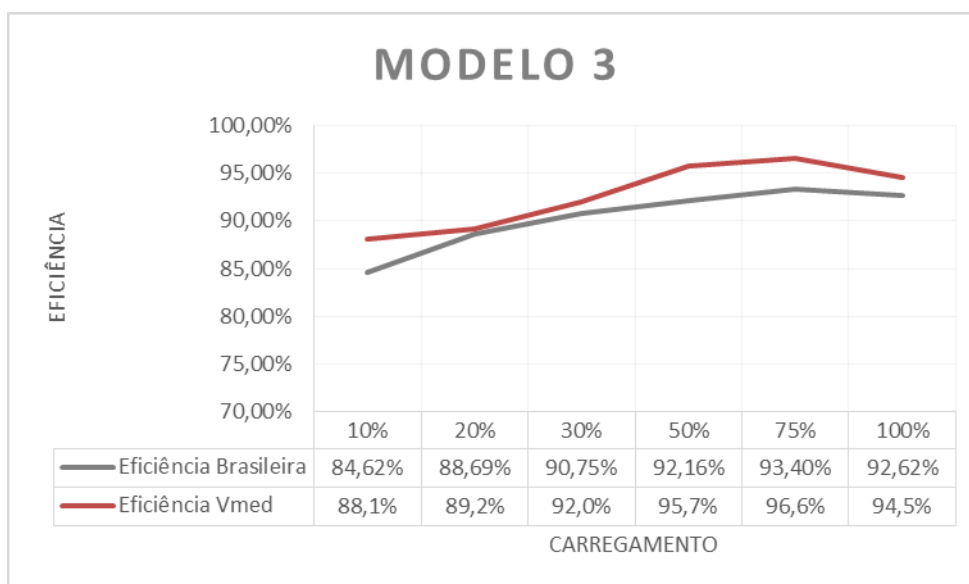


Figura 6 - Comparativo Eficiência Tensão média com Eficiência Brasileira - Modelo 3

Observa-se nos três modelos avaliados que a curva de eficiência na tensão de melhor desempenho dos dados do fabricante possui valores maiores do que a curva da eficiência brasileira calculada. Isso se deve principalmente pelo fato da eficiência brasileira fazer uma média de várias tensões, e não apenas na tensão de melhor desempenho. Quando comparada a melhor curva do fabricante com a curva brasileira vê-se que em nenhum dos modelos a brasileira tem um rendimento tão bom quanto o apresentado pela Eficiência Vmed, logo, os modelos avaliados terão uma eficiência abaixo da apresentada pelos fabricantes no Brasil.

4. CONCLUSÕES FINAIS

O aprofundamento apresentado nesse trabalho, específico na eficiência dos inversores, levanta que cada região avaliada tem características particulares, fazendo com que um inversor com alto rendimento na Europa não necessariamente terá um alto rendimento no Brasil. Como a Europa possui menores índices de incidência de irradiação, um inversor que possua uma alta eficiência nos baixos carregamentos sempre terá um maior rendimento. Já no Brasil é o contrário, é necessário que o equipamento possua alto rendimento nos mais altos carregamentos.

Avaliando folhas de dados fornecidas por fabricantes variados, observa-se que a eficiência Europeia e Californiana sempre é calculada nas tensões de melhores rendimentos. Quando comparado o melhor rendimento dos inversores nas tensões apresentadas pelos fabricantes com o rendimento sugerido como brasileiro, observa-se que a eficiência brasileira tem valor menor. Isso acontece pelo fato da eficiência sugerida como brasileira ser obtida através de uma média da eficiência em várias tensões diferentes.

Considerando os resultados obtidos nos três modelos e analisando a Tab. 8, é válido destacar que a eficiência máxima apresentada em cada um deles é maior do que as eficiências calculadas, sendo que essa pode ocultar o real rendimento do equipamento. Outro ponto pertinente a ser levado em consideração é a tensão aplicada na entrada do inversor, com a variação de tensão de entrada a eficiência também varia. A única equação analisada que leva em consideração a tensão de entrada é a de Eficiência Brasileira, fazendo com que ela apresente uma maior confiabilidade comparada às outras.

O Modelo 1 estudado é o que apresenta melhor resultado para ambas as localidades avaliadas, possui eficiência Europeia igual a 94,7%, eficiência Californiana igual a 95,3% e eficiência Brasileira igual a 94,6%. Isso mostra que ele possui maior eficiência tanto nos baixos carregamentos quanto nos altos carregamentos, e possui também uma menor variação quando submetida a diferentes tensões. Mesmo possuindo a melhor eficiência em todos os modelos pode-se verificar que o local que esse modelo teria melhor rendimento é na Califórnia, apontando como o maior resultado entre eles.

Segundo Bassan (2017), para a obtenção da equação sugerida como brasileira, Almeida (2011) utilizou dados de radiação de apenas um ano, o ano de 2005. Esse fator faz com que os coeficientes utilizados na equação não possuam tanta confiabilidade, visto que não se sabe se o ano utilizado foi um ano típico. Seria interessante utilizar dados de pelo menos 10 anos para ter uma confiabilidade maior na obtenção dos coeficientes brasileiro. Indica-se esse estudo como forma de confirmação dessa equação.

Concluindo, é importante para um sistema fotovoltaico a avaliação das características do inversor a ser utilizado, levantando as características da instalação particular e considerando o local aonde será instalado para que utilize a equação de eficiência de inversores que melhor se enquadre. Esse cuidado pode aumentar o rendimento do sistema, apresentando melhores resultados.

REFERÊNCIAS

- 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.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída**. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/GD_Fonte.asp>. Acesso em 31 de setembro de 2017.
- Bassan, Telma A. M. S.; Urbanetz, Jair Jr. **Comparativo das equações de eficiência de inversores da Europa, da Califórnia e do Brasil**. Smart Energy, Curitiba/PR, 2017.
- Bletterie, Benoît; Brundlinger, Roland; Haberlin, Heinrich; Baumgartner, Franz; Schmidt, Heribert; Burguer, Bruno; Klein, Gerald; Abella, Miguel Alonso. **Redefinition of the European efficiency – finding the compromise between simplicity and accuracy**. EU PVSEC, 2735-2742. Alemanha, 2008.
- Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2016, Brasília. **Balço Energético Nacional 2016**. Disponível em <<https://ben.epe.gov.br/>>. Acesso em 26 de abril de 2017.
- Fronius. Fabricante de Inversores Fotovoltaicos. **Solar Energy – Fronius Galvo 1.5-1**. Disponível em <<http://www.fronius.com>>. Acesso em 02 de maio de 2017.
- Neto, Aimé F. de Carvalho P. **Qualificação e etiquetagem de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). USP 2012.
- Ruther, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Editor UFSC / LABSOLAR. Florianópolis, SC, 2004
- SoDa. **Solar radiation data**. Disponível em <<http://www.soda-is.com>>. Acesso em 01 de maio de 2017.
- Urbanetz Jr, Jair. **Sistemas Fotovoltaicos conectados a redes de distribuição urbanas: Sua influência na qualidade da energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese (Doutorado em engenharia). UFSC 2010.

INVERTERS EFFICIENCY EQUATION ANALYSIS USING A PRATICAL COMPARATION

Abstract: *Studies in the national photovoltaic sector become necessary with market growth. Deepening the characteristics of photovoltaic inverters in different parts of the world shows that local radiation influences the efficiency of the equipment. This research presents a study done in three different inverters, raising practical efficiency data and showing the different functioning of the same in different situations. Existing equations are used as the basis for the study, highlighting the radiation difference in 3 locations, Europe, California and Brazil.*

Key words: *Photovoltaic Energy, Photovoltaic Inverters, Efficiency Photovoltaic Inverters.*