

# SISTEMA HÍBRIDO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA CONECTADO À REDE, INCLUINDO O REGULADOR ELETROMAGNÉTICO DE FREQUÊNCIA – REF

**Delson Alves da Costa** - delson@neuro.ufrn.br

**Ricardo Ferreira Pinheiro** - ricpinh@ufrnet.br

**Manuel Firmino de Medeiros Júnior** - firmino@dca.ufrn.br

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Mestrado Profissional em Energia Elétrica

**Resumo** - Este trabalho apresenta o projeto de geração de energia elétrica para atender o Campus da Cidade de Macau, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, usando um sistema híbrido conectado à rede de distribuição da concessionária local (COSERN), composto por painéis fotovoltaicos, banco de baterias, e um conjunto turbina eólica REF - Regulador Eletromagnético de Frequência. As excelentes condições climáticas existentes no Rio Grande do Norte e a necessidade de estudos que envolvam fontes alternativas serviu como incentivo para a sua elaboração. O destaque do projeto é o software computacional (plataforma Scilab, versão 5.5.2) desenvolvido para obter a melhor combinação dos seus principais componentes que resultou em um conjunto turbina-REF de 30 kW, 518 painéis fotovoltaicos policristalinos 245 Wp e 150 baterias de 12 V - 220 Ah, além de outros componentes, para atender uma demanda diária de aproximadamente 295 kWh. O projeto resultante é composto por quatro plantas, Memorial Descritivo e lista de materiais.

**Palavras-chave:** Fontes renováveis, Projeto de sistemas híbridos, Regulador eletromagnético de frequência.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a necessidade de obter conhecimento relacionado às fontes renováveis de energia, como geração eólica e fotovoltaica propicia P&D e diversos trabalhos acadêmicos têm sido desenvolvidos. O país tem procurado diversificar sua matriz energética com a instalação de diversos parques de geração eólica como alternativa à geração, valendo destacar a participação do Rio Grande do Norte com potência instalada superior a 2 GW. Com relação à geração fotovoltaica a representação na matriz nacional ainda é tímida, mas com a publicação da Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL (BRASIL, 2012) que “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.”, espera-se que sejam estimuladas novas instalações de parques com sistemas híbridos, inclusive com a utilização de geração fotovoltaica.

Entre os trabalhos acadêmicos mais recentes, Blasques (2014), mostra as principais configurações, fórmulas e variáveis envolvidas para o desenvolvimento de um projeto de Sistema Híbrido de Geração de Eletricidade - SHGE. Também apresenta um algoritmo para o dimensionamento de uma combinação considerada ótima, baseado na técnica de algoritmos genéticos.

Em Gupta *et al.* (2011) é proposto um modelo de otimização denominado *Renewable Energy Analysis and Sizing Tool* - REAST, em que sistemas híbridos fotovoltaico/eólico apresentam gerador diesel e banco de baterias como *backup*. Na Fig. 1 é ilustrada a configuração proposta. A fotografia de um sistema híbrido solar/eólico em operação é vista na Fig. 2.

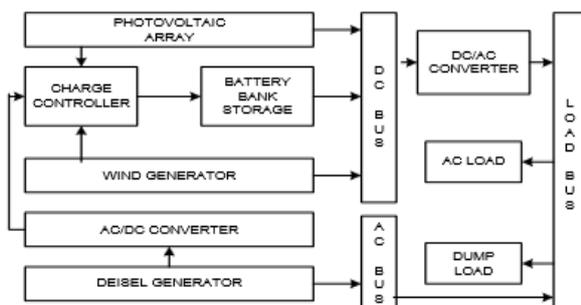


Figura 1 – Diagrama de blocos da configuração básica utilizada por Gupta *et al.* (2011).



Figura 2 – SHGE Itália (Global Winds Energy Council).

Na proposta de Gupta *et al.* (2011), quando a carga solicitada é maior do que a soma da energia gerada pelas fontes renováveis e a energia armazenada pelo banco de baterias, o gerador diesel é acionado; quando a energia das fontes

renováveis excedam a demanda da carga e o banco de baterias esteja completamente carregado, o excesso de energia gerada é descarregado através de um resistor externo chamado *dump load*. Mediante técnicas iterativas, adotando-se o tempo em espaços de uma hora num período de um ano, encontram-se as possíveis combinações e depois é feita a otimização buscando-se encontrar o sistema de menor custo a partir dessas combinações. O software utilizado foi o MATLAB.

Em Silva (2015) e Silva *et al.* (2015) foi proposto e comprovado a viabilidade técnica do Regulador Eletromagnético de Frequência (REF), cuja função é manter constante a velocidade do gerador síncrono movido por uma turbina eólica cujo eixo segue o comportamento determinado pela velocidade do vento. O REF exige a interação com uma outra fonte de energia, tornando-se, além de regulador de frequência, meio de acoplamento ideal para plantas híbridas. Sendo este um projeto de planta híbrida eólica/fotovoltaica, decidiu-se utilizar o REF, o qual passou a representar um importante diferencial.

De acordo com as especificidades de cada sistema elétrico, as fontes de energia disponíveis em cada local e a tecnologia disponível, configurações diferentes são adotadas para instalar SHGEs. O REF permite acrescentar novas configurações pela introdução de uma tecnologia que se diferencia das atualmente existentes. Este trabalho descreve o projeto de um SHGE baseado na combinação de energia eólica e fotovoltaica em instalação pertencente à UFRN. A configuração aqui apresentada permite o uso de energia da concessionária para complementação da exigência da carga, fornecimento de produção excedente à rede de distribuição, e, em condições excepcionais, o uso de geração diesel.

No desenvolvimento deste trabalho são apresentadas possíveis combinações de equipamentos, incluindo fontes renováveis e banco de baterias, tendo a rede da concessionária e um gerador diesel como *backup*. O diferencial é que, com o uso do REF associado à turbina eólica, a escolha adequada dos painéis fotovoltaicos e do banco de baterias é feita com o auxílio de um programa desenvolvido em Scilab sem a utilização de técnicas de otimização. Projetou-se o sistema para operar gerando energia firme, mesmo com ausência de vento, com autonomia de até seis horas, sem o acionamento do gerador diesel. Adotou-se seis horas de autonomia, visando atender a demanda de um turno, sem prejuízo dos trabalhos acadêmicos. Sem maiores problemas o programa permite alterar esse tempo para ampliar ou reduzir a autonomia.

A estruturação dada a este artigo é: na seção 2, são apresentadas as configurações mais utilizadas atualmente em Sistemas Híbridos de Geração de Eletricidade - SHGEs; na seção 3, é feita uma descrição sucinta do REF; na seção 4, é descrito o programa desenvolvido para o dimensionamento do sistema proposto e a escolha daquele que apresenta a maior viabilidade financeira, dentro da garantia dos requisitos técnicos; na seção 5, é descrito o projeto dando ênfase ao Memorial Descritivo; e por fim na seção 6 é apresentada a conclusão.

## 2. SISTEMAS HÍBRIDOS DE GERAÇÃO DE ELETRICIDADE – SHGES

A utilização dos ventos na produção de energia acontece quando os ventos atingem velocidades médias tais que sua energia cinética é capaz de acionar um aerogerador de modo a produzir energia elétrica a custo economicamente viável. Na natureza, a velocidade existente no eixo onde estão acopladas as pás passa por uma transformação, normalmente realizada por um sistema multiplicador de velocidade. O eixo do rotor do gerador elétrico recebe a velocidade corrigida dentro dos parâmetros desejados.

### 2.1 Geração Eólica e Fotovoltaica no Brasil

Alguns materiais semicondutores, geralmente o silício no caso da fabricação de painéis fotovoltaicos, quando combinados a outros materiais, adquirem propriedades, as quais fazem com que na presença de luz (fótons) gerem corrente elétrica e consequentemente energia disponível. A junção de várias células dá origem aos módulos e a interligação desses possibilita a criação de unidades de geração de energia elétrica.

Os módulos fotovoltaicos podem ser ligados em série, em paralelo ou combinando os dois tipos de ligações, de acordo com o arranjo desejado.

Hoje, o Brasil, em termos de potência instalada, figura em quarto lugar no ranking mundial dos maiores produtores de eletricidade a partir dos ventos. Esta classificação, contudo, 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 (MME, 2001), nosso potencial é de, no mínimo, 143 GW. Segundo o Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2015), a energia eólica contribui com apenas 2% da eletricidade produzida no Brasil.

Já o uso da energia solar ainda é praticamente insignificante. 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. Junta-se a isto que a sociedade começa a adquirir interesse por sistemas particulares que, na concepção de *smart grid* (Luciano, 2014) 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.

### 2.2 Principais configurações

Os SHGEs atuais apresentam as seguintes configurações (Blasques, 2014):

- a) Com acoplamento no barramento c.a. centralizado, conforme o diagrama visto na Fig. 3, a qual apresenta um único barramento c.a. onde são interligadas as fontes de geração de energia elétrica existentes, incluindo a geração diesel e o sistema de armazenamento, como também a minirrede de distribuição relacionada à conexão dos consumidores.

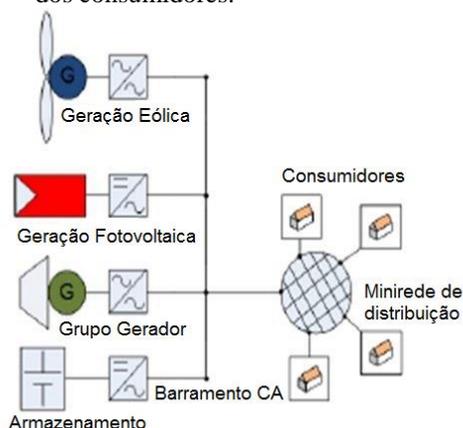


Figura 3 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.a. centralizado” (Blasques, 2014).

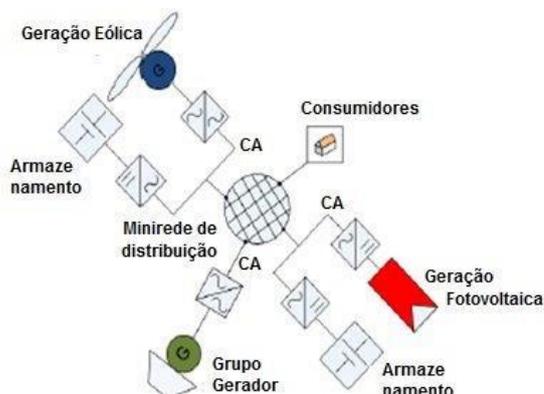


Figura 4 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.a. distribuído” (Blasques, 2014).

- b) Com acoplamento c.a. distribuído, conforme mostrado no diagrama da Fig. 4, a qual para o caso das fontes alternativas, cada geração é associada ao respectivo sistema de armazenamento, formando um conjunto individualizado e cada conjunto é interligado à minirrede de modo isolado. Embora não dispondo de baterias a ela associada, a geração diesel também tem sua conexão à rede, individualizada.
- c) Com acoplamento no barramento c.c., conforme mostrado na Fig. 5, a qual apresenta um barramento c.c. onde são interligadas as fontes de geração de energia elétrica, incluindo a geração diesel e o sistema de armazenamento com um único barramento c.a. interligado ao barramento c.c. através de um inversor, conectando o sistema à minirrede de distribuição.

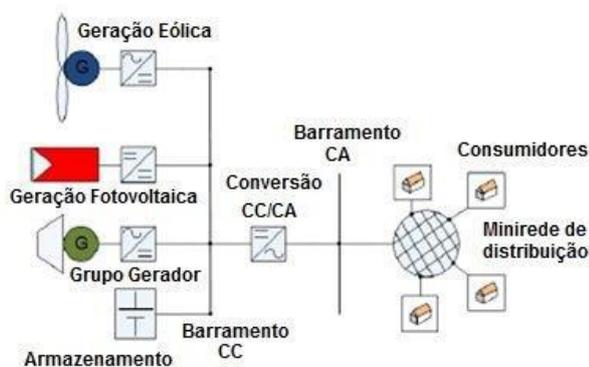


Figura 5 – Diagrama esquemático da “configuração com acoplamento no barramento c.c.” (Blasques, 2014).

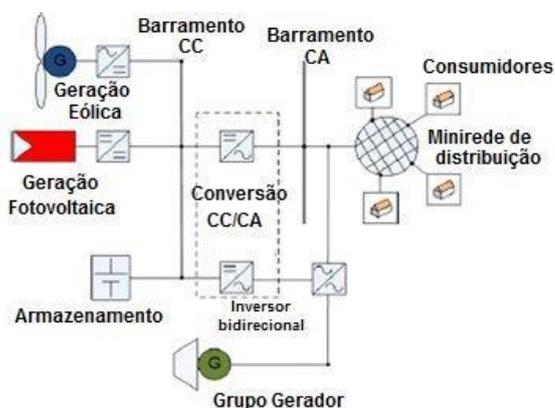


Figura 6 – Diagrama esquemático da “configuração mista” (Blasques, 2014).

- d) Configuração mista, conforme mostra o diagrama da Fig. 6, a qual apresenta em sua topologia características das configurações anteriores, sendo as fontes alternativas e o sistema de armazenamento conectados ao barramento c.c., enquanto a geração diesel está interligada ao sistema consumidor, através de um conversor c.a.-c.a. e ao barramento c.c. mediante um conversor c.a.-c.c.

Neste projeto adotou-se uma configuração que difere das citadas anteriormente, em função da existência 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 conectado o conjunto turbina-REF-gerador síncrono, a carga, a rede COSERN e o gerador diesel. Esta topologia é vista na Fig. 7.

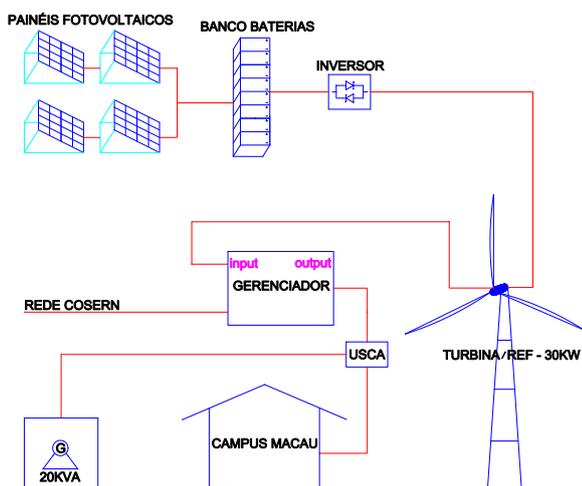


Figura 7 – Diagrama esquemático do SHGE proposto para o Campus de Macau (elaboração própria).

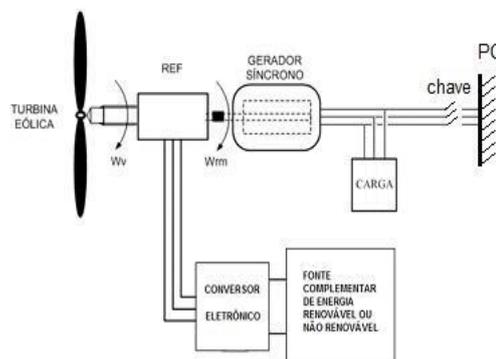


Figura 8 – Diagrama ilustrando a topologia proposta (Silva, 2015).

### 3. REGULADOR ELETROMAGNÉTICO DE FREQUÊNCIA – REF (SILVA, 2015 e SILVA *et al.*, 2015)

A Fig. 8 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 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, uma máquina síncrona.

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 que acumulam energia recebida de painéis fotovoltaicos. O objetivo desta configuração é suprir as cargas existentes no campus de Macau, em combinação/substituição da rede elétrica. O Campus da UFRN em Macau dispõe, em abundância, de vento e sol, o que justificou a escolha. No diagrama da Fig. 8, a conexão com a rede elétrica está indicada através da chave que conecta o sistema de geração com a rede da COSERN, representada pelo PC (ponto de conexão).

O REF substitui o sistema de acoplamento mecânico usado por alguns fabricantes, ou evita o acoplamento eletrônico entre aerogerador e rede elétrica, adotado em outras tecnologias. Acionado por ele, o gerador produz tensões em corrente alternada, trifásicas, senoidais, de elevada qualidade. Além disso, o REF 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.

A potência processada pelo REF define seu tamanho, peso e custo. Ele deve ser dimensionado para operar, na maior parte do tempo, próximo da potência nominal, visando obter o máximo rendimento. Neste caso, adotou-se a mesma potência do aerogerador a ele vinculado. Por esse critério, se a velocidade do vento permitir geração da potência nominal do aerogerador, as baterias não precisarão fornecer energia. Caso a velocidade do vento seja mínima e a contribuição do aerogerador nula, o REF obterá toda a sua capacidade do banco de baterias. Dessa maneira, em termos de peso e volume, o REF equivale a uma máquina de indução de potência idêntica à do aerogerador. Em Silva (2015) e Silva *et al.* (2015) podem ser obtidos maiores detalhes sobre o REF.

### 4. PROGRAMAÇÃO

O algoritmo proposto por Blasques (2014) foi, inicialmente, usado como modelo para nortear a parte programável do projeto, implementada na linguagem Scilab. Na medida em que o trabalho evoluiu, considerando que é pequeno o conjunto de modelos de equipamentos existentes no mercado em dimensões adequadas ao projeto, a busca tornou-se menos extensa. Dessa forma, com algumas restrições impostas (citadas no item 4.2) no transcórre do estudo, foi possível encontrar um resultado satisfatório, sem a necessidade de recorrer a técnicas de otimização.

#### 4.1 Programa em Scilab

Na Fig. 9 é mostrado o fluxograma do algoritmo utilizado no programa, estando as principais equações apresentadas, indicadas entre parênteses no fluxograma. As referidas equações foram retiradas do trabalho de Blasques (2014) e do Manual de Sistemas Híbridos (BRASIL, 2008).

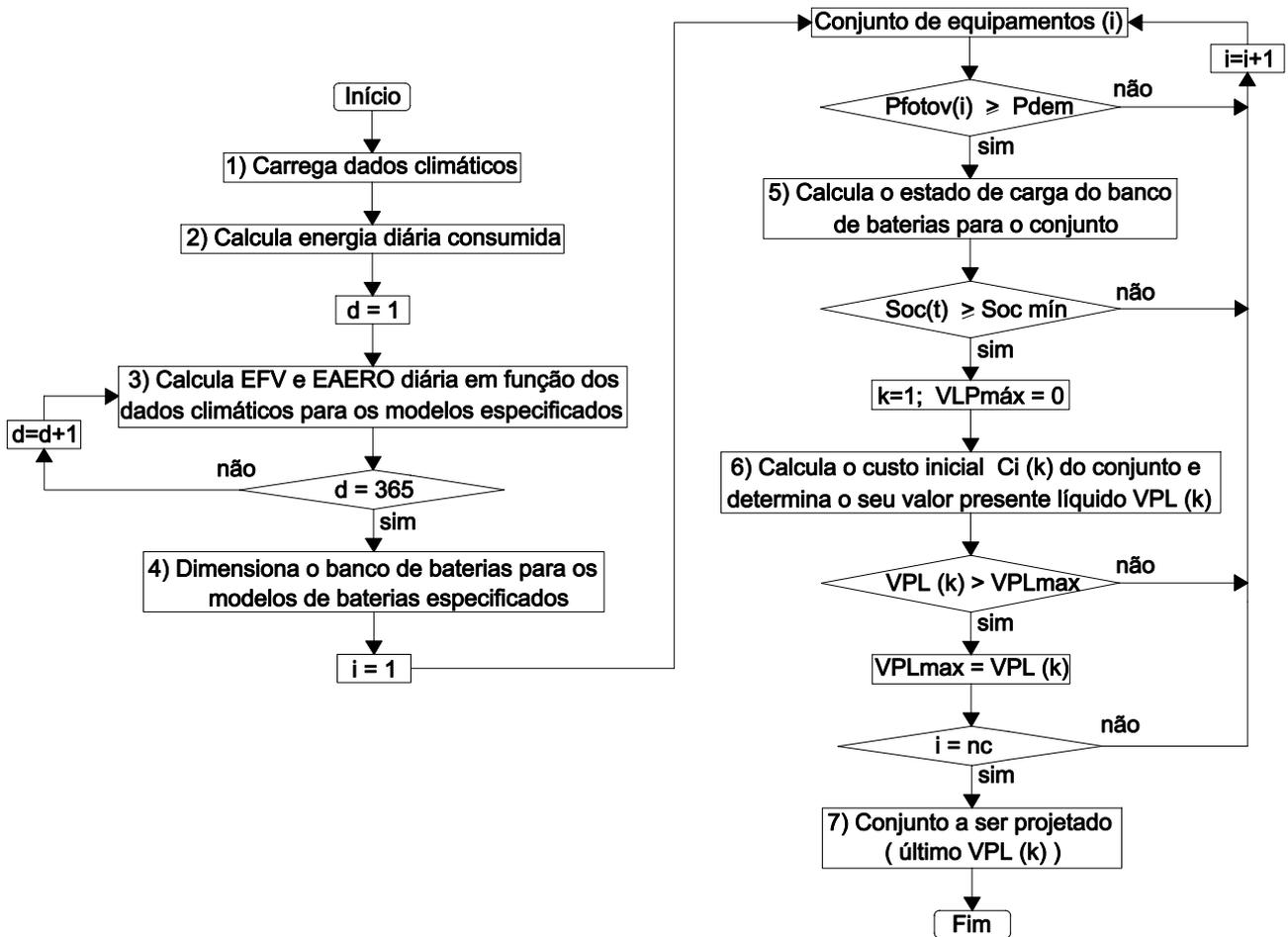


Figura 9 – Algoritmo utilizado (elaboração própria).

O programa seguiu a seguinte seqüência:

- 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 (Carga\_dia), através da integração da curva de carga;
- 3) Cálculo da energia EFV em kWh gerada pelos painéis fotovoltaicos, e da energia diária Paero\_dia em kWh gerada pelas turbinas eólicas, em cada um dos 365 dias do ano:

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

onde:  $p$  = perdas (20%) por dispersão e na fiação;  
 $W_p$  = potência de pico (nominal) em W do painel;  
 $HSP$  = hora de sol pleno (em horas);

$$Paero\_dia = \sum Paero(t) \quad (2)$$

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

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

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

- 4) Cálculo do banco de baterias, considerando uma autonomia de 6(seis) horas e 2% (fator 0,02 na Eq. 4) de perdas referentes a dispositivos de armazenamento e controle:

$$C_{bat} = C_{arg} a\_dia\_ladoCC \frac{6/24}{1 - 0,02} \quad (4)$$

onde  $a$  energia diária corrigida (lado c.c.):

$$C \text{ arg } a \text{ _ dia _ ladoCC} = \frac{C \text{ arg } a \text{ _ dia _ mais20}}{1 - 0,15} \quad (5)$$

onde 15% (fator 0,15 na Eq. 5) é referente as perdas de conversão e distribuição de energia gerada, e:

$$C \text{ arg } a \text{ _ dia _ mais20} = 1,2 C \text{ arg } a \text{ _ dia} \quad (6)$$

referente ao consumo diário, considera a possibilidade de uma demanda reprimida de 20% (fator 1,2 na Eq. 6), no lado c.a.; então a quantidade de baterias será:

$$Num \text{ _ baterias} = \frac{C_{bat}}{C_{e \text{ _ bateria}}} \quad (7)$$

onde a capacidade energética útil  $C_{e \text{ _ bateria}}$  de 01 bateria em kWh:

$$C_{e \text{ _ bateria}} = EI \times \frac{profundidade \text{ _ desc } arg \ a}{1000} \quad (8)$$

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

$$Soc(t) = Soc(t-1) + [E_{fotov}(t) - \frac{E_{dem}(t)}{\eta_{inv}}] \times \eta_{bat} \quad (9)$$

onde:  $E_{fotov}(t)$  = energia gerada pelos painéis no instante t, e  
 $E_{dem}(t)$  = energia demandada pela carga no instante t;  
 $\eta_{inv}$ ,  $\eta_{bat}$  = rendimento do inversor e da bateria, respectivamente.

6) Cálculo do investimento inicial, que corresponde a soma dos preços dos equipamentos de cada combinação, e do Valor Presente Líquido VPL (BRASIL, 2008):

$$I = preço \text{ _ tub} + preço \text{ _ paineis} + preço \text{ _ bat} \quad (10)$$

$$VPL = I + CNU + \sum_{j=1}^n VPa \quad (11)$$

onde: I = investimento inicial;  
 CNU = custos não uniformes trazidos ao presente;  
 VPa = valor presente associado a uma anuidade.

7) Escolha do conjunto de equipamentos a ser projetado, tendo por base não apenas o conjunto com maior VPL, de um total de  $n_c$  (mostrado no algoritmo da Fig. 9) combinações, mas também seguindo as orientações fornecidas pelo Manual de Sistemas Híbridos (BRASIL, 2008) e levando-se em conta as informações presentes na tese de Blasques (2014). Além disso, optou-se em escolher um conjunto turbina-REF de 30 kW ao invés do de 20 kW indicado pelo programa, visando uma boa margem de segurança em função de uma futura expansão de carga, além da prevista no projeto.

## 4.2 Considerações

O objetivo final deste trabalho é a elaboração de um projeto de geração de energia elétrica. Optou-se por limitar a quantidade de possíveis equipamentos a serem escolhidos de acordo com a disponibilidade do mercado. Entre aqueles que apresentavam especificações técnicas semelhantes, porém de fabricantes diferentes, foi selecionado um modelo. Em consequência, a gama de equipamentos disponíveis para fazer parte da escolha ficou: 5 (cinco) modelos turbina-REF, 10 (dez) modelos de painéis fotovoltaicos e 8 (oito) modelos de baterias.

Na elaboração do programa foram feitas as seguintes considerações:

- os dados climáticos são referentes ao período de 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2014, apresentados dentro de intervalos específicos de hora em hora;
- os preços dos equipamentos são 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;
- o rendimento do Regulador Eletromagnético de Frequência foi considerado 78% (Silva, 2015);
- no cálculo do estado de carga dos bancos de baterias (Blasques, 2014) foi considerado o rendimento do inversor igual a 0.9 e o rendimento das baterias 0.8 carregando e 1.0 descarregando;
- o Campus de Macau atende aos cursos universitários, tendo seu horário de funcionamento das 08 às 22 horas;
- o consumo mensal de energia elétrica referente ao ano de 2014, com base na curva de carga, foi de 8900 kWh.

## 5. PROJETO

O projeto foi elaborado visando atender à demanda de energia elétrica para o Campus de Macau UFRN, mediante um sistema híbrido composto principalmente por turbina eólica com REF associados a painéis fotovoltaicos conectados à rede da concessionária local (COSERN). Inclui a instalação de gerador diesel, a ser utilizado em caráter excepcional, quando todos os demais elementos de suprimento de energia elétrica não funcionarem por algum imprevisto. Dentro da topologia apresentada, também está presente um banco de baterias para permitir uma autonomia de 6(seis horas) ao sistema. A partir desses requisitos, o programa de escolha da melhor configuração selecionou aquela que representou o menor valor presente líquido, descartando todas as demais combinações. Numa etapa subsequente do trabalho será feito um estudo comparativo de custos, num horizonte de vinte anos, entre a solução obtida e a permanência do sistema atual, cuja energia é exclusivamente adquirida da COSERN.

### 5.1 Plantas e detalhamentos

Foram elaboradas quatro pranchas para explicitar o projeto: a primeira contendo a planta de locação e de situação do Campus de Macau; a segunda contendo a planta baixa do terreno com a localização dos painéis fotovoltaicos, do conjunto turbina-REF, da casa de equipamentos e controle, além de mostrar a interligação entre eles; a terceira contendo a sala de equipamentos e controle; e a quarta contendo esboço do sistema e diagrama unifilar.

### 5.2 Memorial Descritivo

O Memorial Descritivo tem por objetivo orientar a execução do projeto de geração de energia elétrica, que visa atender às necessidades da unidade Campus de Macau da UFRN, situada em um terreno de aproximadamente 4.300 metros quadrados. Os dados de latitude e longitude do município de Macau-RN, são: 05°07min/Sul e 36°e 46min/Oeste.

**Turbina-REF, painéis e baterias.** Com relação à turbina-REF, aos painéis fotovoltaicos e ao banco de baterias: o aerogerador escolhido terá uma potência de 30 kW, composto por torre de 18 m de altura, eixo horizontal e três pás, Regulador Eletromagnético de Frequência-REF e gerador síncrono. A parte referente à geração fotovoltaica, será composta por 518 painéis 245 W, policristalino. Do total de painéis fotovoltaicos, 182 unidades serão instaladas na cobertura do prédio do Campus de Macau e 336 unidades serão instaladas nos pátios, em estruturas que farão parte do estacionamento a ser construído. O banco de baterias será composto por 150 unidades estacionárias de 12 V, 220 Ah, apresentando um arranjo de 5(cinco) fileiras ligadas em paralelo, sendo cada fileira composta por 30(dez) unidades ligadas em série. As mesmas serão instaladas em estantes com capacidade para abrigar 40(quarenta) baterias, sendo que cada estante deverá possuir 4(quatro) prateleiras que irão comportar 10(dez) baterias em cada prateleira. Serão necessárias 4(quatro) estantes para comportar o arranjo e cada estante deverá ser fabricada em material de aço galvanizado com capacidade para suportar o peso de 40(quarenta) baterias.

**Gerenciador.** O gerenciador será o software computacional responsável pelo balanço energético do sistema híbrido, abrindo e fechando as respectivas chaves de acordo com a potência solicitada, cuja curva de carga é mostrada na Fig. 11. Ao mesmo tempo controlará a quantidade de energia fornecida ao conjunto turbina-REF, pelos painéis fotovoltaicos.

No caso da energia entregue pelas fontes alternativas não ser suficiente para atender à demanda, como também o sistema de armazenamento, o gerenciador deverá buscar na rede COSERN o suprimento da diferença.

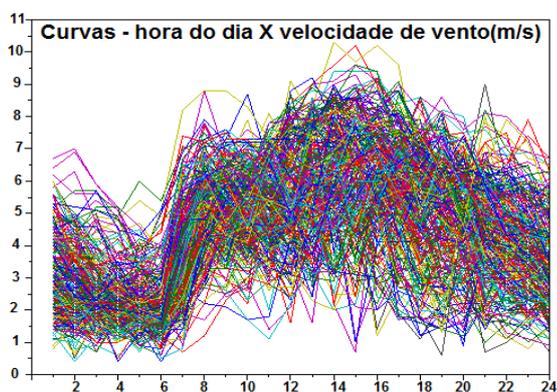


Figura 10 – Gráfico velocidade de vento em m/s.

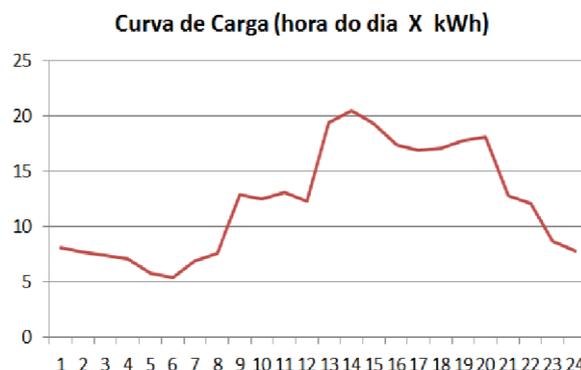


Figura 11 – Curva de carga do Campus de Macau.

Com relação à Fig. 10, pode ser observado o gráfico referente aos dados de velocidade de vento fornecidos pelo INMET, no qual a hora UTC corresponde ao eixo horizontal e a velocidade de vento em m/s respectiva, pode ser vista no eixo vertical. O gráfico é referente aos dados de velocidade de vento da estação climatológica de Macau-RN.

## 6. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um projeto de SHGE, com os seguintes objetivos: viabilizar a redução dos gastos de energia elétrica da UFRN; ser estendido a outras unidades da Universidade; desenvolver uma estratégia de seleção de equipamentos capaz de ser aplicada amplamente pelo setor público ou privado; contribuir para simplificar a estratégia de controle e na melhoria da qualidade de energia no ponto de conexão com a rede COSERN, devido a adoção do REF, desenvolvido na UFRN; assim como apresentar uma alternativa simples envolvendo os princípios de *smart grid* e operação isolada de rede.

O principal fator a destacar foi o desenvolvimento de um programa que escolhe as dimensões dos principais componentes dentro de critérios, visando garantir o atendimento da demanda de energia elétrica, maximizando o uso de geração de energias renováveis e minimizando os custos totais.

## REFERÊNCIAS

- ATLAS do Potencial Eólico Brasileiro. 2001. Brasília, Ministério de Minas e Energia.
- 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) - PPGEE, UFPA, Belém.
- BRASIL, 2008. MME-PNUD-UFPA-FADESP. Manual de Implantação de Sistemas Híbridos Fotovoltaico-eólico-diesel para Geração de Energia Elétrica. Belém, 132 p.
- BRASIL, 2010. Ministério de Minas e Energia. Relatório Smart Grid. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. Brasília, 229 p.
- BRASIL, 2014. Ministério de Minas e Energia. Capacidade Instalada de Geração Elétrica: Brasil e mundo. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/0/Capacidade+Instalada+de+EE+2014.pdf/>>. Acesso em: 10 set. 2014.
- BRASIL, 2015. Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2015. Rio de Janeiro, 62 p.
- 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.
- Global Winds Energy Council. Wind power photos worldwide. Disponível em <<http://www.gwec.net/media-center/photos/>>. Acesso em: 04 set. 2015.
- Gupta, S. C., Kumar, Y.; Agnihotri, G., 2011. Renewable Energy Analysis and Sizing Tool. Journal of Electrical Systems, Bhopal, Jul 2011. Disponível em: [http://journal.esrgroups.org/jes/papers/jes7\\_2\\_6.pdf](http://journal.esrgroups.org/jes/papers/jes7_2_6.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2014.
- Luciano, A. B., 2014. Aplicações Eletroeletrônicas de Ligas Amorfas e Ligas Nanocristalinas no Contexto das Redes Inteligentes. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA. Buenos Aires. Disponível em: <<http://www.cidel2014.com/papers/460.pdf>>. Acesso em: 04 set. 2015.
- 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) - PPGEEC, UFRN, Natal.
- Silva, P. V.; Pinheiro, R. F.; Salazar, A. O.; Santos Jr., L. P.; 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.

### HYBRID SYSTEM FOR GENERATING ELECTRICITY CONNECTED TO THE GRID, INCLUDING THE ELECTROMAGNETIC FREQUENCY REGULATOR - EFR

**Abstract.** *This paper presents the project of power generation to supply the Campus of Macau City of Federal University of Rio Grande do Norte - UFRN using a hybrid system connected to the grid of the local concessionary company of electrical energy (COSERN) composed of photovoltaic panels, battery bank, wind turbine including EFR - Electromagnetic Frequency Regulator. The excellent existing climatic conditions in Rio Grande do Norte and the need for studies involving alternative sources, served as incentive for the development of this work. The highlight of the project is the computer software (Scilab platform, version 5.5.2) designed to get the best combination of its main components which resulted in a set 30 kW wind turbine including the REF, 520 polycrystalline photovoltaic panels 245 Wp and 150 batteries, 12 V 220 Ah, in addition to other components, to supply a daily demand of approximately 295 kWh. The resulting design consists of four plants, Descriptive Memorial and list of materials.*

**Key words:** *Electric power generation, Hybrid systems project, Electromagnetic frequency regulator.*