



ESTUDO DE ESTABILIDADE E ANÁLISE DE TÉCNICAS DE CONTROLE DE CONVERSORES ELETRÔNICOS DE POTÊNCIA APLICADOS EM SISTEMAS DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA DE ENERGIA ELÉTRICA

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Ruppert Filho
(Prof. Titular da FEEC/UNICAMP)
e-mail: ruppert@fee.unicamp.br

Coorientador: Dr. Paulo Sergio Nascimento Filho
(Pesquisador da FEEC/UNICAMP)
e-mail: paulosnf@gmail.com.

Bolsista: Vitor de Oliveira Freire.
e-mail: v206961@dac.unicamp.br

RESUMO DE PESQUISA

Este projeto de iniciação científica é uma continuidade das atividades de pesquisa apresentadas no doutorado do coorientador Dr. Paulo Sergio Nascimento Filho, mostrada em [1]. Neste doutorado, orientado pelo orientador deste trabalho, o conversor de dois estágios conectado à rede elétrica mostrado na figura 1 foi implementado.

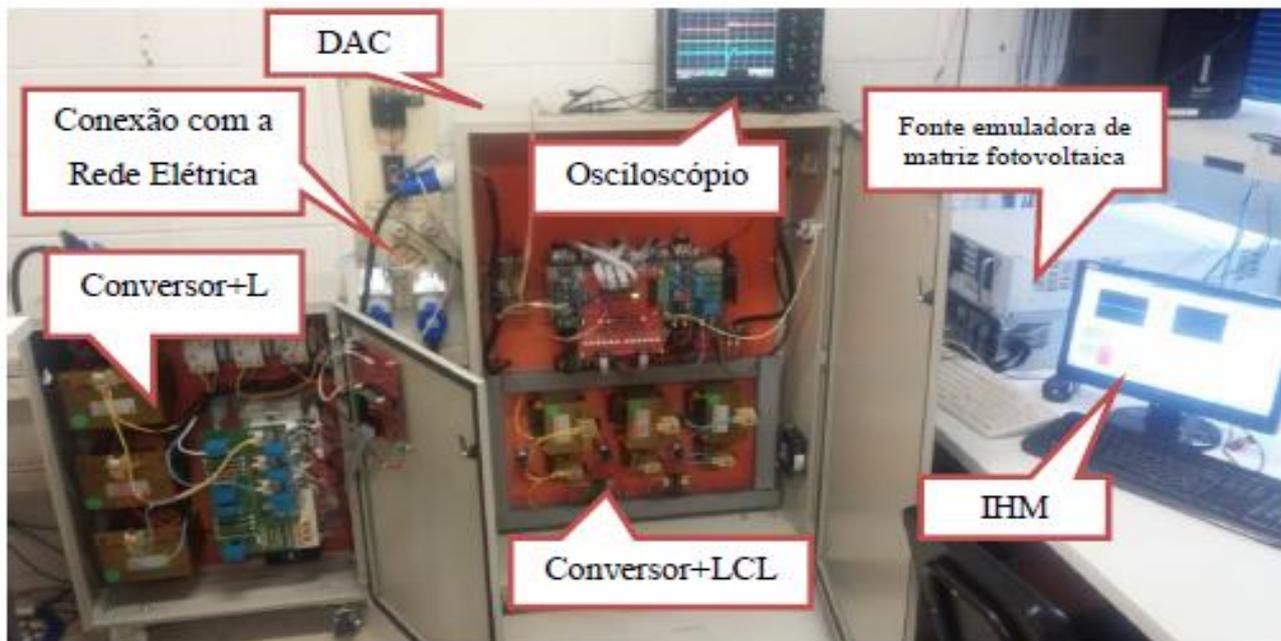


Figura 1 - Conversor fotovoltaico de dois estágios, adaptado de [1]

Com a iniciação científica, buscou-se dar continuidade aos estudos teóricos e experimentais sobre os sistemas de controle e da estabilidade aplicados em sistemas fotovoltaicos, com o objetivo de tornar o sistema mais robusto a variações ambientais. O conversor CC-CC é composto por um conversor buck isolado em ponte completa, como mostra a figura 2:

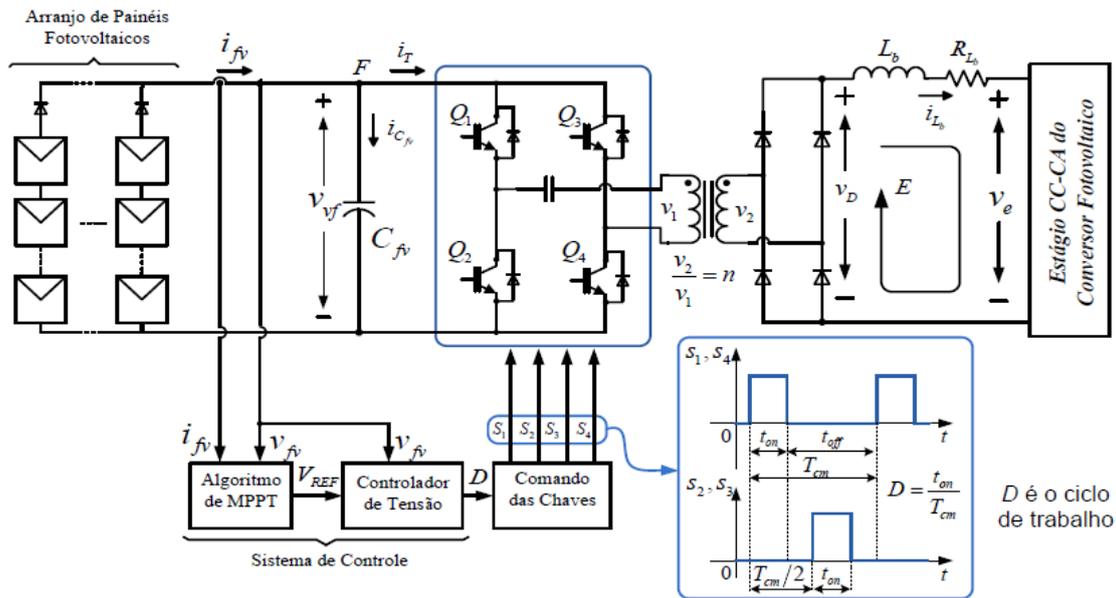


Figura 2 - Conversor buck isolado em ponte completa, utilizado como conversor CC-CC da pesquisa. Imagem adaptada de [1].

Para projetar um sistema de controle utilizando técnicas lineares que garanta que a tensão v_{fv} siga a referência V_{REF} , vê-se necessário a representação do conversor através de um modelo matemático linear [2], [3], [4], [5]. Porém, como apresentado em [1], este conversor possui uma dinâmica não linear. Contornamos este problema realizando a linearização de seu modelo em torno de um ponto de operação, obtendo assim um modelo para pequenos sinais cuja função de transferência resultante é:

$$G_b(s) = \frac{-\frac{2nI_{L_o}}{C_{fv}} \left[s + \left(\frac{R_{L_b}}{L_b} + \frac{2nV_{fv_o}}{L_b I_{L_o}} \right) \right]}{s^2 + \left(\frac{R_{L_b}}{L_b} + \frac{g}{C_{fv}} \right) s + \left(\frac{4n^2 D_o^2}{L_b C_{fv}} + \frac{g R_{L_b}}{L_b C_{fv}} \right)} \quad (1)$$

Observe, a partir da equação (1), que o modelo da planta $G_b(s)$ muda conforme o ponto de operação muda, visto que esta depende diretamente do ponto de operação, descrito pelas variáveis I_{L_o} , V_{fv_o} e D_o . Portanto, se um controlador é projetado de forma que certos requisitos de resposta transiente sejam atingidos para uma planta nominal, uma mudança do ponto de operação fará com que aqueles requisitos já não sejam mais atingidos. Disso, vemos a grande necessidade de se projetar um sistema de controle que seja robusto a estas variações.

Com relação à pesquisa feita em [1], um controlador do tipo PI foi projetado. Os resultados obtidos com ele foram extremamente satisfatórios, visto que este apresentou estabilidade robusta com relação a variações ambientais, porém baixa robustez com relação ao desempenho do sistema. Para contornar este problema, nesta pesquisa são propostos dois controladores para substituir o PI utilizado, sendo eles: alocação de polos por realimentação de estados e controlador de sensibilidade mixa H_∞ . O projeto do controle por alocação de polos é baseado no artigo apresentado em [6] e o

projeto de controle por sensibilidade mixa é baseado no artigo apresentado em [7]. Disso, os resultados obtidos com cada controlador projeto são mostrados nas figuras abaixo:

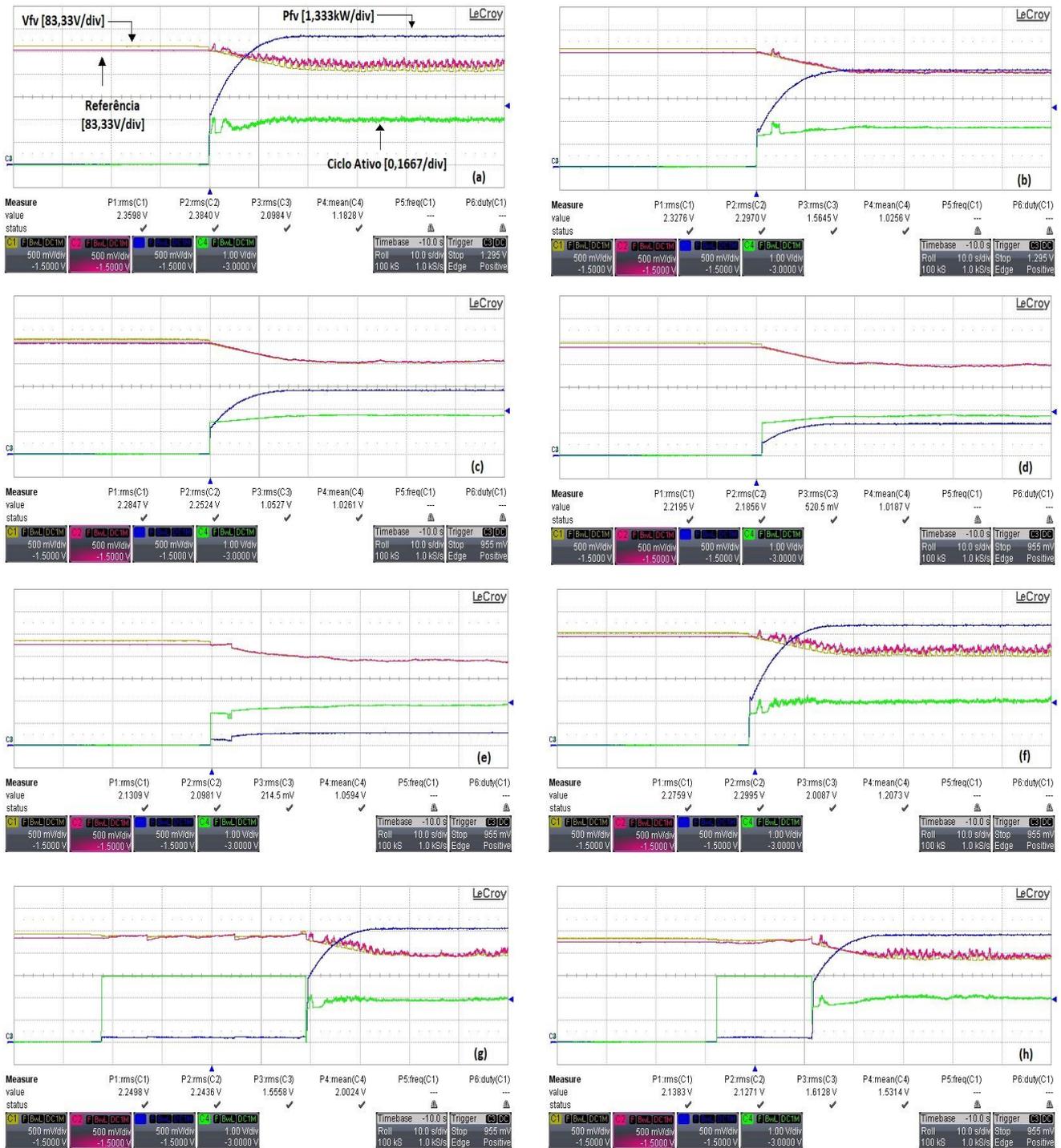


Figura 3 - Controle por realimentação de estados com: (a) até (e) irradiância variando de 1000W/m² até 100W/m² e temperatura em 298K, respectivamente e de (f) a (h) irradiância em 1000W/m² e temperatura aumentando de 308K até 328K, respectivamente.

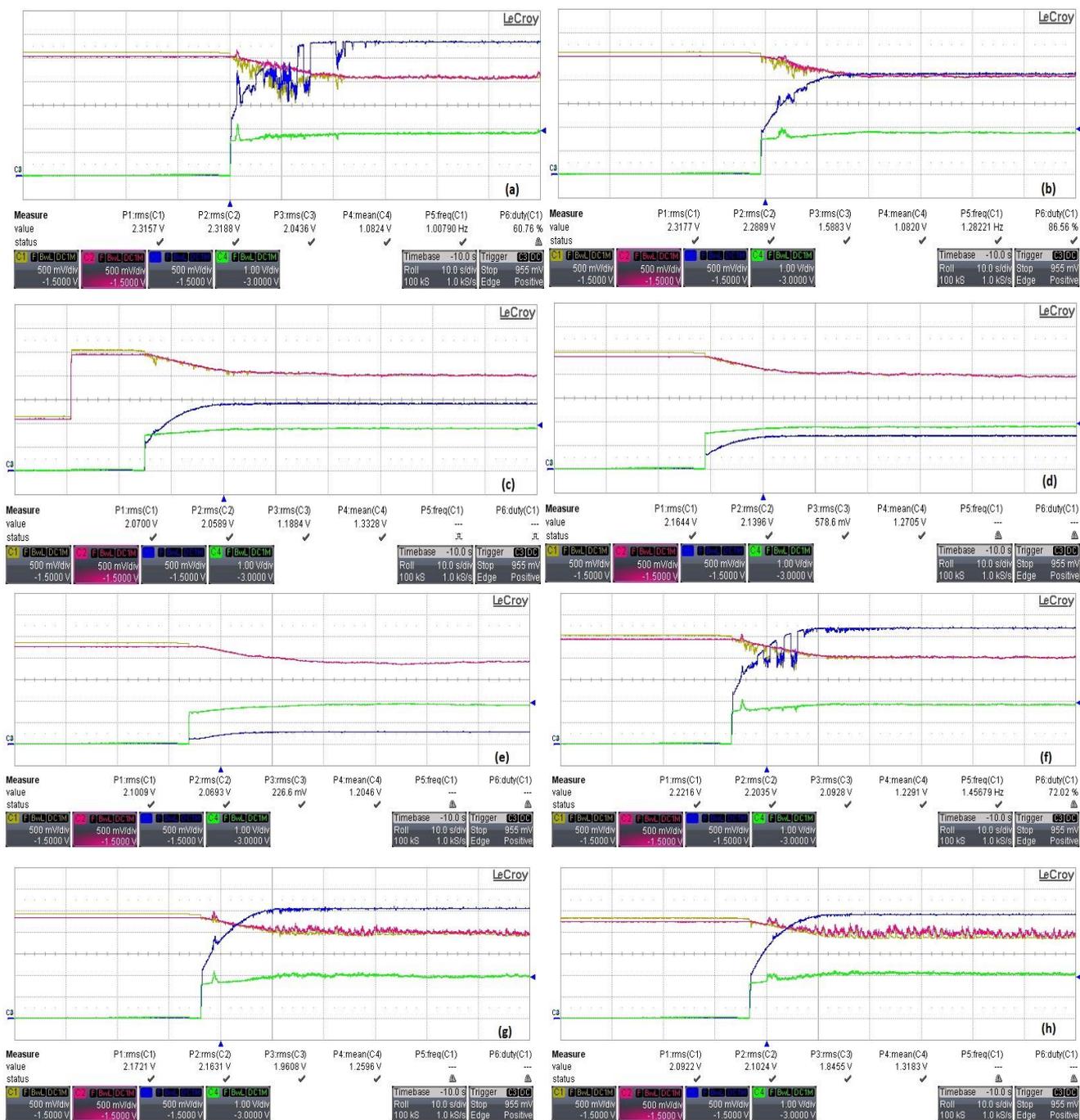


Figura 4 - Controle sensibilidade mixa com: (a) até (e) irradiância variando de 1000W/m² até 100W/m² e temperatura em 298K, respectivamente e de (f) a (h) irradiância em 1000W/m² e temperatura aumentando de 308K até 328K, respectivamente.

As figuras 3 e 4 mostram a tensão fotovoltaica na saída dos painéis fotovoltaicos seguindo a tensão de referência gerada pelo algoritmo de MPPT. Essas figuras confirmam os resultados teóricos obtidos e mostram que os objetivos iniciais de pesquisa foram alcançados, pois vemos que para diferentes condições de irradiância e temperatura, o sistema permanece estável e com um desempenho muito satisfatório, visto que os transientes são rápidos e praticamente inexistentes e que, em regime permanente, o sinal de potência na saída dos painéis fotovoltaicos é praticamente constante, isto é, possui pequenas oscilações em torno do MPP.

Referências

- [1] P. S. N. Filho, "MODELAGEM MATEMÁTICA DINÂMICA PARA PROJETO E ANÁLISE DE CONTROLE DE TENSÃO DO ELO CC DE UM CONVERSOR FOTOVOLTAICO TRIFÁSICO DE DOIS ESTÁGIOS CONECTADO À REDE ELÉTRICA ATRAVÉS DE FILTRO LCL," Tese de Doutorado, Campinas, 2017.
- [2] A. Yazdani e R. Iravani, *Voltage-Sourced Converters in Power Systems: modeling, control, and applications*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [3] S. Bacha, I. Munteanu e A. I. Bratcu, *Power Electronic Converters Modeling and Control with Case Studies*, London: Springer Verlag, 2014.
- [4] R. C. Dorf e R. H. Bishop, *Sistemas de Controle Modernos*, Rio de Janeiro: LTC, 2001.
- [5] O. Katsuhiko, *Engenharia de Controle Moderno*, São Paulo: Printice Hall, 2003.
- [6] D. A. Fernandes, M. K. Vieira, M. A. Vitorino, F. F. Costa e P. C. Ribeiro, "Modeling and state-space feedback control of a DC-DC converter for photovoltaic systems," *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, pp. 1119-1128, 2014.
- [7] J. You, H. Liu, B. Fu e X. Xiong, "H1 Mixed Sensitivity Control for a Three-Port Converter," *Energies*, vol. 12, p. 2231, 2019.