UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ELETRICIDADE

DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE UM SISTEMA DE BATERIA DE FLUXO REDOX DE VANÁDIO PARA MICRORREDES

Aluna: Iasmim Andrade Almeida

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Ronald Saavedra

ROTEIRO

1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA
2. SOLUÇÃO PROPOSTA
3. APLICAÇÃO
4. CONCLUSÕES

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Definição do problema:

Dimensionar de maneira ótima um sistema de armazenamento de energia baseado em baterias de fluxo redox de vanádio para uma microrrede com geração fotovoltaica e térmica a diesel.

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Função objetivo: (Problema de Otimização)

$$\boxed{Min\ TC = TCPD + OC - TB}$$

Em que:

- *TC= Custo Total por dia do sistema;*
- *TCPD = Custo Fixo Total por dia;*
- *OC = Custo Total de Operação do sistema por dia;*
- *TB= Benefício da venda da energia excedente.*

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Restrições:

1) Balanço de potência:

$$\sum_{i=1}^{n} P_{DG,k}^{i} + P_{VRB,k} + P_{PV,k} = P_{LOAD,k}$$

2) Suprimento da carga primária/prioritária:

$$SOC_{VRB,k} \cdot E_{VRB} \geq E_{RES}$$

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Restrições:

3) Limites do estado de carga da bateria:

$$SOC_{VRB}^{min} \leq SOC_{VRB,k} \leq SOC_{VRB}^{max}$$

4) Taxa de carregamento limitada pela potência absorvida pela bateria:

$$P_{VRB,k} \leq P_{ab,k}$$

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Restrições:

5) Carregamento da bateria apenas pela fonte fotovoltaica:

$$P_{VRB,k} \geq 0 \;\; se \;\; P_{DG,k} > 0$$

6) Limites operacionais dos geradores a diesel:

$$P^{i}_{DG,min} \leq P^{i}_{DG,k} \leq P^{i}_{DG,max}$$

FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Restrições:

7) Tempos limites *on/off* dos geradores a diesel:

$$T_{DG,k}^{UP,i} \geq T_{DG}^{UPmin,i}$$

$$T_{DG,k}^{DOWN,i} \geq T_{DG}^{DOWNmin,i}$$

SOLUÇÃO PROPOSTA

Aproximações:

- Custo fixo total por dia (é dado em função da potência e energia do sistema VRB;
- O problema do custo do sistema pode ser modelado como *min (OC – TB);*
- A análise deve ser feita em todo o domínio de potência e energia do sistema VRB.

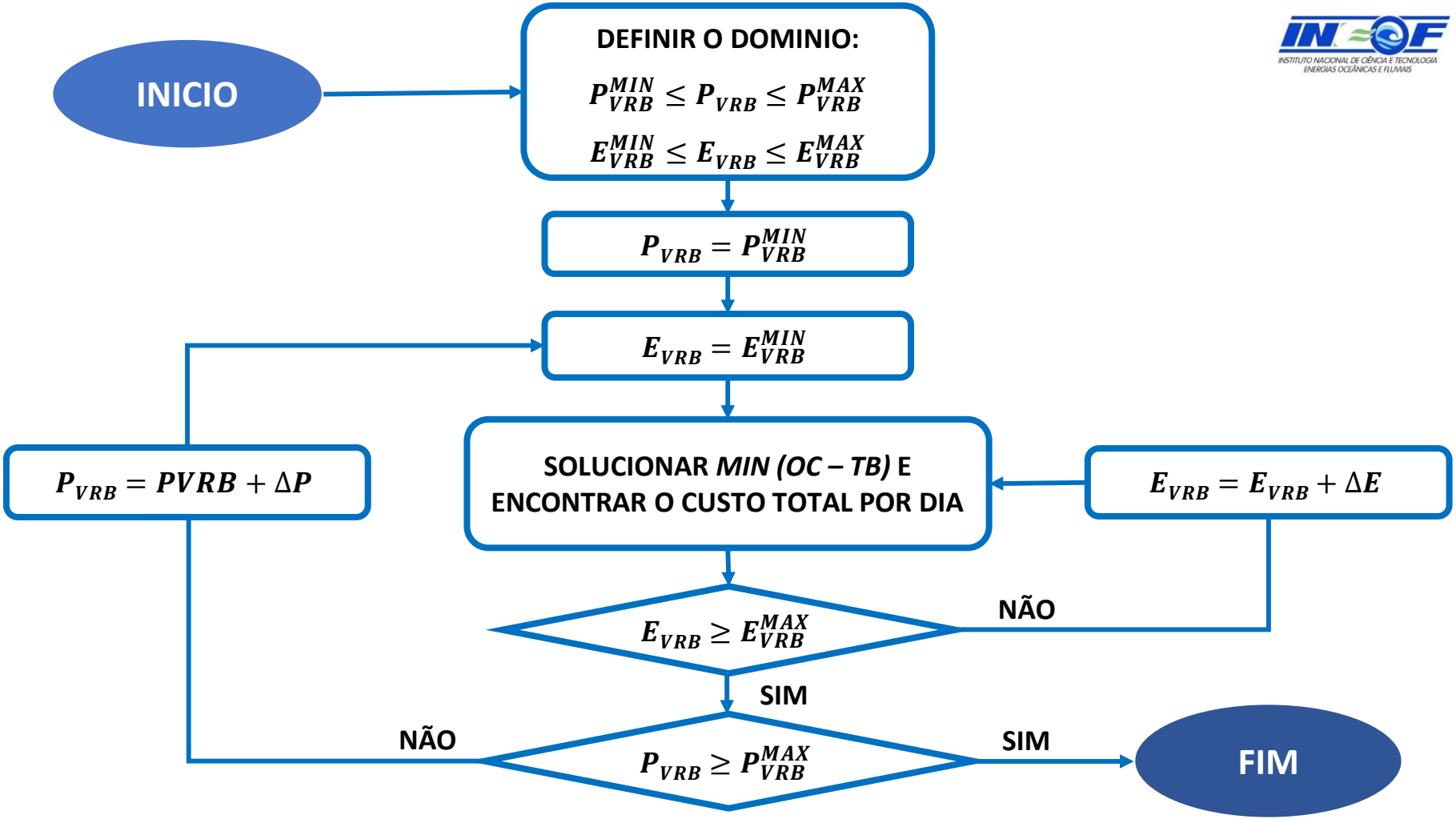

Fig. 1. Fluxograma de solução do problema [1]

APLICAÇÃO

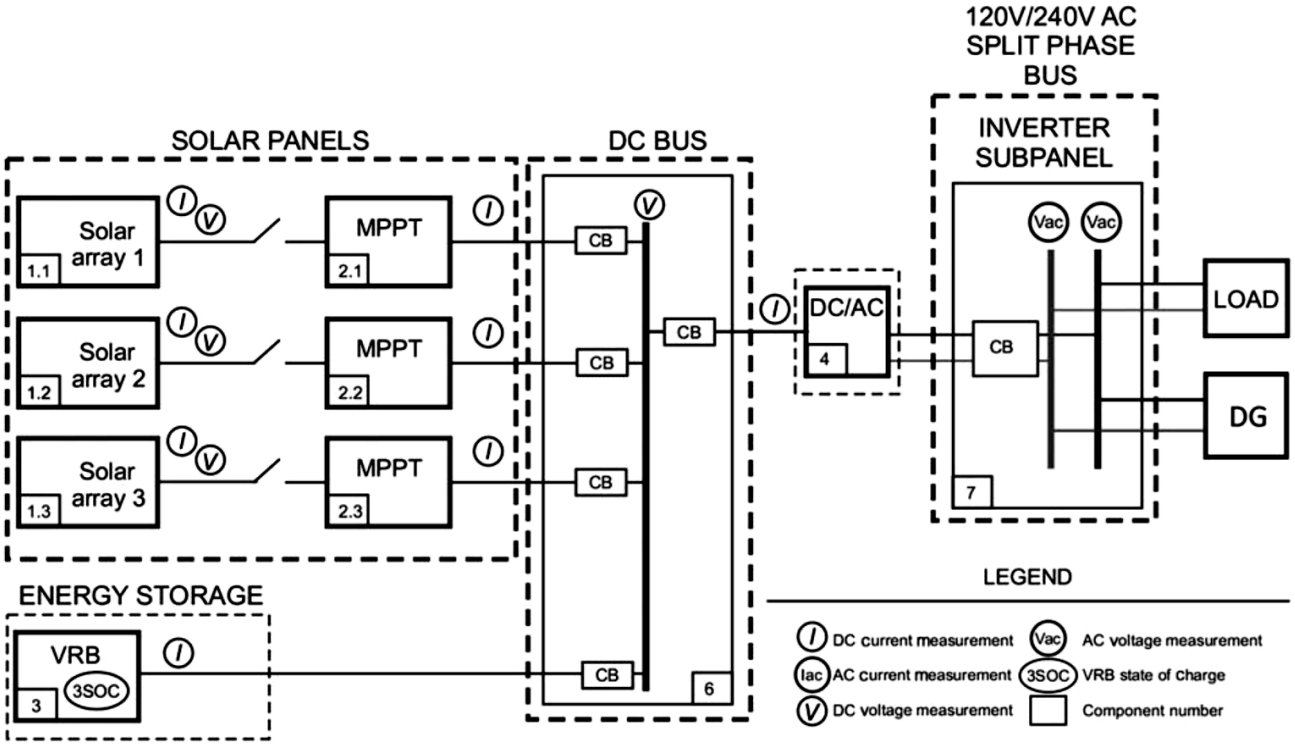

Fig. 2. Sistema Teste [1]

APLICAÇÃO

DADOS DO SISTEMA TESTE	
CARGA	2 kW – 5kW
MODULOS PV (P_{MAX})	15 kW
GERADOR A DIESEL (P_{MAX})	8 kW
POTENCIA DA BATERIA	5 kW – 10kW
ENERGIA DA BATERIA	10 kWh – 100kWh
RESERVA DA BATERIA	2 kWh

APLICAÇÃO: Sistema Isolado

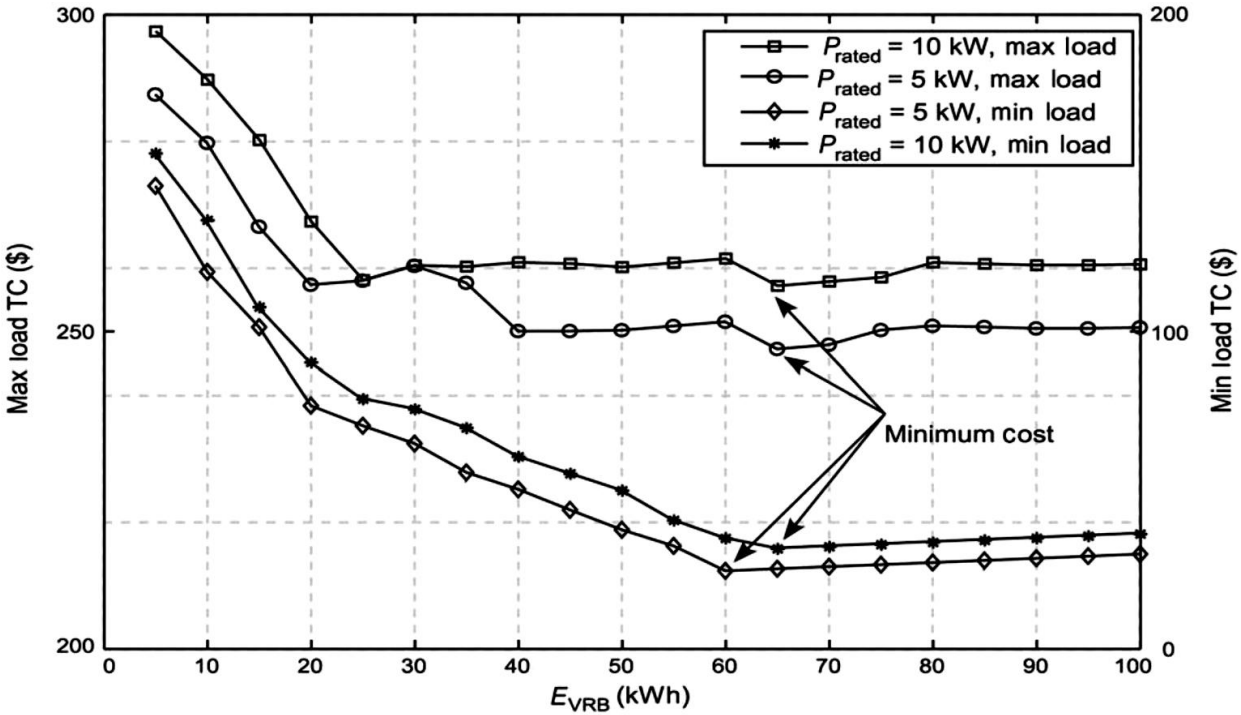

Fig. 3. Custo de operação em Junho de 2013 (P_{VRB} = 5 - 10 kW, E_{VRB} = 10 - 100 kWh) [1]

APLICAÇÃO: Sistema Isolado

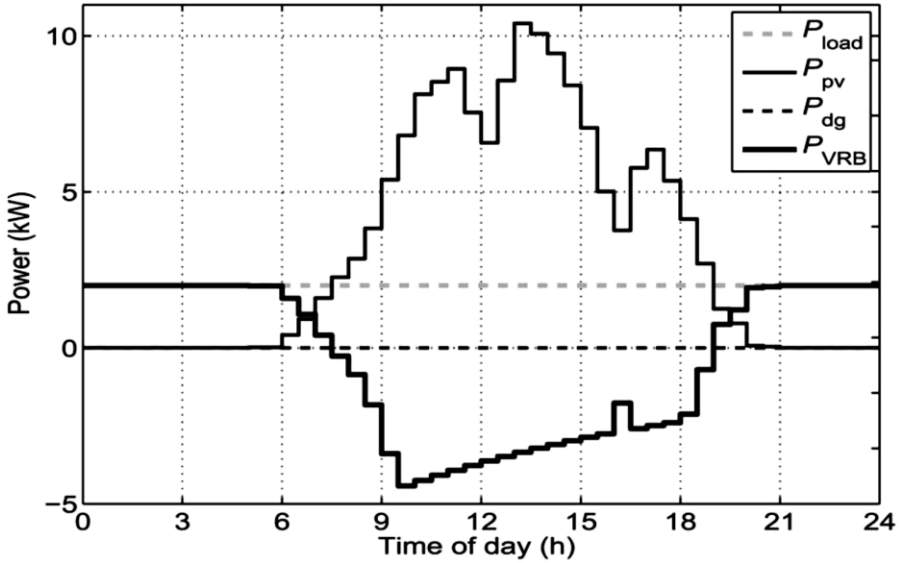

Fig. 4. Despacho em um dia de Junho de 2013 (P_{load} = 2 kW, P_{VRB} = 5 kW, E_{VRB} = 65 kWh) [1]

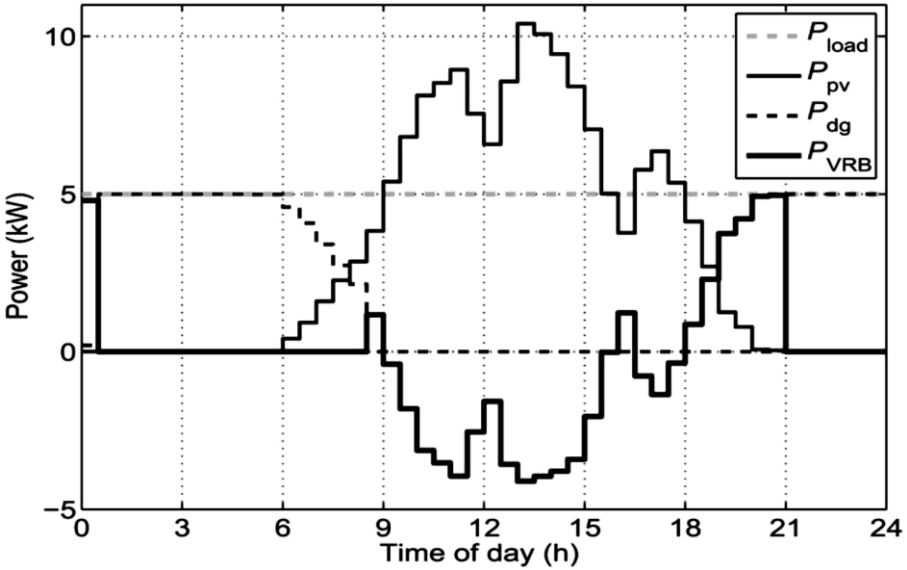

Fig. 5. Despacho em um dia de Junho de 2013 (P_{load} = 5 kW, P_{VRB} = 5 kW, E_{VRB} = 65 kWh) [1]

APLICAÇÃO: Sistema Isolado

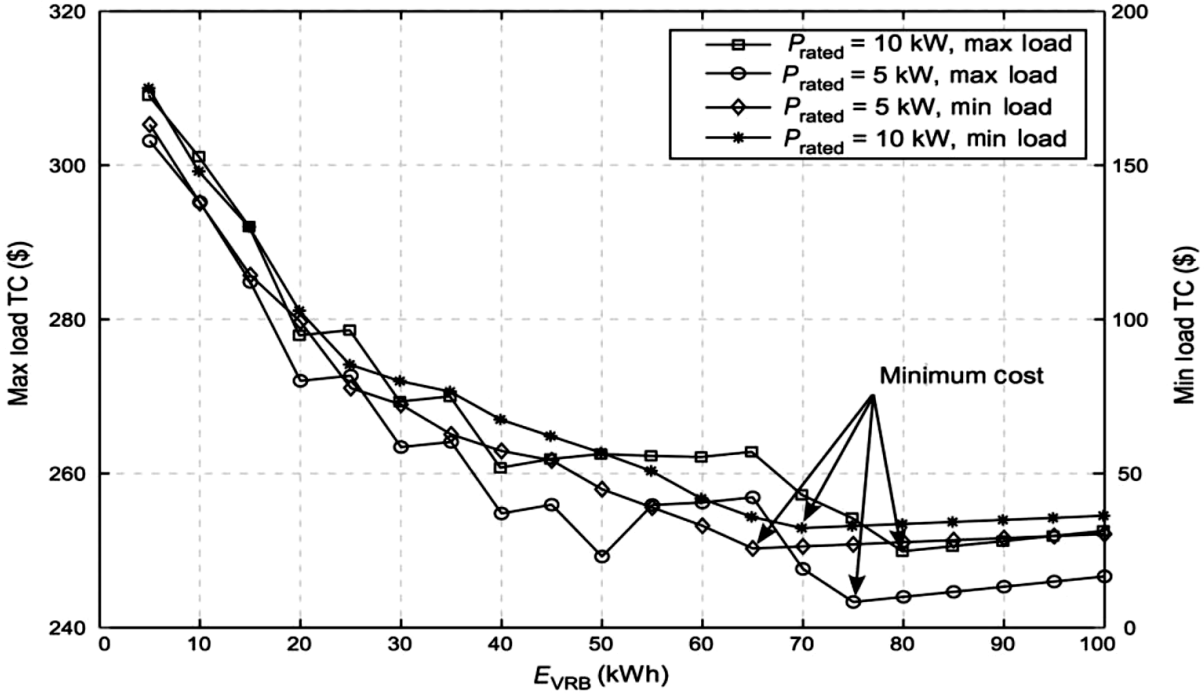

Fig. 6. Custo de operação em Setembro de 2013 (P_{VRB} = 5 - 10 kW, E_{VRB} = 10 - 100 kWh) [1]

APLICAÇÃO: Sistema Isolado

Tabela 2. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Mínima (2 kW) [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(277, 5)	(128, 30)	(25, 60)	(27, 65)
10	(283, 5)	(134, 30)	(32, 65)	(32, 70)

Tabela 3. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Máxima (5 kW) [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(475, 5)	(347, 5)	(247, 65)	(243, 75)
10	(480, 5)	(359, 5)	(257, 65)	(250, 80)

APLICAÇÃO: Sistema Conectado

Tabela 4. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Mínima (2 kW) – GD como principal fonte secundária [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(277, 5)	(120, 30)	(23, 60)	(22, 65)
10	(283, 5)	(131, 30)	(31, 65)	(29, 70)

Tabela 5. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Máxima (5 kW) – GD como principal fonte secundária [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(475, 5)	(339, 5)	(242, 65)	(238, 75)
10	(480, 5)	(357, 5)	(256, 65)	(249, 80)

APLICAÇÃO: Sistema Conectado

Tabela 4. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Mínima (2 kW) – Rede como principal fonte secundária [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(33, 5)	(24, 5)	(17, 20)	(15, 25)
10	(39, 5)	(31, 5)	(24, 5)	(22, 20)

Tabela 5. Custo e Armazenamento Ótimo para Carga Máxima (5 kW) – Rede como principal fonte secundária [1]

P_{VRB}^{rated} (kW)	Dec. 12 ($, kWh)	Mar. 13 ($, kWh)	Jun. 13 ($, kWh)	Sep. 13 ($, kWh)
5	(62, 5)	(49, 5)	(41, 5)	(39, 5)
10	(68, 5)	(55, 5)	(47, 5)	(46, 5)

CONCLUSÕES

- Para operação isolada e operação conectada (GD como principal fonte secundária), nos dois níveis de carga, as dimensões 5 kW e 65 kWh se mostraram mais econômicas;
- Para operação conectada (Rede como principal fonte secundária), nos dois níveis de carga, o custo ótimo foi encontrado para 5 kW e 5 kWh;
- Ou seja, a utilização da bateria não é um custo viável, quando comparado ao preço da energia da rede externa.

REFERÊNCIA

[1] T. A. Nguyen, M. L. Crow and A. C. Elmore, "Optimal Sizing of a Vanadium Redox Battery System for Microgrid Systems," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 729-737, July 2015.

OBRIGADA.