

DESENVOLVIMENTO DE UM SEGUIDOR MPPT PARA UM SISTEMA FV APLICADO A PLANTA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Doglasse Ernesto Mendonça – doglasmend@yahoo.com.br

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

Paulo Peixoto Praça – paulopp@dee.ufc.br

José Sigefredo Pinheiro Neto – sigefredo_nt@yahoo.com.br

José Itanor do Couto Rocha Filho – itanor@dee.ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Douglas Bressan Riffel – dbr.ufs@gmail.com

Universidade Federal do Sergipe, Departamento de Engenharia Mecânica

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento de um seguidor de ponto de potência máxima – MPPT (Maximum Power Point Tracking) aplicado uma planta de dessalinização de água salobra por osmose reversa (OR) alimentado por módulos fotovoltaicos (FV) com a válvula auto reguladora de pressão no concentrado. O objetivo principal é de extrair a máxima potência do módulo FV através de uma técnica de MPPT para alimentar uma motobomba de água responsável por pressurizar água para as membranas de OR e fazer o auto controle de pressão através da válvula auto reguladora de pressão no concentrado. Portanto foi desenvolvido um conversor abaixador de corrente contínua (CC-CC) do tipo Buck, usando a técnica Condutância Incremental (CondInc). A técnica de MPPT foi simulada, testada e validada, apresentou uma eficiência média de 86,8% no seguimento do ponto de potência máxima. A viabilidade técnica da planta de OR foi verificada para dois níveis de salinidade (1000 e 1500 mg/L de STD - Sólidos Totais Dissolvidos) e o uso da válvula auto reguladora de pressão. Estes níveis de concentração de sal são geralmente encontrados em poços com água salobra das regiões semiáridas do Nordeste do Brasil e noutros casos podendo chegar aos 3000 mg/L de STD. Foi acionada a planta no dia 01/12/2015 com água de entrada de 1561 mg/L de STD e a produção foi de 179,24 L/dia com consumo específico de 2,52 kWh/m³ e no dia 02/12/2015, a concentração foi de 1095 mg de STD e a produção foi de 171,37 L/dia com consumo específico de 2,60 kWh/m³.

Palavras-chave: Osmose Reversa, Seguidor do Ponto de Potência Máxima, Módulo Fotovoltaico

1. INTRODUÇÃO

A demanda global de água potável aumenta continuamente devido ao crescimento populacional e desenvolvimento econômico. Ao mesmo tempo, sabe-se que a sua disponibilidade na natureza tem sido insuficiente para atender à demanda requerida em muitas regiões do planeta, fenômeno que vem se agravando crescentemente.

Segundo estudo publicado pela Organização das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, estima-se que até 2030 a crise de água piorará em todo mundo e prevê que haverá menos de 40% de água do que o necessário para o consumo e o mundo ampliará as fatias da população vivendo sob “estresse de água”(UNESCO, 2015).

Esta expectativa faz necessário para humanidade a procura de novas formas e alternativas de garantir o fornecimento confiável de água potável. Assim, a dessalinização da água do mar e salobra aparece como uma opção viável para lidar com a escassez de água e garantir um fornecimento confiável de água potável.

A dessalinização é um processo que consiste na remoção de sal da água para produzir água doce. A água doce é definida pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1970) como sendo água contendo menos do que 500 mg/L de STD. Existem várias tecnologias de dessalinização, entretanto a dessalinização por OR é a mais difundida e é a que mais cresce atualmente, ocupando cerca de 65% de capacidade instalada mundial (Burn *et al.*, 2015).

O processo de OR consiste, em aplicar uma pressão dinâmica para vencer uma pressão osmótica sobre uma solução de sal, conhecida também como água de alimentação, através de membranas selectivas que retêm a maioria dos sais e microrganismos e deixa passar a água com menos sais (Greenlee *et al.*, 2009).

No entanto, o processo de dessalinização por OR necessita de muita energia durante o processo, cerca de 30 a 50% do custo de operação da planta, o que faz com o preço da água dessalinizada seja ainda caro (Al-Karaghoul, Renne, e Kazmerski, 2010; Burn *et al.*, 2015). Para reduzir este custo e tornar o sistema viável e sustentável, o acoplamento de fontes de energia alternativas (renováveis) com plantas de dessalinização por OR tem tido maior interesse e maior desenvolvimento. Normalmente para plantas pequenas e médias (menor que 10 m³/dia), são alimentadas por energia solar fotovoltaica, chegando a ocupar cerca de 70%, do mercado e a OR com cerca de 65% do mercado de dessalinização por energia renovável (Burn *et al.*, 2015). Por outro lado, os módulos FV que são responsáveis pela conversão da energia do sol em energia elétrica apresentam baixa eficiência. Para melhorar a eficiência na conversão desta fonte de energia e alimentar a planta de OR, foi desenvolvido um conversor Buck controlado por um algoritmo de

MPPT. O conversor atua como uma interface eletrônica entre a motobomba responsável por pressurizar água para as membranas de OR e módulo FV.

A avaliação técnica da combinação da unidade de potência desenvolvida com a planta de OR foi realizada pelo processamento dos diferentes parâmetros coletados por um sistema de aquisição de dados baseado no CLP (controlador lógico programável) instalado no Laboratório de Energias Alternativas – LEA (Neto, Carvalho, e Oliveira, 2012).

2. DESCRIÇÃO DA PLANTA DE DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE REVERSA

Os principais elementos da unidade de dessalinização por OR podem ser vistos na Fig. 1, cuja constituição contempla quatro tanques, sendo: tanque (1) para simular o poço com água salobra, tanque (2) caixa para armazenar a água bombeada do poço, tanque (3) para armazenar a água potável e o tanque (4) para armazenar o concentrado; (5) sistema de pré-tratamento de água composta de três filtros: sedimento, carvão e de resina respectivamente; (6) duas membranas de OR do tipo TW30-1812-100 associadas em paralelo; (7) válvula de controle de pressão de ação de direta, do modelo PRV (do inglês “*Pressure Relief Valve*”) Bermad no fluxo do concentrado, com a função de regular a variabilidade de pressão na motobomba 11, proveniente da variação da irradiância; (8) válvula manual para sustentar o intervalo auto ajuste de pressão da válvula 7; (9) sensores de pressão; (10) sensores de vazão; (11) M2-motobomba solar do modelo SHURFLO 8000-443-136, 3 diafragmas, deslocamento positivo ($U = 12\text{ V}$, $I = 7,2\text{ A}$, $P = 84\text{ W}$, pressão = 60 psi); (12) M1-motobomba solar do modelo SHURFLO 2088-443-144, 3 diafragmas, deslocamento positivo ($U = 12\text{ V}$, $I = 10\text{ A}$, $P = 120\text{ W}$, pressão = 45 psi); (13) Válvulas manuais (permanecem fechadas durante o funcionamento e só são abertas para lavagem dos tanques); (14) Válvulas manuais (estas são operadas quando os tanques do concentrado e de água potável ficam cheios, retornando no tanque que simula o poço com água salobra, reiniciando o processo).

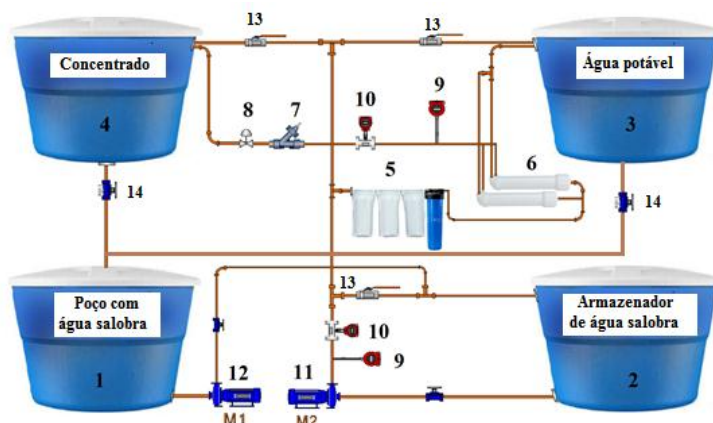


Figura 1 – Planta de dessalinização por OR

3. SISTEMA FOTOVOLTAICO DA PLANTA OR

O sistema fotovoltaico da planta de dessalinização por OR (ORFV), foi desenvolvido de acordo com o diagrama em blocos da Fig. 2, e é constituída por um módulo FV de 160W, uma unidade de condicionamento potência através do conversor do tipo *Buck* de 160 W (*CC-CC Buck*), que foi desenvolvido especialmente para esta experiência, dois sensores de corrente de efeito hall ACS712, dois sensores de tensão do tipo divisor resistivo ($R_1 = 180\text{ k}\Omega$, $R_2 = 18\text{ k}\Omega$ e $R_3 = 87\text{ k}\Omega$, $R_4 = 27\text{ k}\Omega$), um *driver* para condicionamento do sinal, um microcontrolador PIC18F2550, responsável pelo seguimento do ponto de máxima potência, uma bomba de água solar (M), um capacitor ($C_e = 4 \times 470\text{ }\mu\text{F}$) na entrada, um capacitor ($C = 2 \times 470\text{ }\mu\text{F}$) na saída, indutor ($L = 320\text{ }\mu\text{H}$), um mosfet (CH - IIRFP064N), diodo (D - MBR1535CT); I_{ref} , V_{ref} , V_{ref1} são as correntes e tensões de referência.

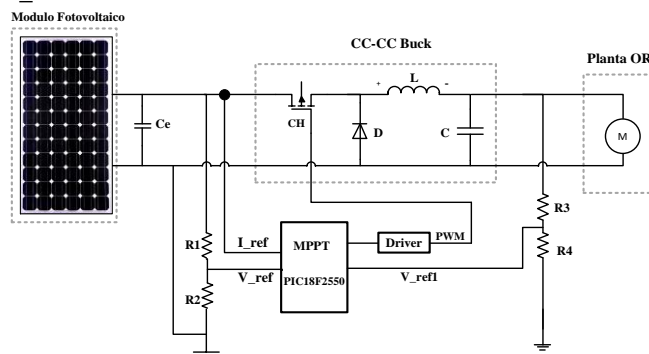


Figura 2 – Diagrama em blocos do sistema fotovoltaico

3.1 MPPT para sistemas fotovoltaico

Um sistema FV autônomo exige maximização no aproveitamento da energia solar, visando aumentar a eficiência do sistema. Para reduzir os custos da eletricidade gerada e aproveitar o máximo do recurso solar mesmo para baixas irradiância é necessário garantir que o sistema opere o maior tempo possível sobre o ponto de máxima potência dos painéis FV. Porém, devido às características elétricas dos módulos FV este ponto é variável e fortemente dependente das condições atmosféricas e da carga a usar (Taghvaei *et al.*, 2013). Para garantir que a carga esteja sempre no ponto de máxima potência da saída do módulo FV, mesmo com variações meteorológicas e variações da resistência de carga, a utilização de uma técnica que procure continuamente o ponto de máxima potência deve ser utilizada. Essas técnicas são conhecidas por MPPT e podem incrementar a eletricidade produzida entre 15 e 30% (Carvalho, 2012). Aqui foi usada a técnica de condutância incremental (*CondInc*), por apresentar como uma melhor eficiência e vantagens no regime estacionário como relata o estado da arte dos MPPT (Bhatnagar e Nema, 2013). O fluxograma para implantação do algoritmo para a execução do método *CondInc* é apresentado na Fig. 3.

Neste método promovem-se variações no ponto de operação por meio do ciclo de trabalho D , na reta de carga.

Essa variação consiste em variar o ângulo da inclinação da reta de carga (R_{carga} - resultante da intersecção entre a carga e curva $I \times V$ do módulo FV), porém a decisão do passo a ser dado (aumento ou decréscimo do ângulo) é tomada pela variação da potência em relação a tensão. Esta operação é feita pela leitura do valor da tensão e corrente do módulo FV pelos sensores, calcula-se então a potência actual segundo a Eq. (1) e derivando a potência em relação a tensão chega-se a Eq. (2), Fundamental para tomada de decisão em relação a posição do ponto de máxima potência (Coelho, 2008).

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d}{dV} [V \cdot I] = I + V \cdot \frac{dI}{dV} = I + V \cdot \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2)$$

Em que I e V representam os estados atuais da tensão e corrente, e discretamente, são representados aqui por $I(n)$ e $V(n)$. Por outro lado, ΔI e ΔV representam a diferença entre o estado atual e anterior da tensão e corrente, como segue na Eq. (3) e Eq. (4):

$$\Delta I = I(n) - I(n - 1) \quad (3)$$

$$\Delta V = V(n) - V(n - 1) \quad (4)$$

Considerando a condição matemática a potência será máxima no ponto se a derivada da variação da potência em relação a tensão seja nula, Eq. (5) e Eq. (6):

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} + \frac{I(n)}{V(n)} = 0 \quad (6)$$

A Eq. (6) é usada como condição que representa a operação do sistema no ponto de máxima potência.

O passo ΔD , fica definido pela Eq. (7):

$$\Delta D = k_{inc} \cdot \left| \frac{dP}{dV} \right| \quad (7)$$

A constante k_{inc} é ganho que se determina estipulando o máximo passo permitido, ΔD_{max} , que ocorrerá nas medições da tensão de circuito aberto do módulo FV.

O código fonte foi desenvolvido na linguagem de programação C, usando o compilador PIC C *compiler*. O código foi simulado usando “C Block” do *software* PSIM e posteriormente implementado no conversor.

Para proteção da motobomba, uma vez que o conversor usado foi dimensionado para 160 W em função da potência do módulo FV, o código foi limitado de maneira que quando a tensão de saída estiver a acima de 12 V o código não faz o rastreamento do MPP e o conversor opera normalmente (PWM – *Pulse Width Modulation* constante). Abaixo disso o código o circuito de controle usa o MPPT.

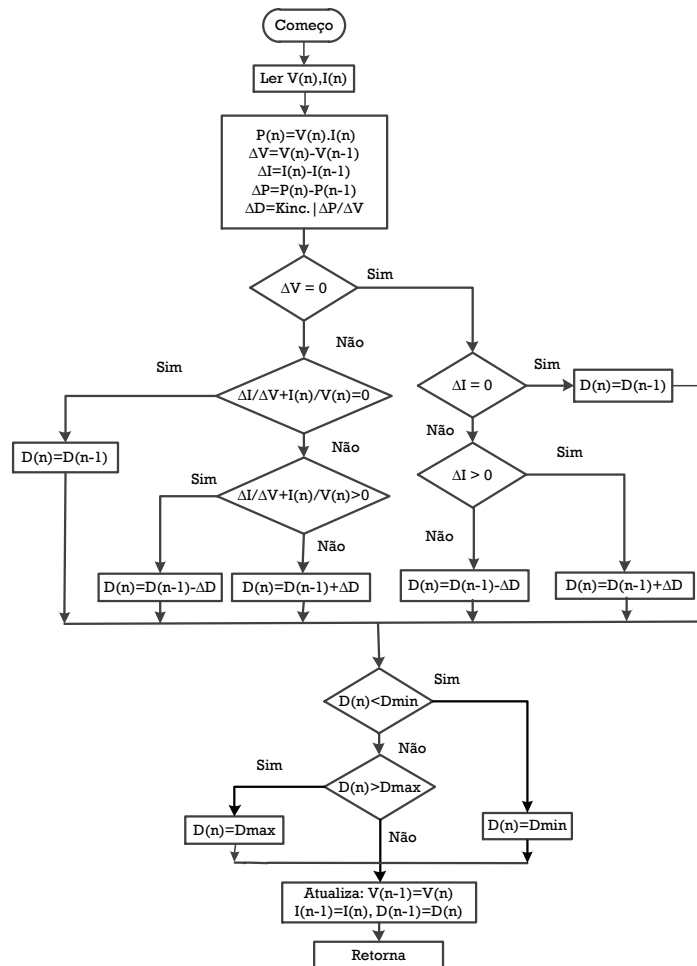


Figura 3. Fluxograma do método *CondInc*

3.2 Especificações e considerações do projeto da unidade de potência

A unidade de potência desenvolvida para fornecer eletricidade a planta de OR, foi dimensionada tendo em conta as especificações e considerações encontradas na Tab. 1.

Tabela 1 - Especificações e considerações do projeto da unidade de potência e do Módulo FV para as condições de irradiância 1000 W/m², temperatura 298,15 K e espectro AM 1,5.

| | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Potência máxima do módulo FV | $P_{mp}^{ref} = 160 \text{ W}$ |
| Tensão no ponto de máxima potência | $V_{mp}^{ref} = 35,25 \text{ V}$ |
| Corrente no ponto de máxima potência | $I_{mp}^{ref} = 4,54 \text{ A}$ |
| Tensão média na carga | $V_{carga} = 12 \text{ V}$ |
| Frequência de chaveamento | $f_c = 20 \text{ kHz}$ |
| Ondulação máxima de tensão na carga | $\Delta V_{\%carga} = 10\%$ |
| Ondulação máxima de corrente na carga | $\Delta I_{\%carga} = 10\%$ |

Tendo as especificações da Tab. 1 e as relações dos ganhos de tensão e corrente para o conversor *Buck* fornecidas pelas Eq. (8) e Eq. (9) (Daniel W.Hart , 2011) :

$$V_{carga} = D \cdot V_{painel} \tag{8}$$

$$\frac{I_{carga}}{I_{painel}} = \frac{1}{D} \tag{9}$$

E combinando as Eq. (8) e (9) através de substituições relacionais, chega-se a Eq. (10), que mostra como o conversor consegue deixar a reta de carga no ponto de máxima potência variando a razão cíclica (D).

$$R_{ei}(D, R_{carga}) = \frac{R_{carga}}{D^2} \quad (10)$$

Como a potência transferida pelo módulo FV varia com a irradiância e temperatura, a sua impedância interna e tensão também varia. Então o máximo entregue a carga segue o teorema de Thevenine, ajustando a carga para obter o máximo de transferência, por isso temos ambas resistências variando para se tornarem iguais a cada variação atmosférica para que ocorra a máxima transferência de potência, sendo que isto só ocorre quando a resistência do módulo fica igual à da carga como na Eq. (11).

$$R_{inFV} = R_{carga} \quad (11)$$

Sendo:

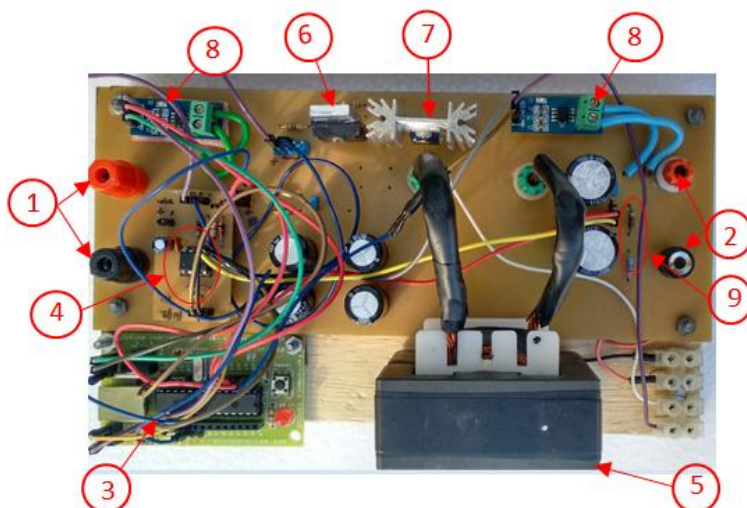
R_{inFV} resistência interna do módulo FV.

$R_{ei}(D, R_{carga})$ é a resistência

4. IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

4.1 O conversor *Buck* desenvolvido

O protótipo da unidade de potência desenvolvida é mostrado na Fig. 4, um conversor CC-*Buck*, utilizando MPPT que envia pulsos modulados (PWM – *Pulse Width Modulation*) à chave MOSFET. O protótipo foi desenvolvido no laboratório do Grupo de Processamento e Controle (GPEC) no Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará (DEE-UFC), e posteriormente foi acoplado à planta de dessalinização no Laboratório de Energias Alternativas (LEA) da UFC.



Legenda: 1 – Entrada de tensão do módulo FV; 2 – saída de tensão para a bomba solar; 3 – Microcontrolador PIC 18F2025; 4 – *Driver*; 5 – Indutor; 6 – MOSFET; 7 – Diodo; 8 – Sensores de corrente; 9 – Divisor resistivo.

Figura 4 – Protótipo da unidade de potência desenvolvida

4.2 O módulo Fotovoltaico

O módulo FV, do Modelo Azur TSM 160 W (Antes, 2009), está instalado sobre o telhado do LEA, num ângulo de aproximadamente 15° voltados para o Norte geográfico, conforme Fig. 5.



Figura 5 – Módulo FV usado.

4.3 A planta de dessalinização por OR

A planta de dessalinização usada, apresentada na Fig. 6, dispõe de quatro tanques em fibra de vidro, todos de 310 litros, sendo um para simular o poço com água salobra, outro para armazenar a água salobra bombeada do poço, um terceiro para guardar fluido permeado e o quarto para armazenar o concentrado gerado. Por razões ambientais os tanques estão interligados num sistema fechado, ou seja, os fluxos de permeado e de concentrado retornam ao tanque “poço”.



Figura 6 – Planta de dessalinização experimental.

5. RESULTADOS

O método *CondInc* foi validado usando uma carga puramente resistiva composta de três lâmpadas dicróicas de 50 W/ 12 V, conectadas em paralelo, cuja resistência efetiva se aproximou de $R_{carga} = 0,9 \Omega$.

Foi usado um traçador modelo Mini-KLA para obtenção dos parâmetros elétricos do módulo para diferentes níveis de irradiância e temperatura ambiente. Foi conectado o conversor com o MPPT e a carga e foram registrados os valores de tensão e corrente para diferentes níveis de irradiância. Na Tab. 2 foram registrados os valores dos parâmetros elétricos do módulo FV e potências medidas para diferentes níveis de irradiância em intervalos de irradiância semelhantes para obtenção dos resultados, temperatura ambiente e a eficiência do MPPT adoptado, calculada pela Eq. (12) (Ben Salah e Ouali, 2011):

$$Eficiência = \left(1 - \frac{P_{max}Medida - P_{max}Estimada}{P_{max}Medida} \right) \times 100 \quad (12)$$

Sendo:

$P_{max} Medida$ – A potência máxima do módulo medida com o instrumento Mini-KLA

$P_{max} Estimada$ – A potência obtida na saída do conversor

Tabela 2 – Parâmetros elétricos do módulo FV e potências medidas para diferentes níveis de irradiância, temperatura ambiente e eficiência do MPPT – 11/09/2015 e 16/09/2015

| Medida | Irradiância (W/m ²) | Temp. (K) | Características elétricas do módulo FV | | | MPPT | Eficiência (%) |
|------------------|---------------------------------|-----------|--|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|
| | | | I _{MP} (A) | V _{MP} (V) | P _{MP} (W) | <i>CondInc</i> (W) | <i>CondInc</i> |
| 1 | [230 - 300] | 308,75 | 1,06 | 31,44 | 33,31 | 30,99 | 93,0 |
| 2 | [308 - 390] | 320,05 | 1,38 | 31,15 | 43,03 | 41,74 | 97,0 |
| 3 | [402 - 500] | 320,65 | 1,82 | 30,64 | 55,79 | 43,24 | 77,5 |
| 4 | [550 - 600] | 332,85 | 2,6 | 29,93 | 77,84 | 67,02 | 86,1 |
| 5 | [670 - 700] | 340,05 | 2,71 | 29,23 | 79,402 | 75,31 | 94,8 |
| 6 | [700 - 820] | 341,65 | 3,36 | 27,44 | 95,59 | 79,42 | 83,1 |
| 7 | [865 - 910] | 341,95 | 3,92 | 27,9 | 109,47 | 88,68 | 81,0 |
| 8 | [985 - 1000] | 342,25 | 4,13 | 27,95 | 115,34 | 96,64 | 83,8 |
| 9 | [1015 - 1050] | 342,45 | 4,59 | 27,09 | 124,32 | 105,67 | 85,0 |
| Eficiência média | | | | | | | 86,8 |

Os resultados da validação do algoritmo escolhido e as potências máximas de referência do módulo são apresentados na Fig. 7, e a eficiência média do método do algoritmo desenvolvido foi de 86,8%.

Podendo se observar a vantagem do uso de MPPT para melhoria da eficiência na conversão energética, de maneira que mesmo para valores baixos de irradiância, o sistema já consegue suprir energia a carga deixando próximo do ponto de potência máxima para diferentes condições atmosféricas e diferentes tipos de carga. Com este sistema aumentamos a disponibilidade para uso da planta e podendo ainda dessalinizar nos dias de baixa irradiância.

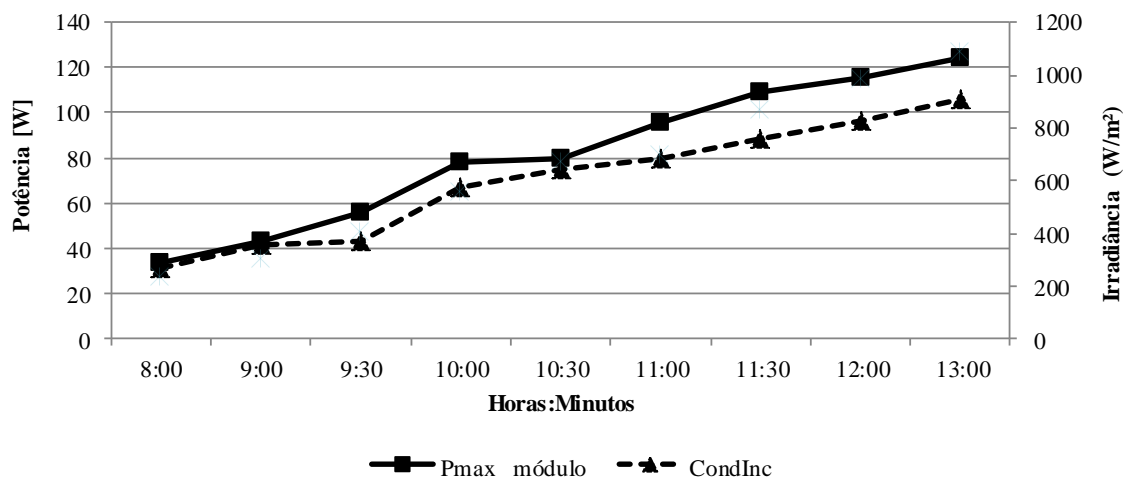


Figura 7 - Potencias máximas de referência do módulo FV e do método CondInc 16/09/2015

Em seguida, foi conectado o sistema fotovoltaico à planta de dessalinização e testada a dessalinização para dois níveis de concentração de sal de aproximadamente 1095 e 1561 mg/L de STD. Estes níveis de sal são os que se encontram na grande parte dos poços com água salobra das regiões semi-áridas, em especial na região Nordeste do Brasil (P. C. M. Carvalho, Carvalho, Filho, & Oliveira, 2013; Riffel & Carvalho, 2009; PRODEEM, MME, CPRM, 2003) A variação dos dois níveis de sal foi feita através da adição de cloreto de sódio NaCl (sal de cozinha) no tanque do poço. Os testes na planta foram efetuados em dois dias claros (29/09/2015 e 30/09/2015). Os resultados obtidos para os dois níveis de concentração salina adotados estão resumidos na Tab. 3 e foram testados no dia 01/12/2015 e 02/12/2015.

Tabela 3 - Resultados para concentração de aproximadamente (1095 e 1561) mg/L de STD.

| Datas | 01/12/2015 | 02/12/2015 |
|---|------------|------------|
| Salinidade média da água de entrada (mg/L) de STD | 1561 | 1095 |
| Salinidade média da água potável (mg/L) de STD | 143 | 98 |
| Produção de água potável (L/dia) | 179,24 | 171,37 |
| Consumo específico médio (kWh/m ³) | 2,52 | 2,60 |
| Pressão média de entrada (kPa) | 325,01 | 319,91 |
| Tempo médio de operação (h/dia) | 9,26 | 9 |
| Temperatura da água (K) | 28,9 | 27,5 |
| Taxa média de recuperação | 8,62 | 7,66 |
| Irradiação média diária (kWh/m ²) | 5,96 | 5,69 |

6. CONCLUSÃO

Maximizar o aproveitamento da energia solar tornou-se um tema muito importante para redução de custos e melhoria de eficiência em sistemas alimentados por este tipo de fonte de energia. Uma forma de maximizar a geração fotovoltaica é usando e os conversores CC-CC controlados por algoritmos MPPT. Aqui desenvolveu-se um conversor abaixador do tipo *Buck* controlado pelo algoritmo *CondInc*. O algoritmo escolhido apresentou uma eficiência de 86,8% no seguimento de ponto de potência máxima.

A viabilidade técnica da planta de OR, foi testada com dois níveis de concentração salina (1095 e 1561) mg/L de STD. No dia 01/12/2015, para água de entrada com 1561 mg/L de STD, conseguiu-se uma produção de 179,24 L/dia com um consumo específico de 2,52 kWh/m³ e no dia 02/12/2015 para nível de salinidade e 1095 mg/L de STD, a produção foi de 171,37 L/dia com um consumo específico de 2,60 kWh/m³.

A melhoria conseguida aqui com o a configuração da planta usando uma válvula auto reguladora de pressão na linha do concentrado pode contribuir para viabilidade técnica deste tipo de sistema de dessalinização.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pela bolsa concedida para frequentar o mestrado. Agradece também à FAPITEC/SE (Fundação de apoio à pesquisa e à inovação Tecnológica do estado de Sergipe) pelo suporte financeiro dos componentes usados na planta OR e também agradece ao grupo de pesquisa do LEA (Laboratório de Energias Alternativas).

REFERÊNCIAS

- Al-Karaghoul, A., Renne, D., & Kazmerski, L. L. (2010). Technical and economic assessment of photovoltaic-driven desalination systems. *Renewable Energy*, 2009.
- Antes, G. (2009). Technische Daten, 34–35.
- Ben Salah, C., & Ouali, M. (2011). Comparison of fuzzy logic and neural network in maximum power point tracker for PV systems. *Electric Power Systems Research*, 81(1), 43–50. <http://doi.org/10.1016/j.epsr.2010.07.005>
- Bhatnagar, P., & Nema, R. K. (2013). Maximum power point tracking control techniques: State-of-the-art in photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 224–241..2013.
- Burn, S., Hoang, M., Zarzo, D., Olewniak, F., Campos, E., Bolto, B., & Barron, O. (2015) Desalination techniques — A review of the opportunities for desalination in agriculture. *Desalination*, 2015.
- Carvalho, E. D. P. (2012). Uma nova abordagem de rastreamento do ponto de máxima potência em painéis fotovoltaicos, 1 – 135.
- Carvalho, P. C. M., Carvalho, L. A. D., Filho, J. J. H., & Oliveira, R. S. H. (2013). Feasibility study of photovoltaic powered reverse osmosis and pumping plant configurations, (January). <http://doi.org/10.1049/iet-rpg.2012.0228>
- COELHO, R. F. (2008). *Estudo dos Conversores Buck E Boost Aplicados ao Rastreamento de Máxima Potência de Sistemas Solares Fotovoltaicos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Daniel W.Hart. (2011). *Power Electronics*.
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348.2009
- Neto, J. S. P., Carvalho, P. C. M., & Oliveira, R. S. H. (2012). Sistema de Automação, Controle e Aquisição de Dados, IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino Americana - SP..
- PRODEEM, MME, CPRM, A. (2003). *PROJETO CADASTRO DA INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA DO NORDESTE*.
- Riffel, D. B., & Carvalho, P. C. M. (2009). Small-scale photovoltaic-powered reverse osmosis plant without batteries: Design and simulation. *DES*, 247(1-3), 378–389. <http://doi.org/10.1016/j.desal.2008.07.019>
- Taghvaei, M. H., Radzi, M. a. M., Moosavain, S. M., Hizam, H., & Hamiruce Marhaban, M. (2013). A current and future study on non-isolated DC–DC converters for photovoltaic applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012.
- UNESCO. (2015). *Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 4*.

TECHNICAL FEASIBILITY OF A PV POWERED REVERSE OSMOSIS PLANT WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING

Abstract. This paper presents the development of a photovoltaic power unit with maximum power point tracker (MPPT) technique applied to a brackish water desalination plant via Reverse Osmosis (RO) using an auto Pressure Relief Valve in the concentrate. The aim is to extract the maximum power from the PV module using a MPPT technique for powering a solar water pump to pressurize water for RO membranes and auto regulate the pressure using a pressure relief valve. A step-down Buck type converter using the Incremental Conductance (InCond) MPPT technique was developed for this application. The MPPT was simulated, tested and validated, showed an efficiency of 86.8% in tracking maximum power. The technical feasibility of the RO plant, was tested for two salinity levels (1000 and 1500 mg/L TDS - Total Dissolved Solids). These two levels of salt concentration chosen are commonly found in most brackish water wells of semi-arid regions of northeastern Brazil and in other cases reaching up to 3000 mg of TDS. It was tested in 01/12/2015 with feed water about 1561 mg of TDS and it could permeate, 179.24 L/day with specific consumption of 2.52 kWh/m³ and day 02/12/2015 the feed water concentration was 1095 mg of TDS, the production was 171.37 L/day with specific consumption of 2.60 kWh/m³.

Key words: Reverse Osmosis, Maximum Power Point Tracker, and Photovoltaic Module.