



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## MODELAGEM FUZZY DE BLOCOS GERADORES PARA UNIDADES CONSUMIDORAS DE BAIXA TENSÃO

**Ariadna Schuck**

Pesquisadora da Escola Politécnica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)  
ariadnapss@gmail.com

**Paulo Ricardo da Silva Pereira**

Acadêmico da Escola Politécnica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)  
prpereira@unisinoss.br

**Resumo.** Desenvolvimento de uma metodologia para a modelagem de um sistema para geração distribuída. A lógica fuzzy é utilizada como ferramenta para a construção de diferentes blocos compostos por equipamentos geradores (eólico, solar fotovoltaico e solar térmico), considerando o consumo médio da unidade selecionada e as características de cada fonte energética como funções de entrada no processo de fuzzificação. O bloco que apresenta o melhor desempenho indica quais são os melhores equipamentos e configuração para geração distribuída no local selecionada. A proposta inicial é somente para aplicação em residências, avaliando a potência de cada bloco gerador e sua capacidade de suprir a demanda da instalação.

**Palavras-chave:** Lógica fuzzy. Geração distribuída. Energias renováveis.

### 1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída (GD) é uma forma de produção de energia em pequena escala. O uso dessa tecnologia no Brasil ainda não é significativo ao ponto de aliviar a carga do Sistema Interligado Nacional (SIN). Porém, se a GD fosse inserida na cultura energética brasileira, a matriz de energia aumentaria sua confiabilidade e a necessidade de contenção energética seria menor.

Para aplicação, deste sistema, é necessária uma análise detalhada para

indicar quais são as melhores opções de fontes, conforme as características da unidade consumidora. O desenvolvimento de uma metodologia para a seleção destes equipamentos, de forma genérica, facilitaria as etapas iniciais de um projeto GD. No presente trabalho, a lógica fuzzy foi escolhida como ferramenta para elaboração de tal método, já que esta possui um desempenho equivalente ao de um operador humano, facilitando o trabalho com sistemas dinâmicos complexos e acelerando os processos, que muitas vezes são repetitivos.

### 2. METODOLOGIA

#### 2.1 Unidade consumidora e condições climáticas

Os blocos geradores serão aplicados em uma unidade consumidora na cidade de Pelotas/RS. A curva de carga da unidade consumidora selecionada, para aplicação dos blocos geradores, foi construída com base no histórico de consumo dos últimos três anos.

Os dados meteorológicos médios mensais (velocidade do vento, insolação e irradiação solar) são utilizados como entrada para cada sistema individual e se considera que o local para instalação de cada fonte é o ideal para geração. Estas informações foram coletadas no banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [3] e através do *software* RADIASOL2 [4].

## 2.2 Seleção dos equipamentos

Os blocos são compostos por equipamentos de fontes renováveis, disponíveis no mercado nacional, para a micro e mini geração distribuída. Foram selecionados quatro módulos fotovoltaicos, seis aquecedores solares e seis aerogeradores de eixo horizontal, sendo que todos os modelos possuem características distintas.

## 2.3 Funções de pertinência de cada sistema

Para cada sistema individual de geração foram definidas diferentes entradas para o modelo *fuzzy*, com base na aproximação teórica de produção de energia de cada fonte. O bloco eólico possui duas funções de entrada: a velocidade do vento e a área do rotor. Já o bloco fotovoltaico e o bloco solar térmico são compostos por três funções de entrada: a insolação diária, a irradiação solar e a área do módulo.

Além da definição das entradas é necessário estabelecer as funções de saída. Todos os sistemas deste trabalho possuem somente uma variável de saída, definida como Geração de Energia. As quatro funções de pertinência, com intervalo de [0;1], Fig. 1, construídas para esta saída são apresentadas como valores linguísticos: Nula (N), Baixa (B), Média (M) e Alta (A).

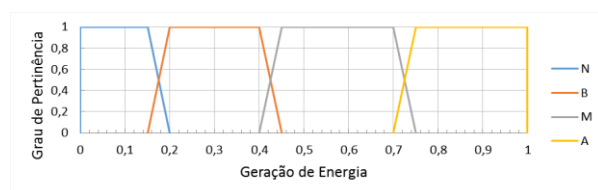


Figura 1 – Funções de pertinência – Geração de Energia

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.4 Regras de inferência

As regras de inferência do modelo *fuzzy* são definidas através de implicações lógicas. Neste trabalho, a relação lógica SE-ENTÃO

será aplicada em cada sistema *fuzzy* através de SE <variável 1> E <variável 2> ENTÃO <variável de saída>, conforme Simões *et al.* [5].

Todas as regras definidas foram elaboradas com base na experiência dos autores em relação a cada fonte de energia. Com base nos valores linguísticos das funções de entrada e saída formou-se um conjunto com quinze regras para o bloco eólico, setenta e cinco regras para o bloco fotovoltaico e para o bloco solar térmico. O bloco de geração total possui um conjunto de sessenta e quatro regras. Devido ao grande número de regras elaboradas para cada sistema, não há como apresentá-las de forma detalhada neste trabalho.

## 2.5 Defuzzificação dos blocos individuais

Os blocos individuais, já referenciados, são aplicados no *software FuzzyLite*, cada um com o seu conjunto de funções e regras. Neste programa, as funções de entrada passam por uma superposição funcional gerando uma saída que sofrerá uma defuzzificação, ou seja, os valores linguísticos são convertidos em valores reais. A metodologia de conversão utilizada foi a Centro-da-Área (CoA) [5]. No total foram criados 25 casos, considerando os blocos de geração total apresentados na próxima seção.

## 2.6 Construção dos blocos de geração total

Após a defuzzificação de cada bloco individual (eólico, fotovoltaico e solar térmico), as saídas obtidas se tornaram as entradas para os blocos de geração total. Os equipamentos que apresentaram comportamentos similares foram enquadrados em categorias, Quadro 1, que possibilitaram a construção de blocos com oito configurações distintas, Quadro 2. Cada bloco passou pela defuzzificação para que os perfis de geração fossem avaliados.

BLOCO	EÓLICO		FOTOVOLTAICO		SOLAR TÉRMICO	
MÊS	Tipo E1	Tipo E2	Tipo F1	Tipo F2	Tipo T1	Tipo T2
Janeiro	B	M	A	A	A	A
Fevereiro	B	M	M	M	M	M
Março	B	M	M	M	M	M
Abril	N	N	M	M	B	M
Mai	N	N	M	B	B	B
Junho	N	N	M	B	B	B
Julho	N	N	M	B	B	B
Agosto	B	M	M	B	B	B
Setembro	B	M	M	B	B	B
Outubro	B	M	M	M	B	M
Novembro	B	M	A	A	M	A
Dezembro	B	M	A	A	A	A

Quadro 1 – Geração de energia de cada bloco individual

Fonte: Elaborado pelos autores.

Bloco de Geração Total	Blocos Individuais
Bloco 1	E1; F1; T1
Bloco 2	E1; F1; T2
Bloco 3	E1; F2; T2
Bloco 4	E1; F2; T1
Bloco 5	E2; F2; T2
Bloco 6	E2; F2; T1
Bloco 7	E2; F1; T1
Bloco 8	E2; F1; T2

Quadro 2 – Configuração dos blocos de geração total

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.7 Resultados e análise

As saídas obtidas após a defuzzificação dos blocos geradores foram organizadas e agrupadas em um gráfico que contém a geração mensal conforme o grau de pertinência  $[0;1]$ . Através das curvas de geração, Fig. 2, o bloco 8 foi o que apresentou o melhor perfil de geração.

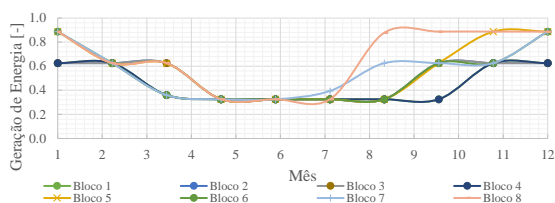


Figura 2 – Geração mensal dos sistemas fuzzy de geração total – Pelotas

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando as entradas dos blocos individuais, os tipos de equipamentos que compõe o bloco 8 são os com maiores valores linguísticos, ou seja, maior geração. Porém, isto não indica que estes são os melhores equipamentos para a unidade, considerando que pode haver um superdimensionamento.

Os blocos geradores com o melhor e o pior desempenho foram inseridos no gráfico apresentado na Fig. 3 juntamente com a curva de carga da unidade consumidora em pu (por unidade). A fim de validar os blocos, a geração de energia foi aproximada matematicamente, Fig. 4. A curva de carga da residência ainda possui o consumo elétrico total do chuveiro, porém a energia térmica gerada pelos coletores solares foi convertida para energia elétrica na aproximação matemática, somente para estimar a geração de energia em um mesmo patamar.

A comparação entre os gráficos, Fig. 3 e Fig. 4, demonstra que o bloco 8 consegue suprir grande parte do consumo da unidade, possibilitando, até mesmo, a injeção de energia na rede elétrica da concessionária em determinados meses, que podem ser convertidos em créditos de energia que podem ser utilizados em até 60 meses em unidades consumidoras do mesmo titular da instalação, conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [2].

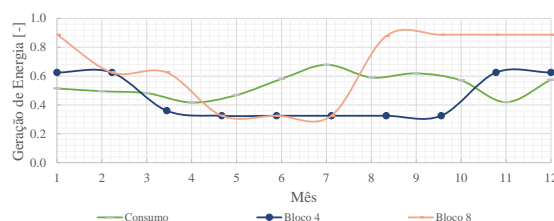


Figura 3 – Geração do Sistema Fuzzy x Consumo

Fonte: Elaborado pelos autores.

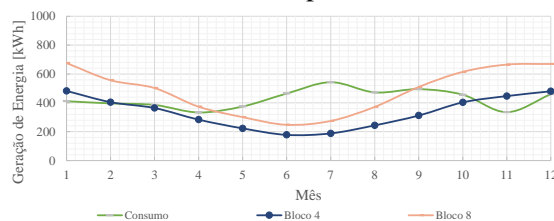


Figura 4 – Geração Estimada x Consumo

Fonte: Elaborado pelos autores.

A última análise feita neste trabalho é referente ao balanço energético das saídas obtidas pela ferramenta fuzzy com o consumo da unidade. Para evitar um

superdimensionamento, é necessário que se identifique qual bloco que atende 100% a necessidade energética. Tanto pela aproximação matemática quanto pelo método *fuzzy*, somente os blocos 5, 7 e 8 se enquadrariam nesta delimitação, Quadro 3. Então, neste caso, o ideal seria selecionar o bloco 7 através da ferramenta *fuzzy*.

Bloco	1	2	3	4	5	6	7	8
Método <i>Fuzzy</i>	80%	94%	94%	80%	106%	96%	104%	125%
Aproximação matemática	77%	87%	88%	78%	114%	103%	102%	112%

Quadro 3 – Percentual de atendimento da carga da unidade

Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As curvas de geração dos blocos selecionados pelo método *fuzzy* possuem um comportamento semelhante às estimadas pelo método matemático. Porém, a metodologia apresentada encontra-se em um estágio inicial e ainda não pode ser considerada em um projeto de geração distribuída. No modelo desenvolvido foram desconsideradas diversas variáveis que influenciam na geração de cada equipamento, como, por exemplo, o efeito da temperatura sobre a célula FV, ou ainda as perdas durante a conversão. No entanto, este trabalho foi somente a primeira etapa do desenvolvimento de uma ferramenta de apoio para a pré-seleção dos equipamentos. Este modelo *fuzzy* será aprimorado com o aumento das funções de pertinência e das regras de inferência, nos quais a eficácia depende, principalmente, da experiência de quem o está desenvolvendo. As próximas etapas envolvem o aprimoramento do método e a aplicação destes controladores *fuzzy* em uma linguagem de programação, permitindo a entrada de dados meteorológicos de diferentes locais, bem

como as informações de mais equipamentos geradores disponíveis no mercado.

### 4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e científico.

### 5. REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional De Energia Elétrica (ANEEL). Resolução Normativa N° 482. Brasília, DF, 17 abr. 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>.
- [2] Fuzzylite Limited. Fuzzylite - a fuzzy logic control library and application. New Zealand: 2015. Disponível em: <<http://www.fuzzylite.com/>>.
- [3] Instituto Nacional De Meteorologia (INMET). Estações Automáticas. Brasília: 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>.
- [4] Laboratório de Energia Solar (LABSOL-UFRGS). Desenvolvimento de Softwares - SOLARCAD. Porto Alegre: 2015. Disponível em: <<http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>>.
- [5] M. G. Simões and I. S. Shaw, Controle e modelagem fuzzy. 2. ed. São Paulo: Ed. Blucher: FAPESP, 2007. 186 p. ISBN 9788521204169.
- [6] M. G. Simões. Introduction to Fuzzy Control. Colorado: Colorado School of Mines, Dec. 1995. Disponível em: <[http://inside.mines.edu/~msimoes/documents/Intro\\_Fuzzy\\_Logic.pdf](http://inside.mines.edu/~msimoes/documents/Intro_Fuzzy_Logic.pdf)>.