

Dimensionamento e Diretrizes para o Despacho da Geração de um SHGE acoplado através de Regulador Eletromagnético de Frequência

Delson Alves da Costa
MPEE/PPEE/CT
Universidade Federal
do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil
delson@neuro.ufrn.br

Ricardo Ferreira Pinheiro
MPEE/PPEE/CT
Universidade Federal
do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil
ricpinh@ufrnet.br

Manoel Firmino M. Júnior
MPEE/PPEE/CT
Universidade Federal
do Rio Grande do Norte
Natal, Brasil
firmino@dca.ufrn.br

Abstract – This work was developed aiming to taking advantage of the existent climatic conditions in Rio Grande do Norte. Wind speed features and solar radiation data were provided by the National Institute of Meteorology - INMET, referring to the Macau City / RN. A Hybrid Power Generation System was projected to supply the daily demand of about 295 kWh of UFRN Campus. A program using free software Scilab was developed to get the best combination of its main components. In addition to the project the implementation of a power management system is required, which will control automatically percentage of each source to dispatch. The desired characteristics of the system are discussed in this work.

Palavras-chave – Fontes renováveis, Regulador eletromagnético de frequência, *Smart grid*, SHGE.

I. INTRODUÇÃO

As fontes de energias renováveis estão presentes em vários países, com destaque em capacidade instalada para China, Alemanha, Estados Unidos e Brasil [1]. Devido à necessidade de diminuição do uso de combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, em prol do desenvolvimento sustentável mundial, planos de expansão relacionados, principalmente, à geração eólica, geração fotovoltaica ou Sistemas Híbridos de Geração de Eletricidade - SHGEs têm sido desenvolvidos, visando atender à demanda crescente.

No Brasil, a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL [2] definiu a participação da geração distribuída nos níveis de microgeração (potência instalada até 75 kW [3]) e minigeração (potência instalada maior do que 75 kW e menor do que 5 MW[3]). A referida resolução também criou o

Sistema de Compensação de Energia, o qual possibilita a qualquer pessoa interessada gerar sua própria energia elétrica, fornecendo o excedente para a rede de distribuição da concessionária, ou demandando energia, caso sua geração própria não seja suficiente para atender às suas necessidades. Com essa resolução e perspectiva de redução do preço de equipamentos, o cenário nacional, utilizando SHGEs, deverá expandir-se, principalmente através de geração eólica e geração fotovoltaica.

O Estado do Rio Grande do Norte possui elevado potencial, pois apresenta, em sua região litorânea, ventos com velocidade média anual acima de 8 m/s (altura de referência = 50 m) [4], e, radiação global média de 5,9 kWh/m² [5], referente à Região Nordeste, na qual o Estado está inserido.

Este trabalho descreve projeto desenvolvido com o objetivo de dimensionar um sistema híbrido para gerar energia elétrica para o Campus da UFRN em Macau. Painéis fotovoltaicos alimentam um banco de baterias que, utilizando um inversor, associa-se a uma turbina eólica, acoplados através do Regulador Eletromagnético de Frequência-REF [6]-[7].

A introdução do REF proporciona uma configuração alternativa para SHGEs que pode resultar em vantagens sobre o custo da instalação e operacionais (simplificação das estratégias de controle e melhoria da qualidade da energia produzida, por exemplo), quando há disponibilidade de energia primária oriunda de mais que uma fonte.

Para dimensionar o sistema e para os critérios de gerenciamento, foram utilizados estudos acadêmicos, manuais e especificações de equipamentos, de modo a fazer o sistema operar conectado à rede elétrica da COSERN, com ênfase em energia gerada pelas fontes renováveis.

Além disso, foi elaborado um programa com o uso da plataforma computacional Scilab para encontrar a melhor

D.A. Costa, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, delson@neuro.ufrn.br

R. F. Pinheiro, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, ricpinh@ufrnet.br

M.F.M. Júnior, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, Rio Grande do Norte, Brasil, firmino@dca.ufrn.br

combinação de equipamentos, segundo o critério de maior Valor Presente Líquido – VPL..

Blasques [8] apresenta as principais configurações, fórmulas e variáveis envolvidas para o desenvolvimento de um projeto de SHGE, assim como um algoritmo para o dimensionamento de uma combinação considerada ótima, baseado na técnica de algoritmos genéticos.

O presente trabalho acrescenta como critério para dimensionamento, o requisito de que as fontes renováveis têm prioridade no atendimento à carga, cabendo ao Sistema de Despacho da Geração - SDG, baseado em técnicas de Inteligência Artificial - IA, controlar a quantidade de energia elétrica fornecida por cada unidade geradora, em função da carga prevista e características dos dados climáticos. Para tanto, deverá ser utilizada tecnologia digital empregada em Sistemas de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados - SCADA, na qual sensores e medidores são instalados nos equipamentos e seus dados são transmitidos ao SDG para a tomada de decisão.

Técnicas de IA e princípios de *smart grid* têm sido utilizados em operação e manutenção de sistemas elétricos, transformando-os em sistemas inteligentes, nos quais decisões são tomadas, sem a participação humana [9]. Como exemplos dessas técnicas, os Sistemas Especialistas, as Redes Neurais Artificiais e a Lógica *fuzzy* são utilizados para o mapeamento de sistemas não-lineares e no trato das incertezas e imprecisões relacionadas [10].

Este artigo apresenta a seguinte estruturação: na seção II, são apresentadas as configurações mais utilizadas atualmente em Sistemas Híbridos de Geração de Eletricidade; na seção III, é feita uma descrição sucinta do REF; na seção IV será mostrada a parte referente à programação envolvida no dimensionamento do SHGE; na seção V os resultados; na seção VI é apresentado o modelo de gerenciador adequado à situação específica deste projeto, cuja principal particularidade é o uso do REF; e na seção VII a conclusão.

II. SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A. Geração Eólica e Fotovoltaica no Brasil

A energia eólica contribuía com apenas 2% (ano base 2014) da eletricidade produzida no Brasil [11]. Em 2015, em termos de potência anual instalada, com 2,754 MW, o país figura em quarto lugar no ranking dos maiores produtores de eletricidade a partir dos ventos [1]. Esta classificação, porém, não permite concluir que a energia eólica está largamente utilizada em nossa matriz energética, já que a potência instalada está em torno de 10% do principal produtor, a China, e, conforme o levantamento do Atlas Eólico Brasileiro [4], nosso potencial é de, no mínimo, 143 GW.

O apelo pelo uso de energias renováveis tem alterado políticas públicas, o que tem causado um rápido crescimento do uso da energia eólica. Neste momento inicia-se a disseminação da energia fotovoltaica, para a qual a expectativa é de grande crescimento. Além disso, a sociedade começa a adquirir interesse por sistemas particulares que permitam amenizar as despesas com o consumo de energia, o

que deverá contribuir para o uso de energia fotovoltaica e eólica em sistemas de microgeração.

B. Principais configurações de SHGEs [8]

No estágio tecnológico atual, os SHGEs costumam adotar uma das quatro configurações a seguir:

- a) Com acoplamento no barramento c.a. centralizado, conforme o diagrama visto na Fig. 1, a qual apresenta um único barramento c.a.

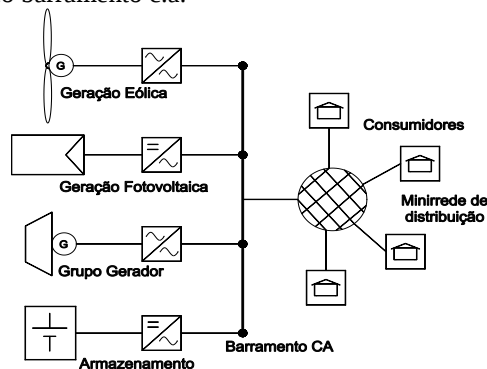


Figura 1 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.a. centralizado” [8].

- b) Com acoplamento c.a. distribuído, conforme mostrado no diagrama da Fig. 2.

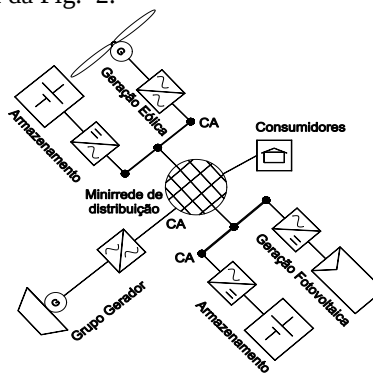


Figura 2 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.a. distribuído” [8].

- c) Com acoplamento no barramento c.c., conforme mostrado na Fig. 3.

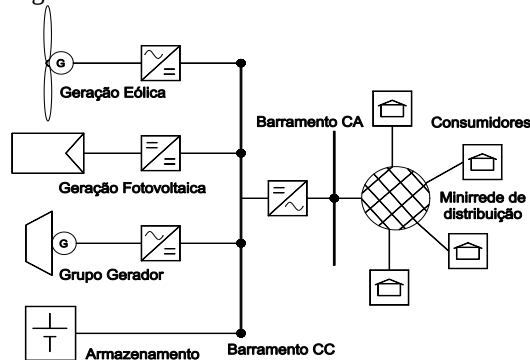


Figura 3 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.c.” [8].

- d) Configuração mista, conforme mostrado no diagrama da Fig. 4.

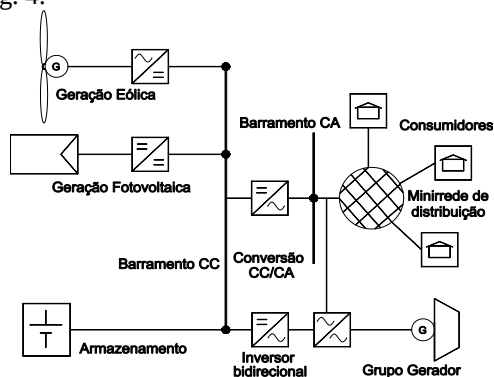


Figura 4 – Diagrama esquemático da “configuração mista” [8].

Neste projeto adotou-se uma configuração que difere das tradicionais, em função da inclusão do REF. A “configuração mista” é a que mais se aproxima do modelo utilizado, pois o mesmo apresenta um barramento c.c., no qual é feita a interligação dos painéis fotovoltaicos com o banco de baterias que, através de um conversor c.c.-c.a. alimenta o campo eletromagnético do REF. Também faz parte da composição um barramento c.a., no qual é conectada o conjunto turbina-REF-gerador síncrono, a carga, a rede COSERN e o gerador diesel. Esta topologia é vista na Fig. 5.

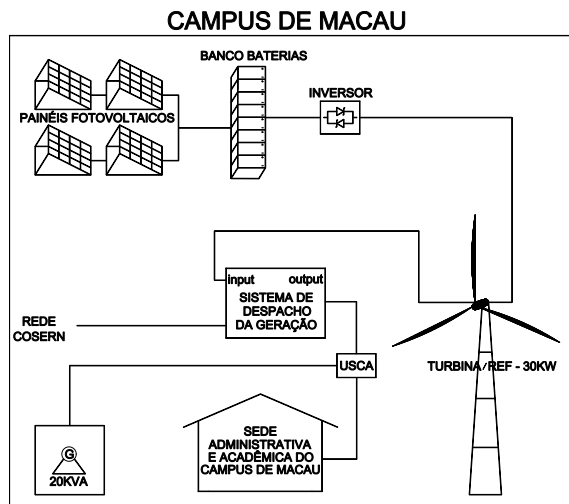


Figura 5 – Diagrama esquemático do SHGE proposto (elaboração própria).

III. REGULADOR ELETROMAGNÉTICO DE FREQUÊNCIA [6]-[7]

A Fig. 6 ilustra, através de um diagrama esquemático, os principais componentes de um aerogerador utilizando o Regulador Eletromagnético de Frequência com o objetivo da obtenção de velocidade constante, independentemente da velocidade do vento. O REF opera como um meio de acoplamento entre dois eixos mecânicos girantes em diferentes velocidades, sendo a velocidade de entrada aleatória e a de saída constante, em um valor de referência, no caso, a velocidade síncrona exigida no eixo do gerador de uma máquina síncrona.

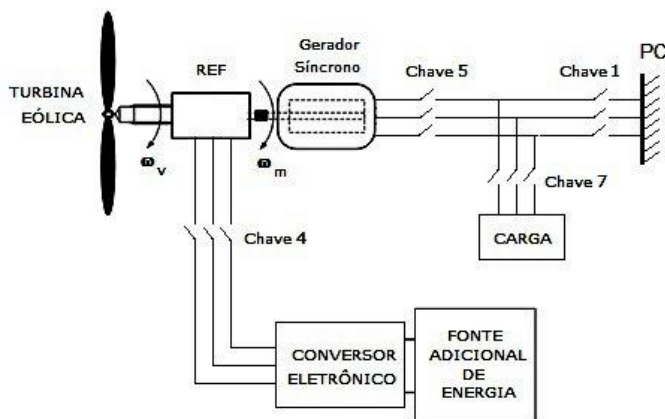


Figura 6 – Diagrama ilustrando a topologia proposta [6]-[7].

Foi projetado também para proporcionar o acoplamento entre sistemas híbridos de produção de energia visando geração de eletricidade.

Na aplicação a que se volta este trabalho, é utilizado para combinar energia mecânica obtida no eixo de uma turbina eólica com energia elétrica oriunda de baterias. O objetivo desta configuração é suprir as cargas existentes no campus de Macau, em combinação com ou em substituição à rede elétrica. O Campus da UFRN em Macau dispõe, em abundância, de vento e sol, o que justificou a escolha.

As chaves 1, 4, 5 e 7 correspondem às mostradas no diagrama da Fig. 9. A chave 1, conecta o sistema ao PC (ponto de conexão), que representa na Fig. 9, a rede da COSERN.

O REF ainda proporciona a vantagem de evitar acoplamento eletrônico direto dos equipamentos de captação de energia com a carga ou rede elétrica, produzindo tensões em corrente alternada, trifásicas, senoidais, de elevada qualidade. Além disso, contribui com a simplificação da estratégia de controle do fluxo de potência entre o sistema de geração e a carga ou rede elétrica, pois esta relação dá-se somente pela interligação do gerador com a carga ou rede elétrica, tornando-se adequado para esta aplicação.

IV. DIMENSIONAMENTO

Considerando-se que é relativamente pequeno o conjunto de modelos de equipamentos existentes no mercado em dimensões adequadas ao projeto, reduziu-se a complexidade do problema. A busca tornou-se menos extensa e foi possível encontrar o resultado, sem a necessidade de recorrer a técnicas de otimização, como adotado em Blasques [8].

A. Algoritmo de dimensionamento

As principais equações do algoritmo utilizado neste trabalho são apresentadas a seguir, estando de acordo com as propostas de Blasques e do Manual de Sistemas Híbridos [12].

O programa compreende duas etapas principais, denominadas I e II, cujos detalhamentos serão descritos pelos fluxogramas das Fig. 7 e 8, respectivamente:

I – Leitura e tratamento dos dados de entrada: de (1) a (4).

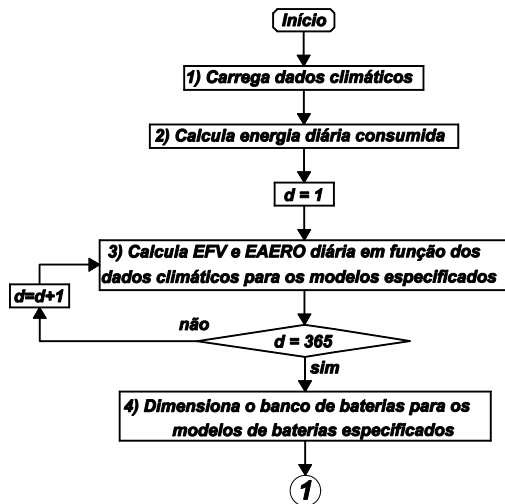


Figura 7 – Algoritmo utilizado / Etapa I (elaboração própria).

1) Leitura dos dados climáticos de entrada (velocidade de vento e radiação solar) fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e especificações de equipamentos;

2) Cálculo da energia diária consumida em kWh, com base na curva de carga diária da unidade acadêmica, obtida a partir da média diária em 1 ano:

$$C \arg a _ dia = \sum_{t=1}^{24} P(t) \times \Delta t \quad (1)$$

onde, $P(t)$ é a demanda de potência ativa medida em cada intervalo e Δt (1 hora) é o intervalo de medição.

3) Cálculo da energia EFV (kWh) gerada pelos painéis fotovoltaicos, e da energia diária $Paero_dia$ (kWh) gerada pelas turbinas eólicas, em cada um dos 365 dias do ano, representado por d nas equações:

$$EFV(d) = (1 - p) W_p \times HSP \quad (2)$$

onde, p : perdas (20%) por dispersão e no cabeamento;
 W_p : potência de pico (nominal) em W do painel;
 HSP : hora de sol pleno (em horas);

$$Paero(t) = P1 + (V(t) - V1) \frac{P2 - P1}{V2 - V1} \quad (3)$$

onde, $V(t)$: velocidade de vento efetivamente medida, em m/s, no instante de tempo t ;
 $V1, P1$: velocidade(m/s) e potência(kW) no instante anterior a t ;
 $V2, P2$: velocidade(m/s) e potência(kW) no instante posterior a t ;

$$Paero_dia(d) = \sum Paero(t) \quad (4)$$

onde, t corresponde a cada uma das 24 horas do dia.

4) Cálculo do banco de baterias:

Considerando um acréscimo de 20% de demanda reprimida, a energia diária corrigida, lado ca, será:

$$C \arg a _ dia _ mais20 = 1,2 C \arg a _ dia \quad (5)$$

E a energia diária corrigida, do lado cc, adotando-se 15% (fator 0,15 na Eq. 6) para as perdas de conversão e distribuição, será:

$$C \arg a _ dia _ ladoCC = \frac{C \arg a _ dia _ mais20}{1 - 0,15} \quad (6)$$

Para uma autonomia de 6(seis) horas e 2% (fator 0,02 na Eq. 7) de perdas referentes a dispositivos de armazenamento e controle, a capacidade do banco de baterias foi corrigida para:

$$Cbbat = C \arg a _ dia _ ladoCC \frac{6/24}{1 - 0,02} \quad (7)$$

E a quantidade de baterias:

$$Num_baterias = \frac{Cbbat}{Ce_bateria} \quad (8)$$

onde, a capacidade energética útil $Ce_bateria$ de uma bateria em kWh, é dada pela Eq. 9, na qual o produto EI se refere a tensão nominal multiplicada pela capacidade de corrente da bateria e a profundidade_descarga é uma especificação técnica relacionada a capacidade energética útil da bateria.

$$Ce_bateria = EI \times \frac{profundidade_desc \arg a}{1000} \quad (9)$$

II – Escolha da melhor combinação: de (5) a (7).

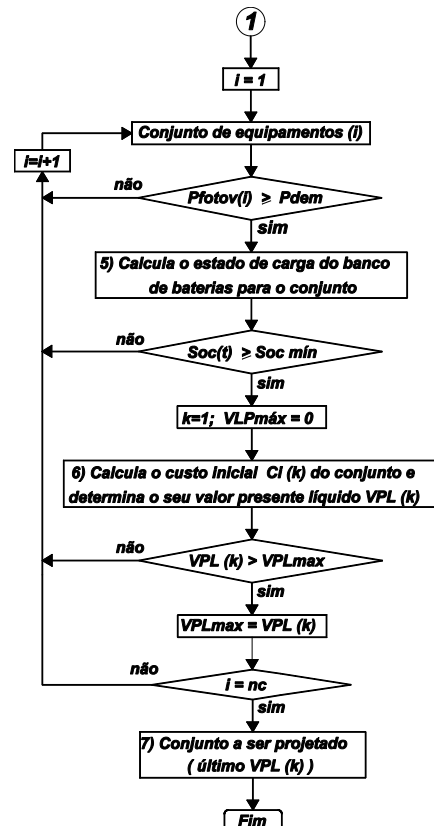


Figura 8 – Algoritmo utilizado / Etapa II (elaboração própria).

5) Cálculo do estado de carga do banco de baterias:

$$Soc(t) = Soc(t-1) + [E_{fotov}(t) - \frac{E_{dem}(t)}{\eta_{inv}}] \times \eta_{bat} \quad (10)$$

onde, $E_{fotov}(t)$: energia gerada pelos painéis no instante t , e

$E_{dem}(t)$: energia demandada pela carga no instante t ;

η_{inv} , η_{bat} : rendimento do inversor e da bateria, respectivamente.

6) Cálculo do investimento inicial I , que corresponde a soma dos preços dos equipamentos de cada combinação, e do Valor Presente Líquido VPL [12]:

$$I = \text{preço}_{tub} + \text{preço}_{paineis} + \text{preço}_{bat} \quad (11)$$

$$VPL = I + CNU + \sum_{j=1}^n VPa \quad (12)$$

onde, CNU: custos não uniformes trazidos ao presente;

VPa: valor presente associado a uma anuidade.

7) Escolha do conjunto de equipamentos a ser projetado, baseada nos resultados obtidos com o programa, considerando o conjunto que apresentou o maior VPL, de um total de n_c (mostrado no algoritmo da Fig. 8) combinações.

V. RESULTADOS OBTIDOS

Para a situação do Campus de Macau, chegou-se a uma combinação composta por um conjunto turbina-REF de 30 kW, 520 painéis fotovoltaicos policristalinos 245 Wp e 150 baterias de 12 V - 220 Ah. Algumas considerações relacionadas ao programa: os dados climáticos são referentes ao ano de 2014 com intervalos de hora em hora; valores monetários referentes a março de 2015; a faixa útil de velocidade de vento foi considerada entre 3 e 12 m/s para turbinas de 20, 30 e 50 kW e entre 3 e 13 m/s para turbinas de 80 e 100 kW, em função da pouca ocorrência de ventos fora das faixas estipuladas; no cálculo do estado de carga dos bancos de baterias foi considerado o rendimento do inversor igual a 0.9 e o rendimento das baterias 0.8 carregando e 1.0 descarregando[8].

VI. SISTEMA DE DESPACHO DA GERAÇÃO

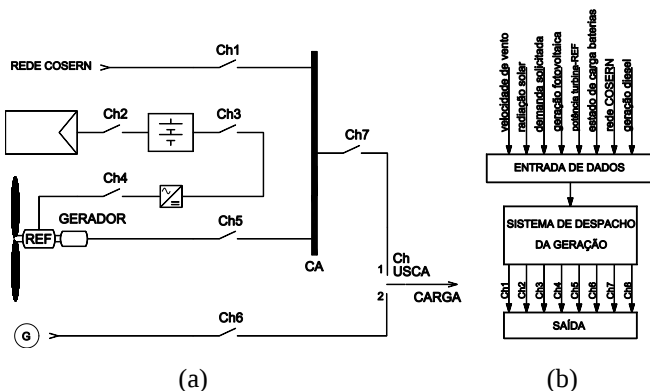


Figura 9 – (a) Diagrama esquemático das chaves do SHGE proposto;
(b) Representação: entrada de dados, processamento (SDG) e saída (elaboração própria).

Para que o SHGE funcione de modo a priorizar as fontes de energia renováveis e para estabelecer quando e com que percentual cada unidade geradora vai contribuir, em função da energia demandada pela carga, é necessário o estabelecimento de critérios e prioridades. Um Sistema de Despacho da Geração – SDG monitorará as condições de operação e enviará sinais que comandarão os chaveamentos de forma a proporcionar o despacho adequado. O diferencial turbina-REF influenciará a estratégia de despacho voltada à configuração vista no diagrama unifilar da Fig. 9.

Os critérios para atuação das chaves 1 a 7, baseados no estado das fontes de energia, das baterias e da carga, estão apresentados na Tab. 1. A primeira coluna refere-se às condições de consumo, de geração das diversas fontes e do estado de carga das baterias; a segunda coluna refere-se à posição atual das chaves mostradas no diagrama esquemático da Fig. 9; e, a terceira coluna, refere-se à ação resultante em função das condições e das posições das chaves. O SDG detectará 8 condições de operação possíveis, quais sejam:

Condição (1): o estado de carga das baterias está próximo ou igual ao estado de carga máxima e a potência gerada pelas fontes renováveis é superior ou igual à potência demandada pela carga: Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas, a Ch USCA deve estar na posição 1, as fontes renováveis atendem à carga e fornecem energia à COSERN.

Condição (2): o estado de carga das baterias está entre os estados de carga mínimo e máximo e a potência gerada pelas fontes renováveis é superior ou igual à potência demandada pela carga: Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1, as fontes renováveis atendem à carga, a fonte fotovoltaica carrega as baterias e o SHGE fornece energia à COSERN.

Condição (3): o estado de carga das baterias está próximo ou igual ao estado de carga máxima e a potência demandada pela carga é superior à potência gerada pelas fontes renováveis: Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1, as fontes renováveis e a COSERN atendem à carga.

Condição (4): o estado de carga das baterias está entre os estados de carga mínimo e máximo e a potência demandada pela carga é superior à potência gerada pelas fontes renováveis: Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1, as fontes renováveis e a COSERN atendem à carga e a fonte fotovoltaica carrega as baterias.

Condição (5): a velocidade do vento é inferior a 3 m/s e a potência da fonte fotovoltaica é superior a potência demandada pela carga: Ch1, Ch2, Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1, a carga é atendida, exclusivamente pela fonte fotovoltaica, que, também fornece energia à COSERN.

Condição (6): a velocidade do vento é inferior a 3 m/s e irradiação solar baixa: Ch3, Ch4, Ch5, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1 e o banco de baterias atende à carga durante, até 6 horas.

Condição (7): a velocidade do vento é inferior a 3 m/s, irradiação solar baixa e o estado de carga das baterias está próximo ao estado de carga mínimo: Ch1, Ch7 devem ser fechadas e Ch USCA deve estar na posição 1 e a COSERN atende à carga.

Condição (8): a velocidade do vento é inferior a 3 m/s, irradiação solar baixa, o estado de carga das baterias está próximo ao estado de carga mínimo e a rede COSERN está fora: a chave Ch6 deve ser fechada e a chave Ch USCA deve estar na posição 2 e a geração diesel atende à carga.

Tabela 1 – Posição das chaves de acordo com as principais condições possíveis.

Condição	Posição das chaves (considerando posição inicial ABERTA)	Ação
(1) $Soc \equiv Soc_{máx}$ $P_{dem} \leq P_{renov}$	Ch1 Ch2 Ch3 FECHA Ch4 Ch5 FECHA Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Renováveis atendem à carga e fornecem energia à COSERN.
(2) $Soc_{mín} \leq Soc$ $Soc < Soc_{máx}$ $P_{dem} \leq P_{renov}$	Ch1 Ch2 Ch3 FECHA Ch4 Ch5 FECHA Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Renováveis atendem à carga , Fotovoltaica carrega baterias e o SHGE fornece energia à COSERN.
(3) $Soc \equiv Soc_{máx}$ $P_{dem} > P_{renov}$	Ch1 Ch2 FECHA Ch3 Ch4 FECHA Ch5 Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Renováveis atendem à carga em conjunto com a rede COSERN.
(4) $Soc_{mín} \leq Soc$ $Soc < Soc_{máx}$ $P_{dem} > P_{renov}$	Ch1 Ch2 FECHA Ch3 Ch4 FECHA Ch5 Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Renováveis atendem à carga em conjunto com a rede COSERN e Fotovoltaica carrega baterias.
(5) Velocidade de vento $\leq 3m/s$ $P_{dem} \leq P_{fotov}$	Ch1 Ch2 Ch3 FECHA Ch4 Ch5 FECHA Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Fotovoltaica atende à carga e fornece energia à COSERN.
(6) Velocidade de vento $\leq 3m/s$ Fotovoltaica off	Ch3 FECHA Ch4 Ch5 FECHA Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Banco de baterias atende à carga durante, até 6 horas.
(7) Velocidade de vento $\leq 3m/s$ Fotovoltaica off $Soc \equiv Soc_{mín}$	Ch1 FECHA Ch7 FECHA Ch USCA em 1	Rede COSERN atende à carga.
(8) Velocidade de vento $\leq 3m/s$ Fotovoltaica off $Soc \equiv Soc_{mín}$ COSERN off	Ch6 FECHA Ch USCA em 2	Gerador diesel atende à carga.

Fonte: Baseado em Blasques [8], Tabela 2.1.

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho representa uma contribuição a projetos de SHGEs, pois em sua constituição, além da presença das fontes renováveis, com destaque para a utilização do REF, também é apresentada a proposta de implantação de um SDG,

o qual, de modo automatizado, irá proporcionar o controle e supervisão do SHGE proposto.

Como destaque, o programa elaborado com o auxílio do software Scilab, proporcionou a escolha da combinação de equipamentos mais adequada a atender a demanda da unidade acadêmica, maximizando o uso de geração de energias renováveis e minimizando os custos totais.

O projeto detalhado do SDG deverá ser objeto de futuro trabalho, tendo por base fundamentos de IA, princípios de *smart grid* e as condições indicadas na Tab. 1.

A metodologia permite que o modelo seja replicado em outras unidades acadêmicas, outras instituições, ou qualquer instalação de porte semelhante, com pequenas adaptações.

Uma projeção da estimativa de custos, entre o consumo exclusivo da energia da COSERN e o sistema proposto, mostrou que o investimento apresenta um retorno positivo superior aos custos no período de 20 anos, de aproximadamente 7 %, considerando no cálculo a injeção de energia elétrica na rede da concessionária, e o valor deixado de ser pago referente à fatura mensal da unidade acadêmica, no tempo estimado (20 anos).

REFERÊNCIAS

- [1] Global Winds Energy Council. Disponível em <<http://www.gwec.net>>. Acesso em: 04 set. 2015.
- [2] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 482, de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012.
- [3] BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa 687, de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015.
- [4] ATLAS do Potencial Eólico Brasileiro. 2001. Brasília, Ministério de Minas e Energia.
- [5] ATLAS Brasileiro de Energia Solar. 2006. São José dos Campos, INPE.
- [6] Silva, P. V., 2015. “Regulador Eletromagnético de Frequência Aplicado no Controle de Velocidade de Geradores Eólicos”. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Elétrica e Engenharia de Computação) - PPGECC, UFRN, Natal.
- [7] Silva, P. V.; Pinheiro, R. F.; Salazar, A. O.; Santos Jr., L. P.; e Fernandes, J. D., 2015. Um novo Sistema para Controle de Velocidade em Aerogeradores Utilizando o Regulador Eletromagnético de Frequência. Revista Eletrônica de Potência, SOBRAEP, vol. 20, n. 3, p. 254-262, jun./ago. 2015.
- [8] Blasques, L.C.M., 2014. “Otimização de Sistemas Híbridos para Eletrificação de Miniredes com Fontes Renováveis: Aspectos de Projeto, Operação e Gestão”. 195 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - PPGE, UFPA, Belém.
- [9] Pereira, R. M., Spritzer, I. M. P. A., 2007. “Automação e Digitalização em Subestações de Energia Elétrica: um Estudo de Caso”. UTFPR Revista Gestão Industrial, ISSN 1808-0448 / v. 03, n. 04: p. 147-160, 2007.
- [10] Ferreira, D. G., 2007. “Visão Integrada da Automação da Operação e Manutenção de Sistemas Elétricos de Potência”. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – PPGE, UFMG, Belo Horizonte.
- [11] BRASIL, 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015. Rio de Janeiro, 62 p.
- [12] BRASIL, 2008. MME-PNUD-UFPA-FADESP. Manual de Implantação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-eólico-diesel para Geração de Energia Elétrica. Belém.