

MODELAGEM DE UM SISTEMA HÍBRIDO – SOLAR FOTOVOLTAICO E EÓLICA - DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Fernando de Lima Caneppele – fernando@itapeva.unesp.br

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, Itapeva - SP

Odivaldo José Seraphim – seraphim@fca.unesp.br

UNESP - Universidade Estadual Paulista, FCA – Faculdade de Ciências Agrônomicas,
DEnR – Departamento de Engenharia Rural, Botucatu - SP

Luis Roberto de Almeida Gabriel Filho – gabrielfilho@tupa.unesp.br

UNESP - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Tupã, Tupã - SP

Resumo. *Este trabalho apresenta uma modelagem fuzzy de um sistema híbrido de geração de energia de pequeno porte que utiliza energia solar fotovoltaica e energia eólica. A metodologia proposta pretende aperfeiçoar o controle de uso das fontes renováveis de energia através do uso e aplicação da teoria fuzzy. O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Energização Rural do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agrônomicas, Fazenda Experimental Lageado,, localizada no município de Botucatu, São Paulo. Quando utilizamos um sistema de controle baseado na lógica fuzzy, é atingido o ponto de máxima geração de energia, desta forma transferindo toda a energia gerada à partir das fontes alternativas, solar-fotovoltaica e eólica, à carga e/ou as baterias quando seu uso não imediato. O modelo utilizado adota três variáveis de entrada, que são: velocidade do vento, radiação solar e carga do banco de baterias. Com base no sistema apresentado, o que se propõe é substituir o controlador de carga por um controle baseado em teoria fuzzy, para o um melhor aproveitamento das fontes alternativas de geração de energia. Foram utilizados para as simulações o software MATLAB, conforme citado ao longo do trabalho. Neste ambiente serão analisadas e simuladas todas as modelagens matemáticas, regras e demais variáveis descritas no sistema fuzzy. Este modelo pode ser utilizado para a implementação de um sistema de controle de sistemas híbridos de geração de energia, proporcionando o melhor aproveitamento das fontes de energia, sol e vento, de modo que possamos extrair o máximo de energia possível dessas fontes alternativas sem nenhum prejuízo ao meio ambiente.*

Palavras-chave: Energia Solar, Energia Eólica, Fuzzy

1. Introdução

A energia proveniente do sol é a responsável por inúmeros fenômenos naturais que ocorrem neste planeta, entre eles a formação das zonas de altas pressões, responsáveis pelos fluxos de vento. O petróleo, gás natural e carvão formaram-se em consequência dos resíduos de plantas e animais que sobreviveram devido a um ciclo em que o sol foi fundamental. As reações químicas no processo de decomposição da matéria orgânica no solo. O processo de evaporação, que permite o represamento das águas etc. Percebe-se que a energia do sol é a responsável de forma indireta por praticamente toda a energia na terra (ANEEL, 2007).

Para Tomalsquim (2003), o sol como fonte de calor e luz, é uma das fontes de energia mais promissoras para enfrentar as crises energéticas deste milênio, uma vez que existem várias técnicas disponíveis para o aproveitamento desta fonte energética. A energia proveniente do sol é a responsável por inúmeros fenômenos naturais que ocorrem neste planeta, entre eles a formação das zonas de altas pressões, responsáveis pelos fluxos de vento.

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, o que corresponde a 1000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este fato vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (CEPEL/CRESESB, 1999).

Fraidenraich (1995) entende que sistema fotovoltaico é o conjunto de elementos capazes de converter a energia radiante solar em energia utilizável pelo usuário, mediante o emprego de fotocélulas. Tal sistema é constituído de um elemento conversor, formado pela interligação elétrica de vários módulos, que geralmente recebe o nome painel fotovoltaico, e por outros aparatos relativamente convencionais que transformam ou armazenam a energia elétrica para que possa ser utilizada pelo usuário.

As energias solar e eólica são fontes renováveis e não poluentes, constituindo recursos alternativos opcionais para geração de energia elétrica. Muitos países, com velocidades médias de vento na faixa de 5 a 10 ms⁻¹, estão utilizando sistemas de conversão da energia eólica em energia elétrica (geradores eólicos), em um esforço para minimizar a dependência de combustíveis fósseis que não são renováveis (BELLARMINE, 1996).

Atualmente milhares de sistemas fotovoltaicos, em regiões com radiação solar média diária na faixa de 3 a 6 kWhm⁻², estão instalados ao redor do mundo, provendo pequenas potências, aplicações em redes independentes ou em sistemas individuais em regiões isoladas (MAHMOUD, 1990).

Cerca de 2% da energia solar incidente sobre a Terra é convertida em energia eólica. Este percentual, embora pareça pequeno, representa centena de vezes a potência anual instalada nas centrais elétricas do mundo (DWIA, 2007a).

Segundo Moragues e Rapallini (2007) o aquecimento diferenciado da superfície terrestre, pela ação da radiação solar, é a causa principal dos ventos. Nas regiões equatoriais tem-se uma maior absorção da radiação solar que nas polares. O ar quente que se eleva nos trópicos é substituído pelas massas de ar frios superficiais provenientes dos pólos. O ciclo se fecha com o deslocamento do ar quente até os pólos pelas regiões mais elevadas da atmosfera. Entretanto, como a Terra gira, esta circulação é alterada pelo movimento de rotação do globo gerando zonas de ventos dominantes que respondem a padrões definidos.

Segundo Siqueira (2005), o gerador eólico individual não produz energia utilizável por porção considerável de tempo durante o ano e, nem tão pouco em todas as horas do dia. Isto se deve às variações ocorridas na intensidade da velocidade do vento, abaixo do valor necessário para acionar o gerador eólico. Para superar este tempo de baixa produção, o uso de sistemas híbridos é recomendado.

Embora a energia solar seja ambientalmente benigna, e disponível em abundância, o sistema fotovoltaico individual é uma opção cara. Outra desvantagem principal de sistema fotovoltaico individual é a dependência em horas de brilho de sol variáveis, resultando em pequena capacidade de utilização, como também, na necessidade de armazenamento de energia e sistemas de complementação (HANSEN, 1998).

Barbosa et al. (2004), considera um sistema híbrido aquele que utiliza conjuntamente mais de uma fonte de energia, dependendo da disponibilidade dos recursos energéticos locais, para geração de energia elétrica. A opção pelo hibridismo é feita de modo que uma fonte complemente a eventual falta da outra.

Rosas e Estanqueiro (2003) avaliam que o objetivo destes sistemas é produzir o máximo de energia possível a partir das fontes renováveis, enquanto mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificada para cada projeto.

Segundo Beyer et al. (1995) armazenando-se a energia em banco de baterias, o sistema é capaz de absorver o excedente de energia quando a disponibilidade eólica é elevada e garantir o armazenamento da energia demandada para complementar – ou suprir – a energia produzida pelo aerogerador quando a disponibilidade eólica não é suficiente. O resultado tem sido um controle adequado da tensão e da frequência elétrica e uma redução considerável do combustível consumido e da frequência dos ciclos liga-desliga, inclusive para tempos de armazenamento pequenos.

No passado havia um grande interesse na construção de uma fundamentação lógica para a tomada de decisão sob condições de incerteza. Muitos autores foram pioneiros no tratamento das incertezas, mas a maioria preferiu construir funções de decisões que dependem da utilização de informações prévias ou de probabilidades subjetivas sobre a origem da incerteza (ZADEH, 1975).

Modelos matemáticos implantados em programas computacionais têm apresentado significativos resultados em sistemas não lineares e complexos nas mais diversas áreas, entre as quais, a teoria de controle, modelo de reconhecimento e análise de decisão. Esses programas são capazes de resolver questões que os modelos clássicos, via de regra, não são capazes de fazê-lo. São os chamados de sistemas inteligentes dentre os quais se destacam as Redes Neurais e a Lógica Fuzzy (SOUZA, 2004).

Informações vagas, incertas, qualitativas, comunicações verbais, capacidade de aprendizado e de formulação de estratégias de tomadas de decisão são características humanas. Portanto, a teoria fuzzy é frequentemente referida como “inteligente”, devido ao fato de simular a inteligência humana (MCNEILL e FREIBERGER, 1994).

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Energização Rural do Departamento de Engenharia Rural da UNESP, Faculdade Ciências Agrônomicas, Fazenda Experimental Lageado (Figura 1), localizada no município de Botucatu, São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' Latitude Sul (S) e 48° 26' Longitude Oeste (W) e altitude média de 786 metros acima do nível do mar. A velocidade média mensal do vento a 10 m de altura é $3,1 \text{ ms}^{-1}$ e a energia solar global média mensal diária é de $4772,13 \text{ Whm}^{-2}$ (SILVA, 2000).

Uma vista panorâmica da área experimental onde se encontram os equipamentos utilizados nos experimentos é mostrada na Figura 1.

Os equipamentos para medição das variáveis meteorológicas e de aquisição de dados dos experimentos que são realizados no Laboratório de Energização Rural foram instalados em uma torre UT930 da CAMPBELL.

Nesta estrutura encontra-se um datalogger CR23X da CAMPBELL para coletar e armazenar os dados enviados pelos sensores meteorológicos e elétricos e que posteriormente são utilizados nas pesquisas deste laboratório.

Para efeito de projeto foram utilizados dados obtidos pela estação acima mencionada. Foram utilizados também dados meteorológicos da mesma estação do período 2004 a 2005. Nas Tabelas 1 e 2, exemplos de dados coletados e já integralizados de acordo com Siqueira (2005), referentes ao período citado. Os dados completos podem ser consultados em Caneppele (2007).

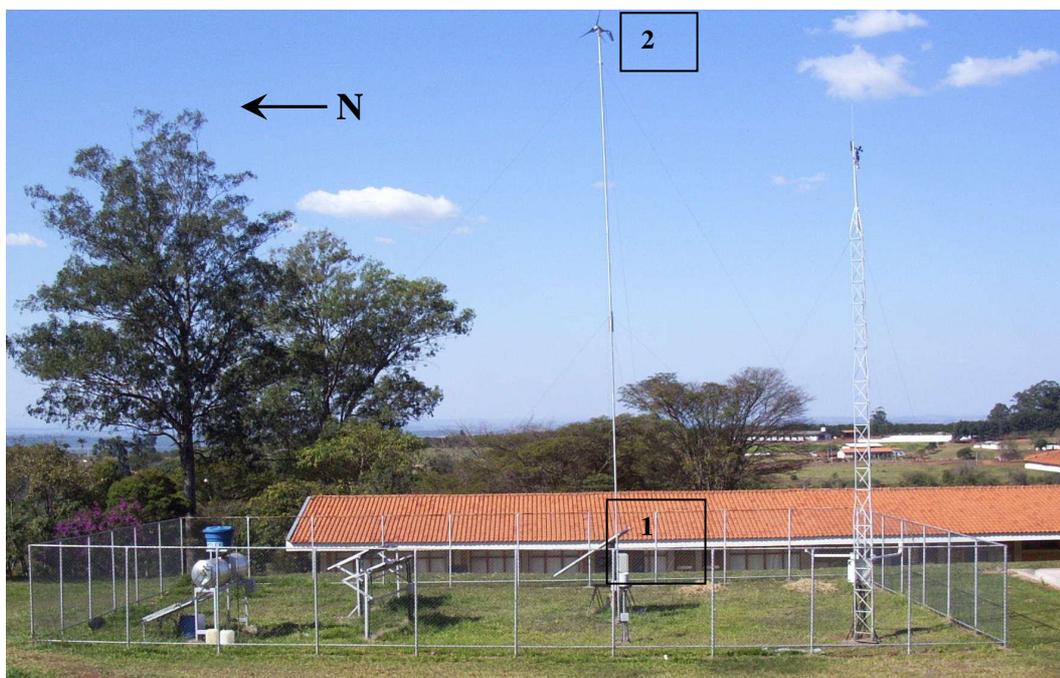


Figura 1 - Vista panorâmica do NEAR e da instalação do sistema híbrido eólico fotovoltaico. 1 - Painel fotovoltaico do sistema; 2 - Aerogerador do sistema; N = Norte geográfico do local.

Tabela 1. Características da energia eólica, velocidade do vento no período de 01/07 a 31/07 de 2005.

<i>Dia/Mês</i>	<i>Velocidade do Vento Média Diária (ms^{-1})</i>	<i>Energia Disponível no Vento Total Diária (Wh)</i>
1/7	3,5	2,2
2/7	2,6	19,5
3/7	4,5	420,5
4/7	2,8	4,7
...
28/7	0,0	0,0
29/7	3,0	29,7
30/7	2,6	111,2
31/7	2,1	22,5

Observa-se que não há uma relação direta e proporcional da velocidade do vento com a energia disponível no vento. Este se deve à característica intermitente do vento, rajadas e outros fatores que fazem com que nem todo vento venha a gerar energia.

Outra condição importante e que pode limitar a geração eólica é o fato da bateria estar carregada. Se estiver, então o aerogerador automaticamente para de funcionar. Este fato é uma das justificativas para o uso de mais baterias e o gerenciamento através de um controlador fuzzy.

Os dados elétricos, onde se encontram os rendimentos do sistema híbrido serão do período setembro de 2004 a agosto de 2005, conforme exemplo na Tabela 3.

Para as simulações referentes ao uso da teoria fuzzy para controle, utilizou-se o ambiente de computação científica MATLAB e estas simulações foram realizadas junto ao Departamento de Engenharia Elétrica da FEB-UNESP e junto ao Departamento de Matemática da FC-UNESP, ambos localizados no campus da UNESP em Bauru-SP.

Diversos usos distintos podem ser feitos através do MATLAB, dentre eles o uso de vários toolbox, cada qual destinado a tratar diferentes classes de problemas científicos. Dentre estes, foi utilizado neste trabalho o Fuzzy Logical Toolbox.

Tabela 2. Características da energia solar, irradiância no período de 01/07 a 31/07 de 2005.

<i>Dia/Mês</i>	<i>Irradiância Solar Média Diária (W.m⁻²)</i>	<i>Energia Solar Global Total Diária (Wh)</i>
1/7	610,3	13.293,2
2/7	582,8	12.693,1
3/7	275,3	5.698,0
4/7	164,0	3.600,8
...
28/7	463,8	10.770,5
29/7	626,1	14.426,3
30/7	626,2	14.427,4
31/7	617,2	13.886,4

Tabela 3. Resumo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido eólico-fotovoltaico, no período de 01/07 a 31/07 de 2005.

<i>Dia/Mês</i>	<i>Energia Solar Disponível (Wh)</i>	<i>+Eólica</i>	<i>Energia Total Diária Gerada pelo Sistema Híbrido(Wh)</i>	<i>Rendimento do Sistema Híbrido (%)</i>
1/7	13.295,4		1.066,6	8,0
2/7	12.712,7		1.064,4	8,4
3/7	6.118,5		511,9	8,4
4/7	3.605,4		343,0	9,5
...
28/7	10.770,5		844,7	7,8
29/7	14.456,0		1.169,0	8,1
30/7	14.538,7		1.048,2	7,2
31/7	13.909,0		1.095,3	7,9

2.2 Métodos

Em relação aos dados ambientais que foram considerados (radiação solar e velocidade do vento) podemos estabelecer os limites superior e inferior de acordo com dados obtidos da estação meteorológica do Laboratório supra citado.

Analisando-se todos os dados de radiação solar e velocidade do vento no período citado e que tem potencial para geração de energia elétrica conforme Siqueira (2005), podemos então estabelecer os limites de dados que serão utilizados para o projeto do controlador fuzzy. Na Tabela 4, temos a faixa de valores estabelecidos:

Tabela 4. Limites superior e inferior para Radiação Solar Global e Velocidade do Vento.

	<i>Limite Inferior</i>	<i>Limite Superior</i>
Radiação Solar Global	300 W/m ²	1200 W/m ²
Velocidade do Vento	3 m/s	12 m/s

O uso da teoria fuzzy para o controle de um sistema híbrido de geração de energia eólico-fotovoltaico de pequeno porte nos possibilitará aproveitar o máximo de energia das variáveis meteorológicas sobre a produção de energia elétrica pelo sistema.

A escolha das variáveis de entrada deve levar em consideração o fato de o controlador fuzzy ser proposto para a tarefa de substituir um operador humano.

Na Figura 2, segue o diagrama em blocos de um sistema híbrido de geração de energia para uma pequena residência no meio rural. Este sistema fornecerá os dados para o desenvolvimento da metodologia que será descrita a seguir.

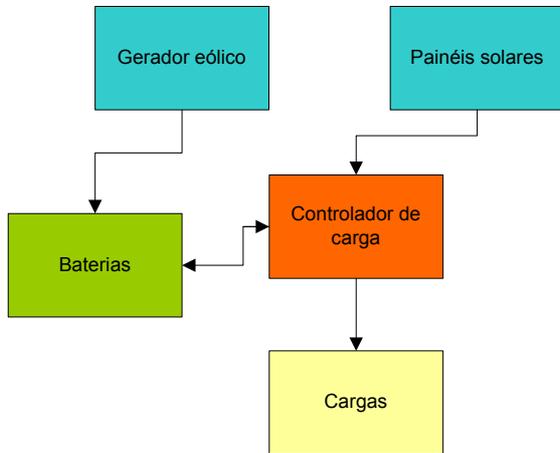


Figura 2. Sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural.

A metodologia proposta pretende aperfeiçoar o controle de uso das fontes renováveis de energia através do uso e aplicação da teoria fuzzy.

Com base no sistema apresentado, o que se propõe é substituir o controlador de carga por um controle baseado em teoria fuzzy, para o um melhor aproveitamento das fontes alternativas de geração de energia. Na Figura 3, temos um modelo que representa a inclusão do controle fuzzy para o sistema anteriormente apresentado. É a partir deste diagrama que será feita a modelagem do controlador fuzzy atuando no sistema híbrido de geração de energia.

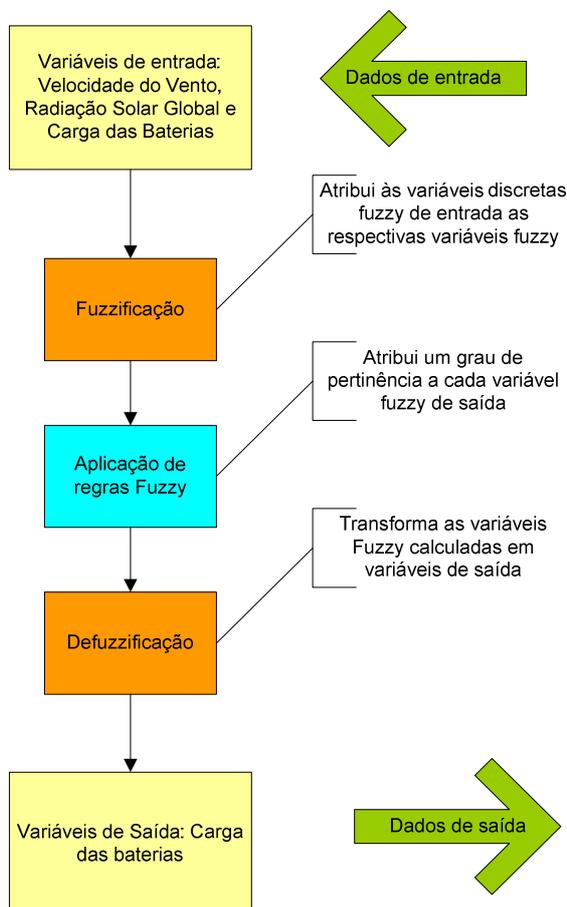


Figura 3. Modelo Fuzzy para aplicação em um sistema híbrido solar-fotovoltaico e eólico.

O desenvolvimento do controlador foi baseado em simulações realizadas no MATLAB, que possui várias caixas de ferramentas computacionais, entre as quais algumas para simulação de sistemas com lógica fuzzy.

Seguindo a sistemática proposta para o desenvolvimento de um controlador fuzzy, a primeira etapa a ser realizada é a conversão das variáveis de entrada e saída em uma representação conhecida como conjuntos fuzzy e denomina-se fuzzyficação.

De acordo com Amendola, Souza e Barros (2005), inúmeros são os tipos de funções de pertinência que podem ser utilizadas, mas neste trabalho optou-se por uma combinação das funções triangular e trapezoidal devido a sua facilidade de geração e excelente precisão nos resultados além de estarem disponíveis para pronta utilização na maioria das ferramentas matemáticas computacionais.

As funções de pertinência triangulares são caracterizadas por uma terna (a, b, c), onde a, b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume. Quando utilizamos um software simulação matemática, o que o toolbox executa é a seguinte função (AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{se } b < x \leq c \\ 0 & \text{se } x > c \end{cases}$$

Já As funções de pertinência trapezoidais são caracterizadas por um conjunto de quatro valores de a, b, c e d, onde a e d determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência assume valores diferentes de zero, e b e c determinam o intervalo dentro do qual a função de pertinência é máxima e igual a 1. Da mesma forma que as triangulares, o que o toolbox executa é a seguinte função (AMENDOLA; SOUZA; BARROS, 2005):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{se } a < x \leq b \\ 1 & \text{se } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & \text{se } c < x \leq d \\ 0 & \text{se } x > d \end{cases}$$

A segunda etapa estabelece as regras que relacionarão as variáveis de entrada e saída. Essas regras são obtidas do conhecimento e da experiência humana e denomina-se base de regras.

A terceira etapa é denominada defuzzyficação e efetua a conversão dos conjuntos fuzzy em um número que representa o estado da saída do sistema para uma determinada condição.

A revisão de literatura e o estado da arte no que diz respeito aos modelos e metodologias existentes para projetos de sistemas híbridos de energia, eólico e fotovoltaico, leva a escolha das seguintes variáveis que serão “fuzzificadas”:

- Para energia solar fotovoltaica, será considerada a radiação solar direta, em watts por metro quadrado [W.m⁻²].
- Para energia eólica, será considerada a velocidade do vento, em metros por segundo [m.s⁻¹].
- Para as baterias, a tensão em circuito aberto das mesmas, em volts [V]. (Garcia, 2004)

Com essas variáveis, o sistema fuzzy proposto interpretará, de acordo com as regras a serem descritas, qual será a fonte de alimentação do sistema, qual terá prioridade e que forma serão carregadas as baterias.

Para a obtenção dos conjuntos fuzzy que representam o comportamento da variação da radiação solar (RS), da velocidade do vento (VV) e da carga das baterias(CB) é necessário, inicialmente, definir os limites inferior e superior de (RS), de (VV) e de (CB), bem como a amplitude dos intervalos de variação destas duas grandezas.

Na Tabela 5 são mostrados estes limites e intervalos. Eles são obtidos em função do conhecimento prévio do comportamento das grandezas, os quais dependem da região onde está instalada o sistema híbrido solar-eólico de geração de energia e também dos equipamentos usados para a montagem desta estação.

De acordo com a teoria Fuzzy, cada elemento do conjunto fuzzy possui um grau de pertinência, o qual representa o valor verdade (pertinência) do elemento dentro do conjunto, mostrando o comportamento relativo da grandeza em cada intervalo de variação. O grau de pertinência tem variação no intervalo fechado de números reais [0,1].

Tabela 5. Resumo dos valores adotados para a simulação do controlador fuzzy.

Variável	Mínimo	Máximo	Quartis
Radiação Solar (RS)	300 W.m ⁻²	1200 W.m ⁻²	300 W.m ⁻²
Velocidade do Vento (VV)	3 m.s ⁻¹	12 m.s ⁻¹	3 m.s ⁻¹
Carga das Baterias (CB)	11 V	13 V	1 V

Pela construção das figuras (RS), de (VV) e de (CB), cada elemento de (RS), de (VV) e de (CB) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

Na Figura 4, estão ilustradas as funções de pertinência associadas a variável de entrada Radiação Solar do controlador proposto. Para a variável Velocidade do Vento e Carga das Baterias – A, B e C do controlador proposto, segue-se a montagem utilizando o mesmo método..

O mapa de regras é elaborado durante o projeto do sistema em si, identificado todas suas características e detalhes e, irá auxiliar na identificação das decisões a serem tomadas durante a operação do processo. Ele é preenchido com o auxílio de um especialista, ou seja, um operador humano do sistema a ser controlado.

Utilizando as teorias da lógica fuzzy, este mapa de regras pode ser gerado utilizando linguagem computacional do tipo: SE (Condição) ENTÃO (Consequência).

Elas são escritas no editor de regra do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB que disponibiliza vários tipos de operações entre as funções de pertinência fuzzy e ainda permite que sejam criados novos tipos de funções de pertinência. Este procedimento é representado na Figura 5.

À partir de uma regra estabelecida, vão se repetindo os procedimentos de acordo com a entrevista ao especialista, colocando-se todas as situações que as variáveis podem apresentar e como o controlador dará a resposta de acordo com as entradas.

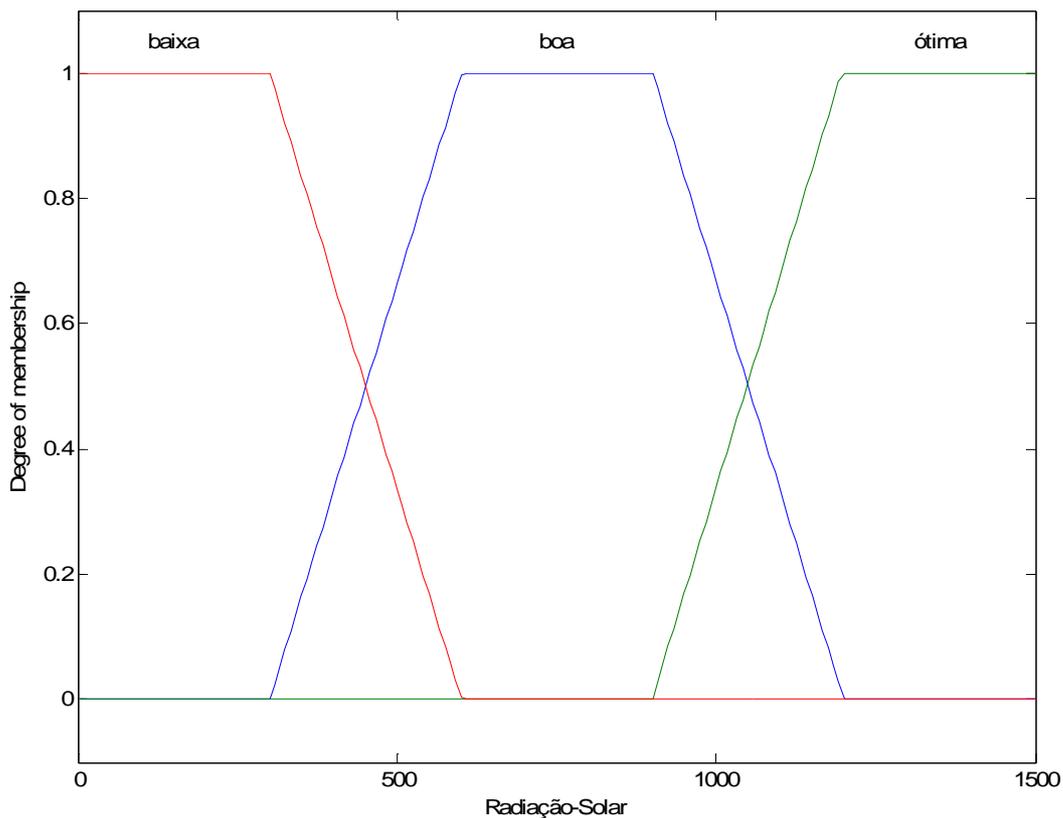


Figura 4. Função de pertinências associada a variável de entrada “Radiação Solar”.

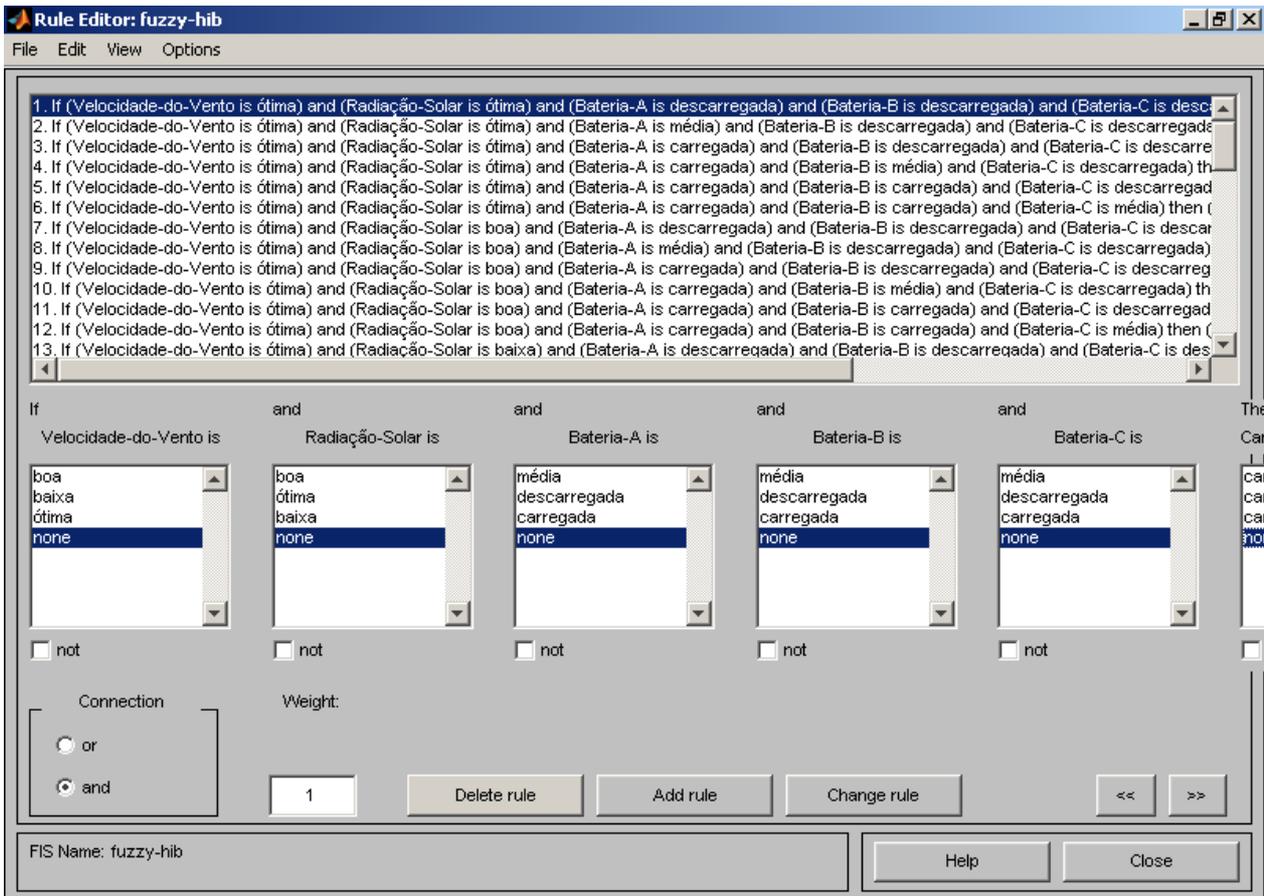


Figura 5 Determinação e inserção das Regras Fuzzy para o sistema de controle.

3. Resultados e discussão

Considerando os vários fatores que influenciam na eficiência da geração híbrida, gerenciar as fontes renováveis e usar baterias adicionais, representa aumento significativo do aproveitamento da energia renovável, utilizando os mesmos equipamentos e aplicando controle baseado em teoria fuzzy.

Como resultados do sistema de controle fuzzy proposto temos, primeiramente, o ganho de energia gerada com uso de um controle inteligente que possibilita utilizar de modo eficiente as fontes alternativas de energia (solar fotovoltaica e eólica) e também gerenciar o armazenamento de energia não utilizada pelas cargas, utilizando um banco de baterias.

Ao mesmo tempo, temos o desenvolvimento de uma metodologia de projeto de um controlador baseado em teoria fuzzy para gerenciar um sistema híbrido de geração de energia.

Para o período de estudo de 1 ano, os ganhos mês a mês e o total estão ilustrados na Figura 6. É considerando o maior rendimento do período e assim temos a energia total gerada no período passando 340,7 KWh para 498,3 KWh, algo em torno de 157,5 KWh de ganho de energia gerada no período, o que representa 31,6 % de ganho.

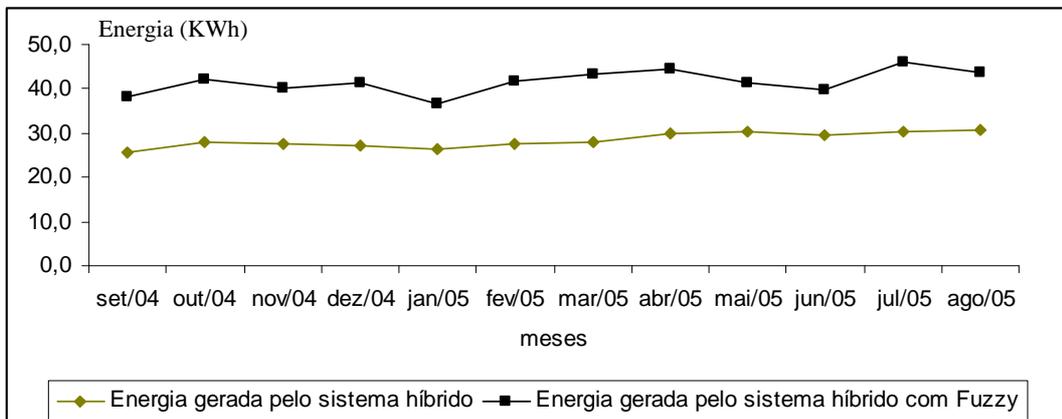


Figura 6. Energia gerada sem Fuzzy e Energia gerada com controle Fuzzy mensal

Conforme descrito anteriormente, temos então o sistema de controle proposto já em funcionamento no MATLAB. De acordo com a Figura 6, o sistema tem 5 entradas, 1 saída e 54 regras que determinam seu comportamento.

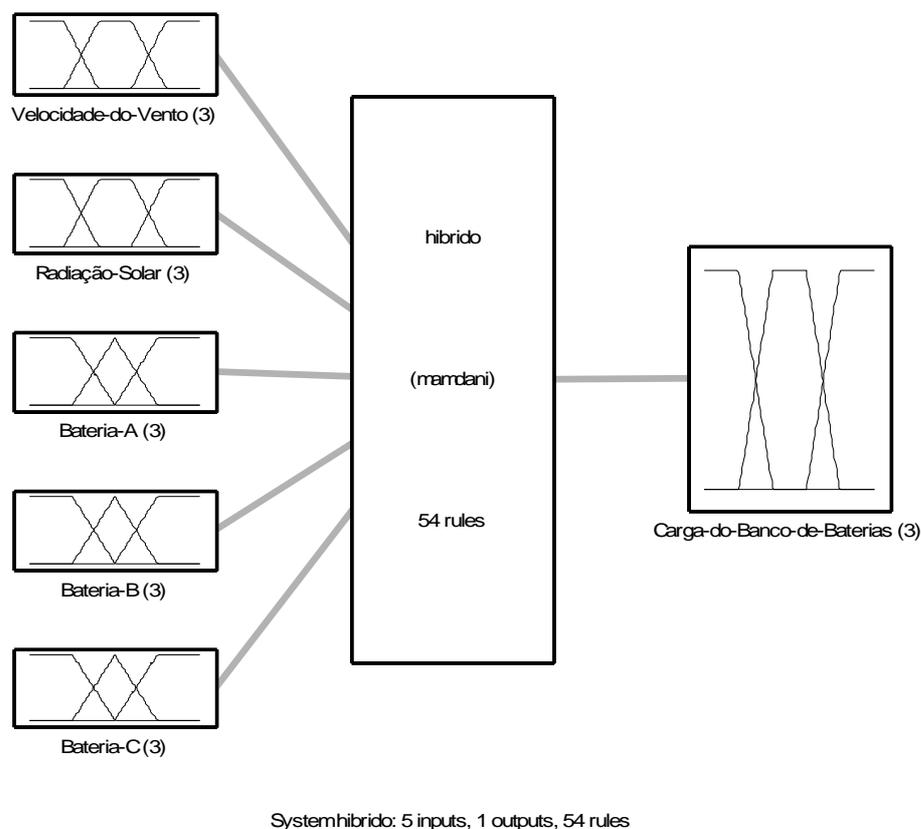


Figura 6. Resumo do sistema de controle fuzzy para um sistema híbrido de geração de energia (solar-fotovoltaica e eólica)

4. Conclusões

Considerando os vários fatores que influenciam na eficiência da geração híbrida (solar-fotovoltaica e eólica), gerenciar as fontes renováveis e usar baterias adicionais controlando-as através do uso de teoria fuzzy, representa aumento significativo do aproveitamento da energia renovável, utilizando os mesmos equipamentos e aplicando-se este novo controle.

Com os estudos, modelagens e simulações do sistema proposto, verificou-se que os resultados foram muito satisfatórios, tanto no uso de controle fuzzy, quanto na economia de energia.

A intenção de obter do controlador fuzzy um comportamento semelhante ao do ser humano foi atingida, visto que ele dá as respostas esperadas, considerando válidas as características das funções de pertinência e regras que lhe foram atribuídas. O que se pode constatar é que o controle fuzzy, que é uma das partes mais aprofundadas da teoria de conjuntos fuzzy, possibilita-nos controlar e gerenciar um sistema híbrido de geração de energia.

Um ganho na geração de energia estimado em 31,6 % no período analisado, nos leva a crer que além de simplesmente utilizar as fontes alternativas de energia, podemos também otimizar o seu aproveitamento, extraindo o máximo da energia disponível.

REFERÊNCIAS

AMENDOLA, Mariangela; SOUZA, Anderson Luiz de; BARROS, Laécio Carvalho. Manual do uso da teoria dos conjuntos Fuzzy no MATLAB 6.5. Campinas: Unicamp, 2005. 46 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Mais Energia Elétrica - Fontes Renováveis. Biblioteca Virtual. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?id_area=63>. Acesso em: 04 abr. 2007..

BARBOSA, C. F. O., PINHO, J. T., SILVA, E. J. P., GALHARDO, M. A. B., VALE, S. B., MARANHÃO, W. M. A. Situação da geração elétrica através de sistemas híbridos no estado do Pará e perspectivas frente à universalização da energia elétrica. In: AGRENER 2004 - ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5, 2004, Campinas. Anais...Campinas: NIPE/UNICAMP, 2004. 10p. CD-ROM.

BELLARMINE, T. G., Wind energy for the 1990s and beyond. Energy Conversion and Management., v.12, n.37, p.1741-52, 1996.

BEYER, H.G., DEGNER, T., GABLER, H., Operational behaviour of wind diesel systems incorporating short-term storage: an analysis via simulation calculations. Solar Energy, v.6, n.54, 429-39, 1995.

CANEPPELE, Fernando de Lima. DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO FUZZY PARA OTIMIZAÇÃO DA ENERGIA GERADA POR UM SISTEMA HÍBRIDO (SOLAR-FOTOVOLTAICO E EÓLICO). 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia - Energia Na Agricultura, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho" Faculdade De Ciências Agrônômicas Campus De Botucatu, Botucatu, 2007.

CEPEL/CRESESB - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Rio de Janeiro: 1999. 204p.

DWIA - DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION, Where does Wind Energy come From? Disponível em: <<http://www.windpower.org/en/tour/wres/index.htm>>. Acesso em: 20 jan. 2007a.

FRAIDENRAICH, Naum & LYRA, Francisco. "Energia Solar - Fundamentos e Tecnologias de Conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica". Editora Universitária da UFPE, Recife/PE, 471p, 1995.

HANSEN, U., Technological options for power generation. The Energy Journal. v.2, n.19, p.63-87, 1998.

MAHMOUD, M., Experience results and techno-economic feasibility of using photovoltaic generators instead of diesel motors for water pumping from rural desert wells in Jordan. IEE Proceedings, v.137, n.6, p.391-4, 1990.

MCNEILL, D., FREIBERGER, P, 1994, Fuzzy Logic. 1 ed. New York, EUA, Touchstone and Colophon.

MORAGUES, J., RAPALLINI, A., Energia Eólica. Disponível em: <http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2007.

ROSAS, P. A. C., ESTANQUEIRO, A. I., Guia de Projeto Elétrico de Centrais Eólicas. Recife: CBEE, 2003. 62p.

SILVA, C.D. "Avaliação do Potencial das Energias Solar e Eólica para Acionamento de Pequenos Sistemas de Bombeamento na Fazenda Lageado", Botucatu, 2000. 98p. Dissertação (mestrado em Agronomia) – UNESP.

SIQUEIRA, Jair Antonio Cruz. Desempenho de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico de pequeno porte para energização rural. 2005. 176 f. Tese (Doutorado) - Unesp - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Botucatu, 2005.

SOUZA, Orlando Tadeu Lima De. Desenvolvimento de um modelo fuzzy para determinação do calor latente com alicação em sistemas de irrigação. 2004. 113 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (energia Na Agricultura), Unesp - Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Botucatu, 2004.

ZADEH, L. A., 1975, Fuzzy Sets and their Applications to Cognitive and Decision Processes, New York, Academic Press.

MODELLING OF A HYBRID SYSTEM - SOLAR PHOTOVOLTAIC AND WIND - THE GENERATION OF ELECTRIC ENERGY USING FUZZY LOGIC

***Abstract.** This paper presents a fuzzy modeling of a hybrid system of energy generation that uses small solar photovoltaic and wind energy. The proposed methodology aims to improve the control of the use of renewable energy through the use and application of fuzzy theory. The work was developed at the Laboratory Energizing Rural in the Engineering Department of UNESP, Faculty Agricultural Sciences, Lageado Experimental Farm, located in Botucatu,*

São Paulo. When using a control system based on fuzzy logic, it's reached the point of maximum power generation, thereby transferring all the energy generated from alternative sources, solar-photovoltaic and wind energy, cargo and / or batteries when their use not immediate. The model adopts three input variables, which are: wind speed, solar radiation and load the battery bank. Based on the presented system, which is proposed to replace the charge controller by a control based on fuzzy theory, for a better utilization of alternative sources of energy generation. Were used for the simulation software MATLAB, as cited throughout the paper. In this environment will be analyzed and simulated all mathematical models, rules and other variables described in the fuzzy system. This model can be used to implement a control system of hybrid power generation, providing better utilization of energy sources, solar and wind, so that we can extract the maximum possible energy sources such alternatives without prejudice the environment.

Key words: Solar Energy, Wind Energy, Fuzzy