

ANÁLISE DE CARACTERÍSTICAS DE INVERSORES PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE EM FUNÇÃO DA TENSÃO DE ENTRADA

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@ufrgs.br

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica

Faustino Chenlo Romero – faustino.chenlo@ciemat.es

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Laboratório de Energía Solar Fotovoltaica

Resumo. O inversor é o equipamento responsável por converter a energia elétrica em corrente contínua proveniente do gerador fotovoltaico em energia elétrica em corrente alternada e entregar à rede elétrica de distribuição uma energia de qualidade com baixo conteúdo harmônico. O desenvolvimento da eletrônica de potência tem permitido considerável incremento na eficiência de conversão CC/CA que é dependente principalmente do nível de carregamento do inversor, ou seja, da potência que está operando o inversor em um dado instante. Entretanto a tensão CC de entrada do inversor também afeta sua eficiência CC/CA, embora essa seja uma dependência normalmente desconsiderada. Este trabalho apresenta a análise de ensaios de eficiência de conversão CC/CA e de fator de potência de três inversores. Os inversores foram ensaiados em diferentes tensões CC de entrada e para o pós-processamento dos dados e comparação do comportamento dos inversores em diferentes tensões são adotadas ponderações médias de eficiência e fator de potência. A influência da tensão de entrada na eficiência e fator de potência dos inversores depende do nível de carregamento em que o inversor está operando.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Inversor, Eficiência, Fator de Potência.

1. INTRODUÇÃO

O inversor converte a potência em corrente contínua (CC) proveniente do arranjo fotovoltaico em potência em corrente alternada (CA) que em condições normais (qualidade aceitável) será injetada na rede elétrica de distribuição de energia. O desenvolvimento da tecnologia eletrônica de potência permitiu considerável incremento na eficiência de conversão CC/CA, conjuntamente com um aumento de confiabilidade e redução de custos. O objetivo ao desenvolver inversores é obter sinais de saída com baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência, sendo que isto é possível aumentando a frequência de comutação dos semicondutores e filtrando adequadamente o sinal de saída (Cruz, 2009). Existem vários tipos de dispositivos semicondutores de potência capazes de realizar a conversão de potência CC em potência CA. Basicamente os inversores podem ser classificados em dois tipos segundo seus elementos de chaveamento: os tiristores ou os transistores. Os tiristores são aqueles componentes semicondutores com dois estados estáveis cujo funcionamento está baseado na realimentação regenerativa de uma junção PNPN. Existem vários tipos de tiristores, sendo que os mais utilizados são: o retificador controlado de silício (SCR) e o tiristor com bloqueio por porta GTO (*Gate Turn-Off Switch*). Os transistores são dispositivos semicondutores baseados na junção PNP ou NPN, com capacidade para trabalhar em três zonas: corte, saturação e ativa. Existem diversos tipos de transistores dependendo da classe de semicondutor empregado em sua fabricação, da técnica de fabricação e do desenho construtivo (Cruz, 2009).

Os inversores utilizados atualmente em aplicações fotovoltaicas podem ser divididos em duas categorias: autocomutados e comutados pela rede. Os inversores autocomutados podem operar independentemente, sendo ativados unicamente por uma fonte de potência na entrada. Este tipo de inversor pode ser conectado à rede já que são capazes de sincronizar sua tensão alternada de saída com a tensão da rede elétrica. Esses inversores normalmente comutam a alta frequência sendo que o sinal de saída é senoidal de baixo conteúdo harmônico e alto fator de potência. O inconveniente deste tipo de inversores é o preço, já que são mais caros que os inversores baseados em tiristores (Cruz, 2009). Os inversores comutados pela rede são pontes retificadoras baseados em tiristores e só podem funcionar quando a tensão alternada da rede está presente. Esses inversores operam normalmente com baixo fator de potência e apresentam um alto nível de distorção harmônica em seu sinal de saída. Entretanto são mais baratos que os inversores autocomutados de alta frequência.

A eficiência de conversão CC/CA é dependente principalmente do nível de carregamento do inversor, ou seja, da potência que está operando o inversor em um dado instante. Em baixas potências as perdas devem-se principalmente a resistência paralela enquanto que em altas potências as perdas devem-se a resistência série. Entretanto a tensão CC de entrada do inversor também afeta sua eficiência CC/CA, embora essa seja uma dependência normalmente desconsiderada. Inicialmente, a eficiência CC/CA também poderia ter uma dependência com a temperatura, embora seja recomendável desconsiderar essa dependência. Testes de laboratórios realizados nos laboratórios da Sandia (*Sandia National Laboratories*) mostram que a eficiência de conversão CC/CA não tem dependência considerável com a

temperatura (King et. al., 2007). Quanto à qualidade, o sistema deve injetar uma energia de qualidade na rede elétrica. Um problema de qualidade de energia pode ser definido como qualquer problema de ordem elétrica que se manifesta em perturbações de tensão, corrente ou frequência ocasionando danos ou operação incorreta do equipamento do usuário (Dugan, 1996). A qualidade da energia é avaliada a partir de certos parâmetros que devem apresentar níveis que são estipulados pela concessionária. Esses parâmetros são baixo conteúdo de harmônicos, forma de onda senoidal com frequência de 60 Hz para o Brasil ou 50 Hz para Europa e alto fator de potência.

As curvas de eficiência e fator de potência são obtidas para diferentes tensões CC de entrada. A tensão CC de entrada é modificada a partir da alteração do número de módulos fotovoltaicos em série em cada painel. Para comparação entre as diferentes curvas de eficiência de conversão obtidas em diferentes tensões estão sendo utilizadas eficiências ponderadas conhecidas como eficiência européia e eficiência californiana. Os catálogos de inversores para conexão à rede comumente apresentam a eficiência máxima e a eficiência européia que é definida a partir de uma ponderação da eficiência do inversor para diferentes potências e é descrita na Eq. 1. De maneira similar é definida a eficiência californiana (descrita na Eq. 2), mas com diferentes ponderações. Por fim, de maneira similar a eficiência européia e californiana pode-se definir o fator de potência europeu (Eq. 3) e o fator de potência californiano (Eq. 4).

$$h_{EU} = (0,03 \cdot h_{5\%}) + (0,06 \cdot h_{10\%}) + (0,13 \cdot h_{20\%}) + (0,1 \cdot h_{30\%}) + (0,48 \cdot h_{50\%}) + (0,2 \cdot h_{100\%}) \quad (1)$$

$$h_{CA} = (0,04 \cdot h_{10\%}) + (0,05 \cdot h_{20\%}) + (0,12 \cdot h_{30\%}) + (0,21 \cdot h_{50\%}) + (0,53 \cdot h_{75\%}) + (0,05 \cdot h_{100\%}) \quad (2)$$

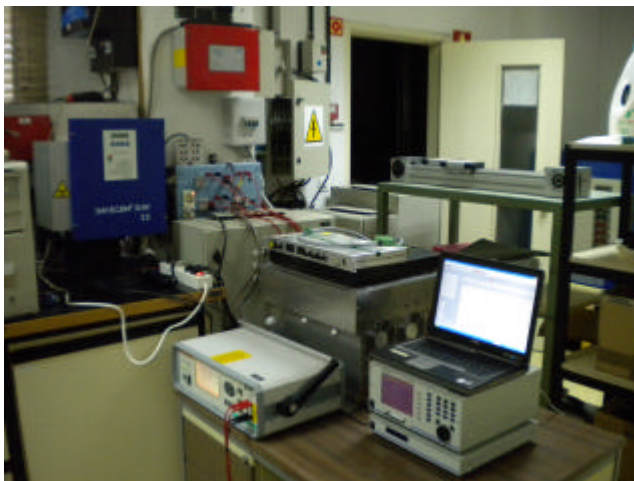
$$FP_{EU} = (0,03 \cdot F_{5\%}) + (0,06 \cdot F_{10\%}) + (0,13 \cdot F_{20\%}) + (0,1 \cdot F_{30\%}) + (0,48 \cdot F_{50\%}) + (0,2 \cdot F_{100\%}) \quad (3)$$

$$FP_{CA} = (0,04 \cdot F_{10\%}) + (0,05 \cdot F_{20\%}) + (0,12 \cdot F_{30\%}) + (0,21 \cdot F_{50\%}) + (0,53 \cdot F_{75\%}) + (0,05 \cdot F_{100\%}) \quad (4)$$

onde: $n_{5\%}$, $n_{10\%}$, $n_{20\%}$, $n_{30\%}$, $n_{50\%}$, $n_{75\%}$ e $n_{100\%}$ e $F_{5\%}$, $F_{10\%}$, $F_{20\%}$, $F_{30\%}$, $F_{50\%}$, $F_{75\%}$ e $F_{100\%}$ são os valores de eficiência de conversão e fator de potência, respectivamente a 5 %, 10 %, 20 %, 30 %, 50 %, 75 % e 100 % da potência nominal.

2. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS ELÉTRICOS DE INVERSORES

O sistema fotovoltaico conectado à rede do Ciemat tem potência nominal de 3kW e pode ser conectado a diferentes inversores. Para monitorar e medir as características elétricas do sistema foi necessário montar e instalar um sistema de medida (Fig. 1a). O sistema de medida é composto pelo analisador de potência *Zes Zimmer* LMG 450 e um notebook que se comunica com o analisador através de um software. O gerador fotovoltaico é composto por 56 módulos fotovoltaicos sendo 40 módulos *Isofoton* I-M55L e 16 módulos *Isofoton* I-55 (Fig. 1b). O sistema fotovoltaico está conectado eletricamente de forma que é possível alterar as configurações série – paralelo do sistema fotovoltaico, alterando os valores nominais de tensão e corrente conforme desejado.



(a)



(b)

Figura 1 – Sistema de medida (a) e sistema fotovoltaico conectado à rede (b).

Para realização dos ensaios foram utilizados os inversores Ingeteam Ingecon Sun 2,5, SMA Sunny Boy 1100U e Fronius IG 30. O inversor da fabricante Ingeteam tem potência nominal de saída de 2,5 kW e transformador de baixa frequência, o inversor da fabricante SMA também tem transformador de baixa frequência e potência nominal de 1 kW enquanto que o inversor da fabricante Fronius tem potência nominal de 2,5 kW e transformador de alta frequência na saída.

O procedimento de ensaio adotado consiste em medir a curva de eficiência CC/CA do inversor e a curva do fator de potência em, no mínimo, três diferentes tensões CC de entrada, sendo que para cada tensão CC de entrada são obtidas, no mínimo, três curvas de eficiência CC/CA e fator de potência. Na sequência, a eficiência européia e a eficiência californiana para cada tensão CC de entrada são determinadas e comparadas a partir das médias das curvas medidas. A Tab. 1 apresenta algumas características elétricas dos inversores utilizados nos ensaios de eficiência de conversão CC/CA em diferentes tensões CC e a Fig. 2 apresenta os inversores que foram utilizados nos ensaios elétricos (Fronius, 2004; Ingeteam, 2005 e SMA, 2009).

Tabela 1. Algumas características elétricas importantes dos inversores ensaiados
Ingeteam Ingecon Sun 2,5, SMA Sunny Boy 1100U e Fronius IG 30.

Fabricante	Ingeteam	SMA	Fronius
Modelo	Ingecon Sun 2,5	Sunny Boy 1100U	IG 30
Tipo de Transformador	Baixa Frequência	Baixa Frequência	Alta Frequência
Potência Nominal CA (W)	2500	1000	2500
Potência Máxima CA (W)	2700	1100	2650
Intervalo de tensão MPPT (V)	125 – 450	145 – 400	150 – 400
Máxima Tensão CC (V)	450	400	500

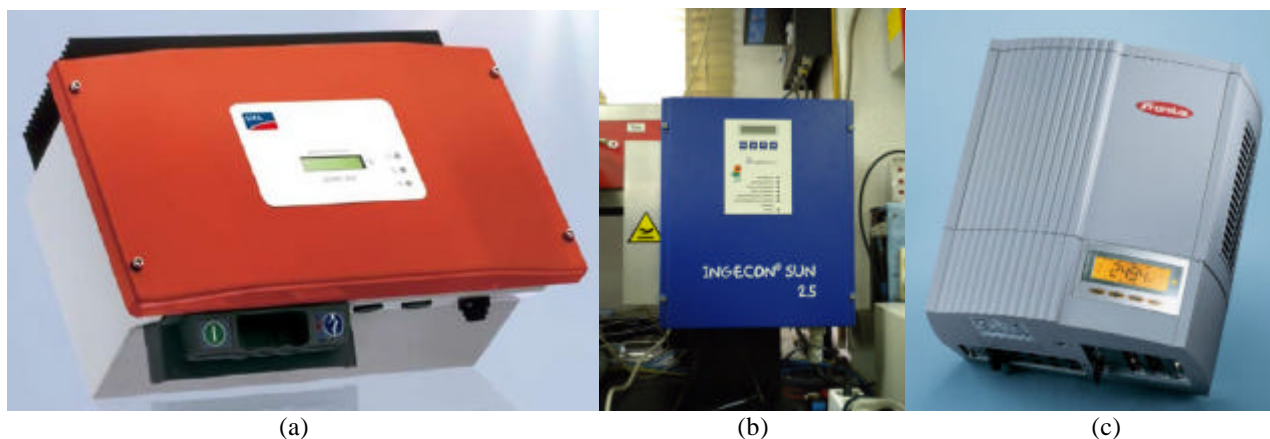


Figura 2 – Inversores ensaiados: SMA Sunny Boy 1100U (a), Ingeteam Ingecon Sun 2,5 (b) e Fronius IG 30 (c).

O Laboratório da Photon realiza constantemente diversos ensaios elétricos de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Os principais ensaios elétricos são de eficiência de conversão CC/CA e eficiência do seguidor do ponto de máxima potência. Um dos equipamentos ensaiados foi o inversor Fronius IG 30 (Photon, 2007). Os inversores são classificados em função de suas curvas de eficiências em duas faixas de irradiância, alta e média (Photon, 2009).

3. MEDIDA E ANÁLISE DOS ENSAIOS ELÉTRICOS DE INVERSORES

A curva de eficiência de conversão do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 foi determinada em quatro diferentes tensões de entrada. Este inversor apresentou menores eficiências em menores tensões CC de entrada e maiores eficiências em maiores tensões CC. A diferença percentual entre o menor e o maior valor de eficiência européia e eficiência californiana foi da ordem de 2,6 % e 2,8 %, respectivamente. Em qualquer nível de carregamento a eficiência depende da tensão CC de entrada. A eficiência máxima do inversor é obtida em níveis de carregamento da ordem de 50 %, o que implica que a eficiência européia seja menor que a eficiência californiana. O inversor apresenta eficiências maiores que 75 %, variando de acordo com a tensão de entrada, em níveis de carregamento de 5 % da potência nominal, atingindo eficiências da ordem de 85 % em níveis de carregamento de 10 %, eficiências da ordem de 90 % em níveis de carregamento de 20 % da potência nominal do inversor, eficiências da ordem de 91 % em níveis de carregamento entre 30 % e 80 % e reduzindo para eficiências de 90 % em 100 % da potência nominal do inversor. A Tab. 2 e a Fig. 3 apresentam os valores das eficiências européia e californiana do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada. A eficiência CC/CA depende da tensão de entrada.

Tabela 2. Eficiências européia e californiana do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 em diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Eficiência Européia (%)	Eficiência Californiana (%)
Ingeteam	Ingecon Sun 2,5	130 V	90,0	90,2
		190 V	90,7	91,0
		250 V	91,6	92,0
		310 V	92,1	92,5

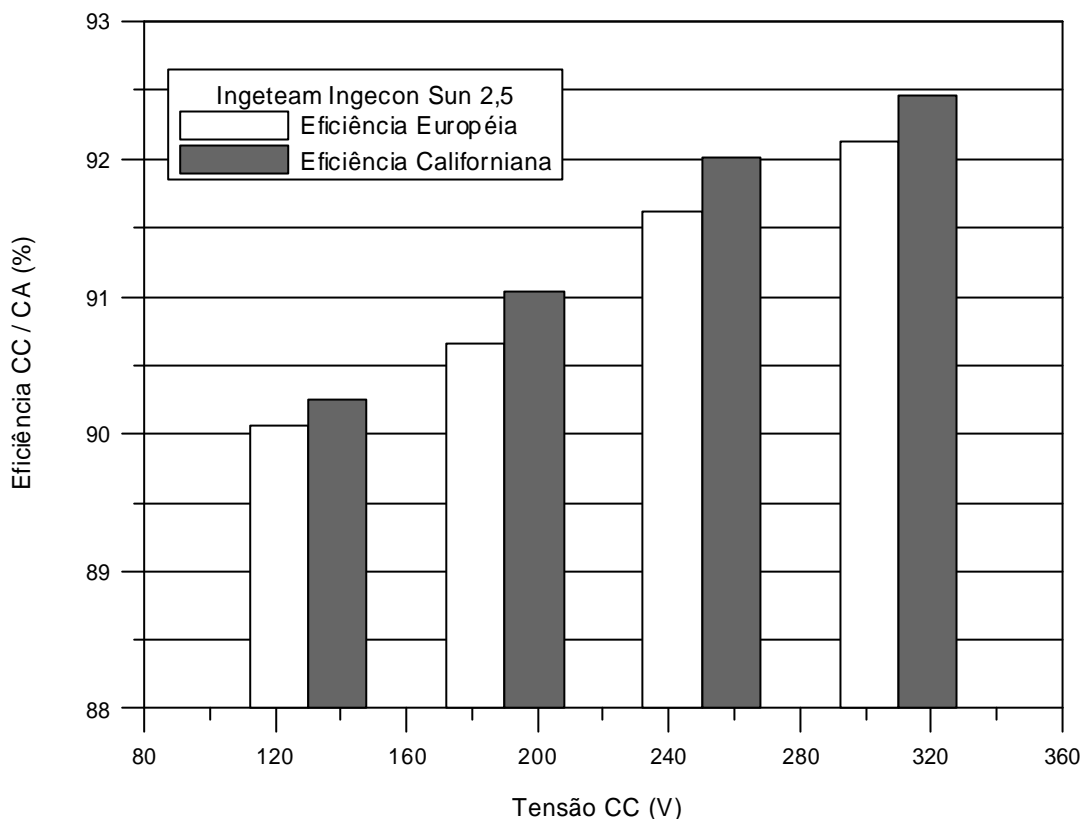


Figura 3 – Eficiências européia e californiana do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC.

A Tab. 3 apresenta a eficiência CC/CA do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento (razão entre a potência CA e a potência nominal).

Tabela 3. Eficiência CC/CA do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 em diferentes tensões CC de entrada e em diferentes níveis de carregamento.

	130 V	190 V	250 V	310 V
5 %	75,9	75,5	77,9	79,2
10 %	84,5	84,5	86,5	87,4
20 %	89,2	89,7	91,1	91,8
30 %	90,7	91,3	92,5	93,1
50 %	91,4	92,2	93,1	93,7
75 %	91,2	92,2	92,7	93,3
100 %	90,7	91,7	86,5	87,4

Em contrapartida, a curva de eficiência de conversão do inversor SMA Sunny Boy 1100U foi determinada em cinco diferentes tensões de entrada. A diferença percentual entre o menor e o maior valor de eficiência européia e eficiência californiana foi inferior a 1 %. Apenas em níveis de carregamento inferiores a 10 % da potência nominal do inversor verificam-se diferenças percentuais maiores que 1 % na eficiência em diferentes tensões. A eficiência máxima do inversor é obtida em níveis de carregamento da ordem de 30 %, implicando em maiores eficiências européias em comparação com as eficiências californianas. O inversor apresenta eficiências maiores que 88 %, variando de acordo

com a tensão de entrada, em níveis de carregamento de 5 % da potência nominal, atingindo eficiências da ordem de 93 % em níveis de carregamento de 10 % e eficiências da ordem de 94 % em níveis de carregamento de 20 % a 60 %, reduzindo para eficiências da ordem de 93 % e 92 % para níveis de carregamento de 75 % e 100 %, respectivamente. A Tab. 4 e a Fig. 4 apresentam os valores das eficiências européia e californiana do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* para diferentes tensões CC.

Tabela 4. Eficiências européia e californiana do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* para diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Eficiência Européia (%)	Eficiência Californiana (%)
SMA	Sunny Boy 1100U	160 V	93,6	93,3
		190 V	93,5	93,2
		220 V	93,9	93,3
		250 V	93,3	92,9
		280 V	94,1	93,3

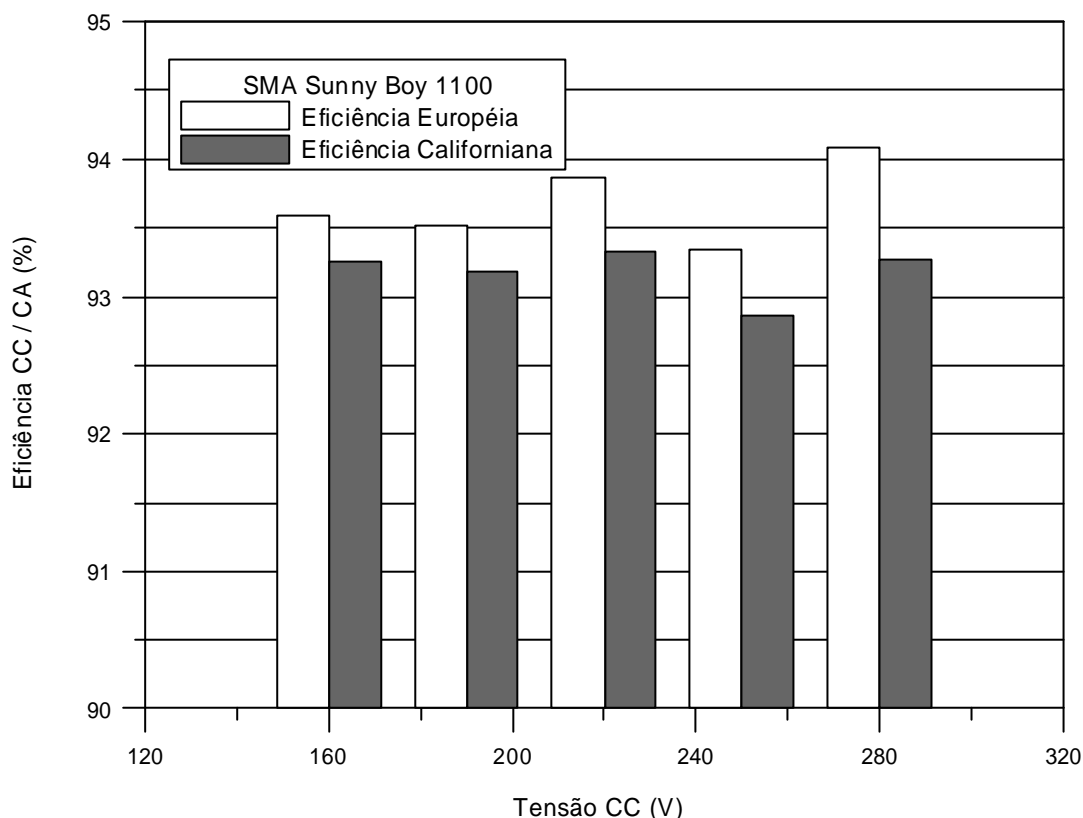


Figura 4 – Eficiências européia e californiana do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* para diferentes tensões CC.

A Tab. 5 apresenta a eficiência CC/CA do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

Tabela 5. Eficiência CC/CA do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

	160 V	190 V	220 V	250 V	280 V
5 %	88,79	88,4	91,1	89,9	90,8
10 %	92,71	92,2	93,7	92,6	93,8
20 %	94,41	93,9	94,7	93,7	95,0
30 %	94,64	94,3	94,7	93,9	95,0
50 %	94,21	94,0	94,2	93,6	94,4
75 %	93,23	93,3	93,2	92,9	93,3
100 %	92,13	92,2	92,1	92,2	93,8

O inversor Fronius IG 30 foi ensaiado em quatro diferentes tensões CC de entrada. A Tab. 6 e a Fig. 5 apresentam os valores de eficiência européia e eficiência californiana em diferentes tensões CC. Os menores valores de eficiência foram obtidos no menor valor de tensão em que o inversor foi ensaiado, 160 V, enquanto que os maiores valores foram obtidos em 300 V_{CC}. A diferença percentual entre o maior e o menor valor de eficiência européia e eficiência californiana foram de 2,2 % e 2,3 %, respectivamente.

Tabela 6. Eficiências européia e californiana do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Eficiência Européia (%)	Eficiência Californiana (%)
Fronius	IG 30	160	91,7	91,3
		220	93,1	92,5
		280	93,6	93,7
		370	93,0	92,0

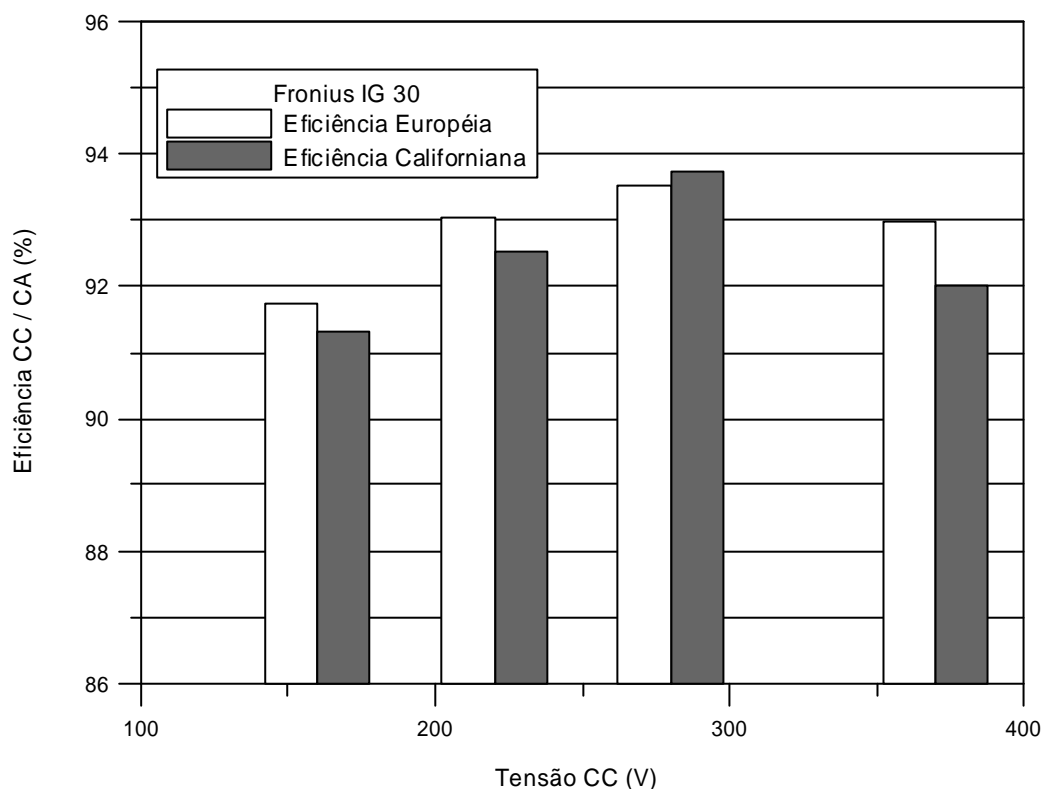


Figura 5 – Eficiências européia e californiana do inversor Fronius IG 30 para diferentes tensões CC.

A Tab. 7 apresenta a eficiência CC/CA do inversor Fronius IG 30 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento. Em níveis de carregamento de 5 % e em tensões maiores que 300 V, o inversor apresenta eficiências da ordem de 90 % e os máximos valores de eficiência são obtidos em níveis de carregamento da ordem de 50 %.

Tabela 7. Eficiência CC/CA do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada e em diferentes níveis de carregamento.

	160 V	220 V	280 V	370 V
5 %	85,3	88,8	89,6	90,8
10 %	89,5	91,5	92,5	91,7
20 %	91,6	92,8	94,0	92,4
30 %	92,2	93,2	94,2	92,7
50 %	92,3	93,5	94,2	93,1
75 %	92,0	93,5	93,8	93,6
100 %	91,6	93,3	93,4	94,1

O inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 apresenta fator de potência europeu da ordem de 96 % e fator de potência californiano da ordem de 98 %. Esses valores não são maiores porque em níveis de carregamento de 5 % e 10 %, o fator de potência é da ordem de 60 % e 80 %, respectivamente, sendo que nessa faixa de operação o fator de potência é mais dependente da tensão CC de entrada. Para níveis de carregamento maiores que 50 % o fator de potência é próximo de 100 %. A Tab. 8 e a Fig. 6 apresentam os valores do fator de potência europeu e californiano do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada.

Tabela 8. Fator de potência europeu e californiano do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Fator de Potência Europeu (%)	Fator de Potência Californiano (%)
Ingeteam	Ingecon Sun 2,5	190 V	96,3	98,2
		250 V	95,9	98,2
		310 V	96,1	98,3

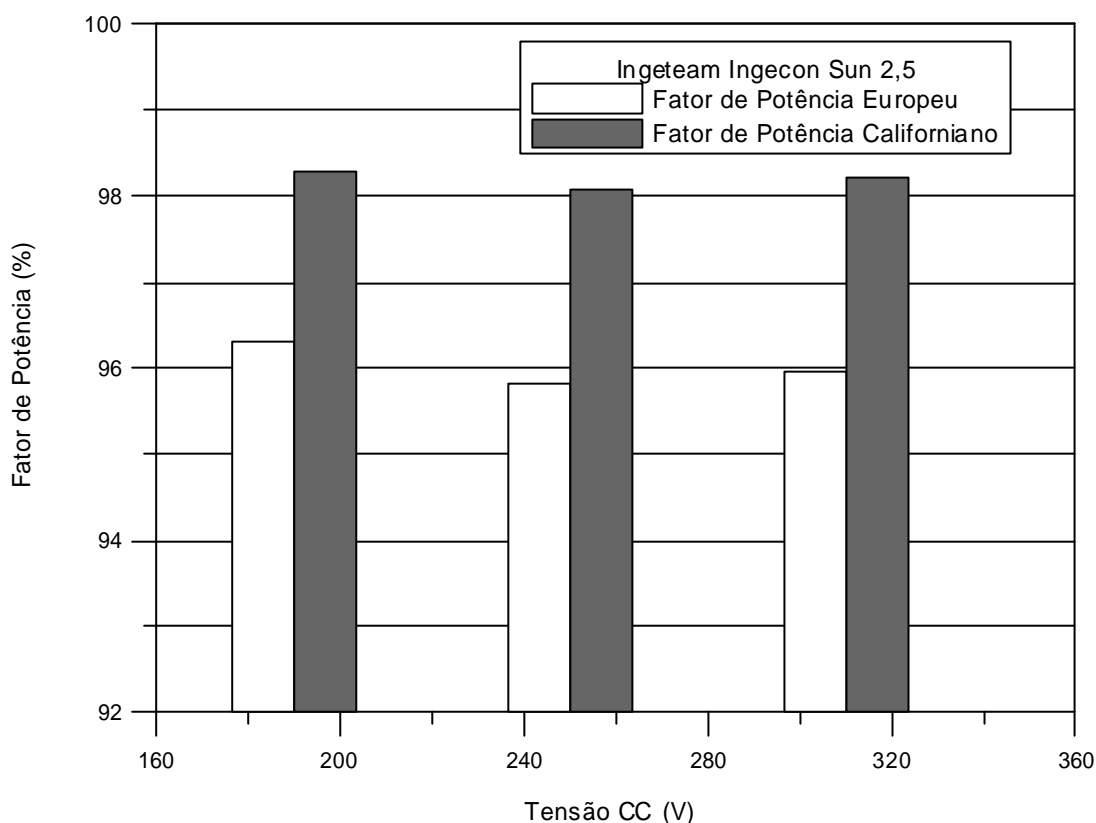


Figura 6 – Fator de potência europeu e californiano do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada.

A Tab.9 apresenta o fator de potência do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

Tabela 9. Fator de potência do inversor Ingeteam Ingecon Sun 2,5 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

	190 V	250 V	310 V
5 %	60,8	56,5	57,9
10 %	83,4	80,8	81,3
20 %	94,4	93,6	93,7
30 %	97,3	96,9	97,0
50 %	99,0	99,0	99,1
75 %	99,6	99,7	99,9
100 %	99,8	100,0	100,0

O Inversor SMA Sunny Boy 1100U apresenta fator de potência inferior a 40 % e da ordem de 70 % para níveis de carregamento de 5 % e 10 %, respectivamente. Para níveis de carregamento maiores que 50 %, o fator de potência é próximo da unidade. A Tab. 10 e a Fig. 7 apresentam os valores do fator de potência europeu e californiano do inversor SMA Sunny Boy 1100U para diferentes tensões CC de entrada.

Tabela 10. Fator de potência europeu e californiano do inversor SMA Sunny Boy 1100U em diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Fator de Potência Europeu (%)	Fator de Potência Californiano (%)
SMA	Sunny Boy 1100	160 V	94,8	97,9
		190 V	94,8	97,8
		220 V	94,7	97,6
		250 V	95,0	98,0
		280 V	95,1	97,9

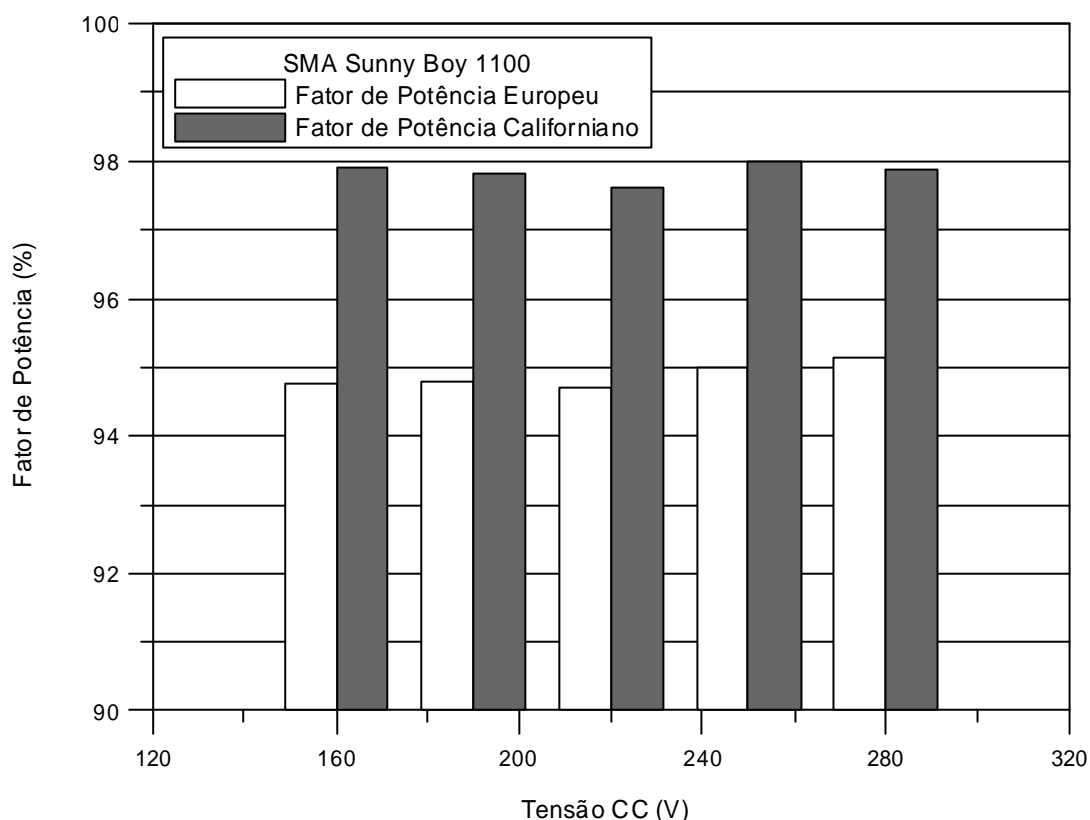


Figura 7 – Fator de potência europeu e californiano do inversor SMA Sunny Boy 1100U em diferentes tensões CC de entrada.

A Tab. 11 apresenta o fator de potência do inversor SMA Sunny Boy 1100U para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

Tabela 11. Fator de potência do inversor SMA Sunny Boy 1100U para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

	160 V	190 V	220 V	250 V	280 V
5 %	34,8	36,4	37,4	36,7	40,2
10 %	68,6	72,3	70,5	71,9	71,7
20 %	93,5	93,1	93,8	93,1	94,6
30 %	97,8	97,3	97,6	97,4	98,1
50 %	99,4	99,1	99,0	99,3	99,2
75 %	99,7	99,6	99,3	99,8	99,5
100 %	99,8	99,7	99,3	100,0	99,5

A Tab. 12 e a Fig. 8 apresentam os fatores de potência europeia e os fatores de potência californiando do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada. O fator de potência europeu é da ordem de 97,5 % e o fator de potência europeu é da ordem de 99 %.

Tabela 12. Fator de potência europeu e californiano do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada.

Fabricante	Modelo	Tensão CC de entrada (V)	Fator de Potência Europeu (%)	Fator de Potência Californiano (%)
Fronius	IG 30	160	97,6	99,1
		220	97,7	99,2
		280	97,5	99,0
		370	97,3	98,9

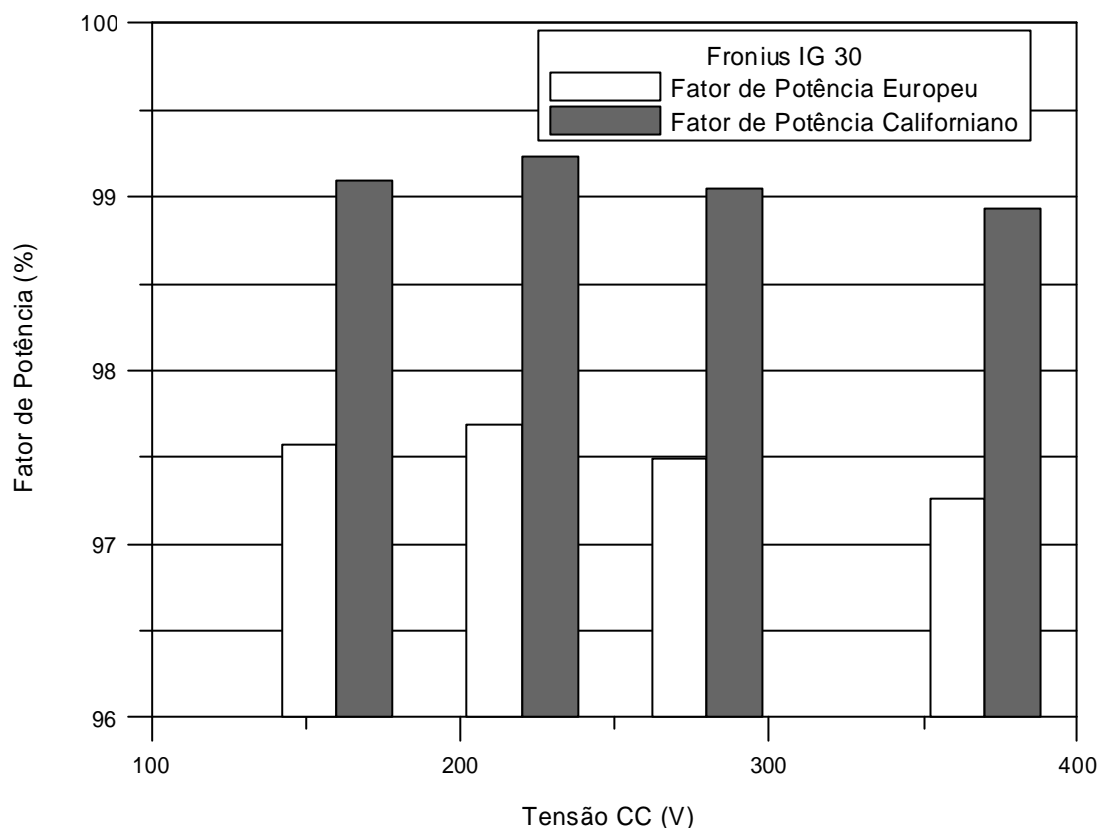


Figura 8 – Fator de potência europeu e californiano do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada.

O inversor Fronius IG 30 apresenta elevado fator de potência para níveis de carregamento a partir de 20 %. A Tab. 13 apresenta o fator de potência do inversor Fronius IG 30 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

Tabela 13. Fator de potência do inversor Fronius IG 30 para diferentes tensões CC de entrada e para diferentes níveis de carregamento.

	160 V	220 V	280 V	370 V
5 %	67,5	67,4	66,7	66,6
10 %	88,1	88,1	86,9	86,7
20 %	96,6	96,7	96,6	95,8
30 %	98,5	98,7	98,7	98,1
50 %	99,6	99,8	99,7	99,5
75 %	100,0	100,0	99,9	100,0
100 %	100,0	100,0	100,0	100,0

A Fig. 9 apresenta a curva de eficiência de conversão CC/CA do inversor Fronius IG 30 para três diferentes tensões CC de entrada. O inversor Fronius está desenvolvido para desempenhar sua melhor performance em altas tensões CC de entrada (Photon, 2007). As curvas apresentadas são curvas teóricas obtidas a partir dados medidos durante 3 dias para cada tensão CC. Para níveis de carregamento maiores que 20 % a eficiência do inversor não varia com a tensão CC de entrada. No entanto para níveis de carregamento menores que 20 %, a eficiência do inversor é maior proporcionalmente a maior tensão CC de entrada. Para níveis de carregamento menores que 10 %, o inversor já atinge eficiências superiores a 90 %. Entretanto para tensões CC de entrada da ordem de 400 V, a eficiência do inversor é maior que 90 % para praticamente qualquer nível de carregamento.

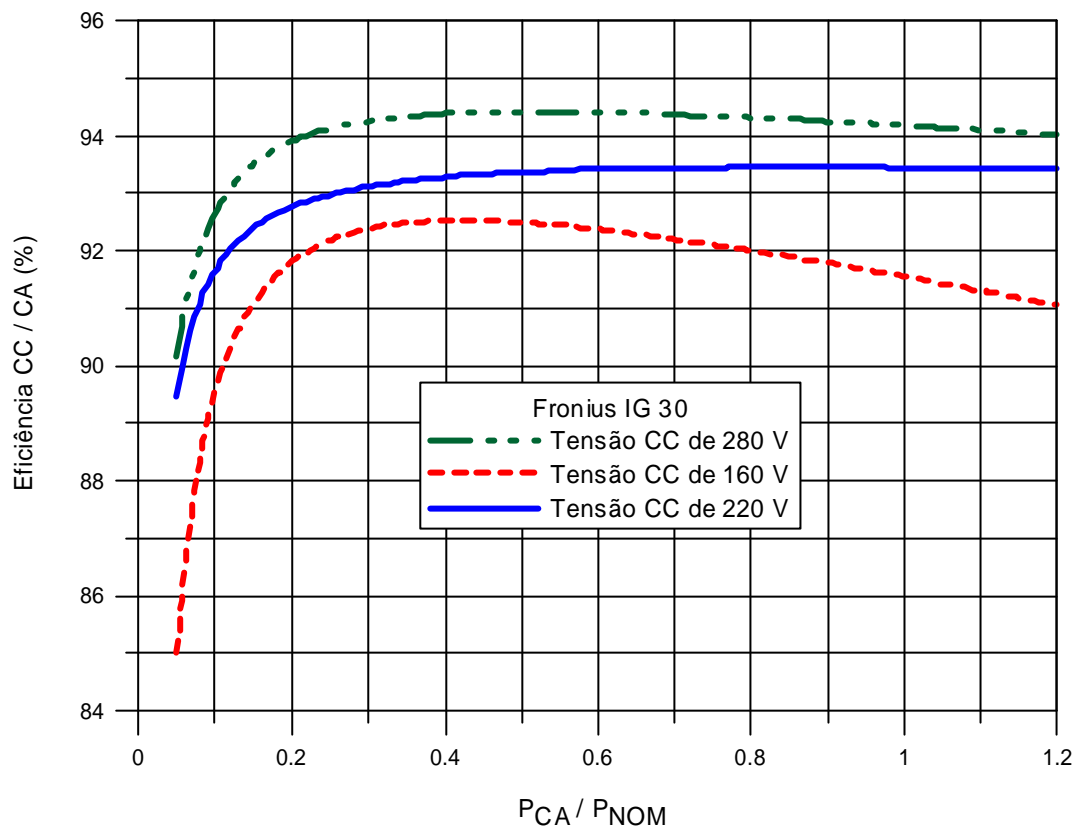


Figura 9 – Curva de eficiência de conversão CC/CA do inversor Fronius IG 30 em diferentes tensões CC de entrada.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou análise e resultados de ensaios elétricos de três inversores, utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, em diferentes tensões CC de entrada. Para comparação entre as medidas foram utilizadas ponderações médias de eficiência de conversão CC/CA e fator de potência. A eficiência de conversão do inversor da Ingeteam apresenta dependência com a tensão CC de entrada enquanto que o inversor da SMA não apresenta dependência significativa com a tensão. O fator de potência dos inversores ensaiados pode ser considerado independente da tensão CC para níveis de carregamento maiores que 30 %, apresentando apenas diferenças em níveis de carregamento de 5 %, 10 % e 20 %. Os inversores apresentam elevadas eficiências de conversão e elevados fatores de potência para níveis de carregamento maiores que 20 %.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

REFERÊNCIAS

- Cruz, I. C., 2009. Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energia Solar Fotovoltaica. Inversores Conectados a red y autónomos. v. 1, cap. 11, pp. 1611-1622.
- Dugan, R. C., 1996. Electrical Power System Quality. Mcgraw-Hill.
- Fronius, 2004. Manual de Instrução do Equipamento *Fronius*. Descrição Técnica do Fabricante.

Ingeteam Ingecon Sun, 2005. Manual de Instrução do Equipamento Ingeteam. Informação Técnica do Fabricante.
King, D. L.; Gonzalez, S.; Galbraith, G. M.; Boyson, W. E., 2007. Performance Model for Grid-Connected Photovoltaic Inverters. Sandia Report.
Photon Internacional, 2009. La Revista de Fotovoltaica, v. 7, julio.
Photon International, 2007. The Photovoltaic Magazine, v. 1, janeiro.
SMA Technologie AG, 2009. Manual de Instrução do Equipamento *Sunny Boy*. Descrição Técnica do Fabricante.

ANALYSIS OF GRID-CONNECTED PV INVERTERS CHARACTERISTICS AS FUNCTION OF THE INPUT VOLTAGE

Abstract. *The inverter is the equipment responsible for converting DC to AC electric power and for delivering to the grid high quality energy (high power factor and low harmonic distortion). The advances in power electronics conducted to an important increase in the DC/AC conversion efficiency. This efficiency depends on the fractional load of the inverter. However the DC input voltage also affects the inverters DC/AC conversion efficiency, though this fact is generally not regarded. This work presents the analysis of experimental tests of DC/AC conversion efficiency and power factor for three inverters. The inverters were tested with different DC input voltages. The behavior of the inverter in different voltages was compared through performance indexes obtained from weighting factors of efficiency and power factor. The influence of DC input voltage in the conversion efficiency and power factor of the inverters depends on the fractional load and design of the inverter.*

Key words: *Solar Energy, Grid Connected Photovoltaic Systems, Inverter, DC/AC Conversion Efficiency, Power Factor.*