



ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM INDÚSTRIAS MADEIREIRAS ATRAVÉS DA LÓGICA FUZZY

Fernando de Lima Caneppele¹ & Odivaldo José Seraphim²

RESUMO: Este trabalho apresenta a aplicação da teoria fuzzy como suporte a decisão da implantação de programa de eficiência energética em serrarias que atuam no processamento de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*. A justificativa do uso de um sistema baseado na teoria fuzzy para análise dos consumos específicos e dos fatores envolvidos, está na diversidade de tais índices/fatores. Com a teoria fuzzy, pode-se construir um sistema confiável para a verificação real da eficiência energética. Os índices e fatores característicos desta atividade industrial foram aferidos e são utilizados como base para o sistema fuzzy. Foi desenvolvido um sistema gerencial e um tecnológico. O sistema gerencial envolve as práticas de eficiência energética, a manutenção de instalações e equipamentos e a presença de corpo técnico qualificado. O sistema tecnológico envolve o fator de potência, o fator de carga, o fator de demanda e o consumo específico. O primeiro apresenta como resposta a possibilidade do aumento de eficiência energética e o segundo o nível de eficiência energética da indústria estudada. Com esta ferramenta, podem ser desenvolvidos programas de conservação de energia e de eficiência energética na área industrial madeireira com aplicação ampla nesta área que é tão diversificada quanto aos processos produtivos. Os mesmos sistemas desenvolvidos podem ser utilizados em outras atividades industriais, desde que sejam utilizados os índices e fatores característicos dos setores envolvidos.

PALAVRAS-CHAVE: indústria da madeira, eficiência energética, lógica fuzzy.

ANALYSIS OF ENERGY EFFICIENCY IN WOODINDUSTRY BY FUZZY LOGIC

ABSTRACT: This paper presents the application of fuzzy theory to support the decision of implementing energy efficiency program in sawmills operating in the processing of *Pinustaeda* and *Pinuselliottii*. The justification of using a system based on fuzzy theory for analysis of consumption and the specific factors involved, such is the diversity of rates / factors. With the fuzzy theory, we can build a reliable system for verifying actual energy efficiency. The indices and factors characteristic of industrial activity were measured and used as the basis for the fuzzy system. We developed a management system and technology. The system involves the management practices in energy efficiency, maintenance of plant and equipment and the presence of qualified staff. The technological system involves the power factor, load factor, the factor of demand and the specific consumption. The first response provides the possibility of increased energy efficiency and the second level of energy efficiency in the industry studied. With this tool, programs can be developed for energy conservation and energy efficiency in the industrial timber with wide application in this area that is as diverse as production processes. The same systems developed can be used in other industrial activities, provided they are used indices and characteristic features of the sectors involved.

KEYWORDS: wood industry, energy efficiency, fuzzy logic.

¹ Professor Doutor na Universidade de São Paulo – USP. E-mail: fernando@usp.br

² Professor Doutor da UNESP/FCA. E-mail: seraphim@fca.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

O setor florestal tem uma evidente importância sobre diversas áreas, entre elas a econômica, a social e a ambiental. Em nosso país, a madeira de florestas plantadas, especialmente eucalipto e pinus, constituem a fonte mais importante de matéria-prima para os diversos usos industriais.

O crescimento em importância do setor florestal e a posterior exaustão das florestas de pinheiro-brasileiro acabaram por catalisar o desenvolvimento de técnicas e processos de utilização da madeira (FAGUNDES, 2003).

Hoje, no entanto, uma exigência se impõe: a revisão nos rumos do ensino e das pesquisas na área, de modo a atender as novas e crescentes demandas da indústria. Atualmente cerca de 70% da madeira consumida pela indústria brasileira é proveniente de reflorestamentos, o que representa uma alteração substancial em relação aos anos 60, quando praticamente toda a matéria-prima era proveniente de florestas nativas. A madeira de florestas nativas utilizada na indústria é praticamente toda originária da região amazônica (TOMASELLI, 2000).

De acordo com Ponce (1993), a indústria madeireira, por necessitar de investimentos relativamente baixos, por gerar muitos empregos diretos e indiretos, e por requerer tecnologia relativamente simples, tem grande vocação para o desenvolvimento no país.

Para a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA – ABESCO (2013), eficiência energética é uma atividade técnico-econômica que objetiva proporcionar o melhor consumo de energia e água, com redução de custos operacionais correlatos e com isso minimizar contingenciamentos no suprimento desses insumos. Além disso, introduz elementos e instrumentos necessários para o gerenciamento energético e hídrico da empresa ou empreendimento.

Capelli (2007) cita que a eficiência energética é uma filosofia de trabalho que visa aperfeiçoar a utilização da energia elétrica por meio de orientações, direcionamentos, ações e controle dos recursos humanos, materiais e econômicos, reduzindo os índices globais e específicos da quantidade de energia necessária para a obtenção do mesmo resultado ou produto.

Ciências como a engenharia, a química e a física criam modelos matemáticos exatos a partir de fenômenos empíricos e utilizam tais modelos para fazer previsões. Alguns aspectos do “mundo real” sempre escapam destes modelos matemáticos precisos e normalmente existe uma inexatidão percebida como parte do modelo original (SILVA, 2005).

Uma forma para indicar a eficiência energética é basear-se na lógica fuzzy, que ao contrário da lógica tradicional, não impõe limites bruscos, proporcionando graus de pertinência de elementos a uma determinada categoria.

Pode-se definir lógica fuzzy como sendo uma ferramenta capaz de capturar informações vagas, em geral descritas em linguagem natural e convertê-las para um formato numérico, de fácil manipulação.

Segundo Souza (2004) muitos fenômenos são compreendidos através de simulações que representam determinado comportamento de um dado sistema, podendo ser analisados por simulações clássicas ou através de simulações que utilizem os sistemas inteligentes (programas de computador que respondem a dados de entrada, dando respostas baseadas na lógica do raciocínio humano).

Na área de Energia na Agricultura e utilizando Lógica Fuzzy, Caneppele e Seraphim (2010) desenvolveram o controle inteligente de um sistema híbrido de geração de energia elétrica, utilizando as energias solar-fotovoltaica e eólica.

Ainda nas mesmas áreas Cremasco et al., (2010) implementaram um método computacional capaz de interpretar os fatores de carga e potência e realizar uma avaliação energética de qualquer empresa do país, o que somente era realizado por especialistas da área energética. Tal método, capaz de imitar parte do raciocínio humano, foi baseado na lógica fuzzy.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é mostrar o desenvolvimento e um estudo de caso de dois sistemas – um gerencial e um tecnológico - de apoio a análise e tomada de decisões baseados em lógica fuzzy, que permitam verificar e acompanhar medidas de eficiência energética.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da Área Experimental e de Coleta de Dados

Os dados iniciais foram coletados na UNESP – Campus Experimental de Itapeva, no Laboratório de Processamento da Madeira, localizada no município de Itapeva, São Paulo. Este laboratório é uma serraria modelo, destinada à aulas práticas dos alunos de graduação do curso de Engenharia Industrial Madeireira e de alunos de pós-graduação de diversas instituições e programas.

Considerando que existem na região de Itapeva, aproximadamente 60 empresas de processamento da madeira, foram escolhidas cinco serrarias que mais se aproximam entre si, em relação à característica da madeira bruta utilizada e produtos de madeira serrada produzida. Em relação à madeira bruta citar o tamanho da tora, normalmente com casca, de diâmetro em torno de 30 cm, comprimento variando de 2,2 m a 3,0 m.

Nas dependências da UNESP – Faculdade Ciências Agrônomicas, Fazenda Experimental Lageado, Departamento de Engenharia Rural, localizada no município de Botucatu, São Paulo, foram realizadas os

processamentos dos dados coletados e o trabalho final junto ao Laboratório de Energização Rural.

2.2 Modelagem do Sistema Fuzzy para a Análise da Eficiência

No software MATLAB®, através do *Fuzzy Logical Toolbox*, foi realizada a construção do sistema de inferência fuzzy. Este processo é iniciado através da escolha das variáveis de entrada e saída do sistema fuzzy. Em seguida, são definidos os graus de pertinência e a base de regras.

2.2.1 Variáveis e Conjuntos do Modelo Fuzzy

O uso da teoria fuzzy para a análise dos indicadores de eficiência energética na indústria madeireira nos possibilita avaliar de modo real como está o nível e o quanto pode ser melhorado em termos de eficiência energética.

Para a obtenção dos conjuntos fuzzy que representam o comportamento das variáveis da parte gerencial e tecnológica, é necessário, inicialmente, definir os limites inferior e superior, bem como a amplitude dos intervalos de variação destas duas grandezas.

Nas Tabelas 01 e 02 são mostrados estes limites e intervalos. Eles são obtidos em função do conhecimento prévio do comportamento das grandezas, os quais dependem dos dados coletados anteriormente e dos cálculos à partir desses dados.

Para as práticas de eficiência energética (PEE), os limites inferior e superior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25, para efeito de projeto e simulação no modelo fuzzy proposto. Considera-se que “0” significa sem prática de eficiência energética e “1” que a empresa possui programa efetivo de eficiência energética.

Tabela 1: Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte gerencial.

Variável	Mínimo	Máximo	Delimitadores
Práticas de eficiência energética (PEE)	0	1	0,25
Manutenção de instalações e equipamentos (MAN)	0	1	0,25
Corpo técnico qualificado (TEC)	0	1	0,25
Possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS) [%]	0	100	25

Para a manutenção de instalações e equipamentos (MAN), os limites inferior e superior também são 0 e 1,

divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui programa de manutenção e “1” que a empresa possui programa efetivo de manutenção de máquinas e equipamentos.

Para a presença de corpo técnico qualificado (TEC), os limites superior e inferior são 0 e 1, divididos em intervalos de 0,25. Considera-se que “0” significa que a empresa não possui corpo técnico qualificado e “1” que a empresa possui.

Para a possibilidade de aumento do nível de eficiência (POS), os limites superior e inferior são 0 e 100, divididos em intervalos de 25 %. Considera-se que “0 %” significa que a empresa não tem possibilidade do aumento do nível de eficiência e “100 %” que a empresa tem possibilidade.

Tabela 2: Resumo dos valores adotados para a simulação do sistema fuzzy na parte tecnológica.

Variável	Mínimo	Máximo	Quartís
Fator de potência (FP)	0,6	1	0,02
Fator de carga (FC)	0	0,3	0,04
Fator de demanda (FD)	0,3	0,7	0,1
Consumo específico (CE) [$kW.m^{-3}$]	0	30	5
Nível de eficiência energética (EE) [%]	0	100	25

Para a variação fator de potência (FP), os limites inferior e superior são 0,6 e 1, que divididos em intervalos de 0,02, para efeito de projeto e simulação no modelo fuzzy proposto. Considera-se teoricamente que “0,6” significa um baixo fator de potência e “1” que a empresa possui um alto fator de potência. A resolução ANEEL nº 456/2000 estabelece que o valor do fator de potência deve ter o valor igual ou acima de 0,92.

Para a variação do fator de carga (FC), os limites inferior e superior são de 0 e 0,3, divididos em intervalos de 0,04. Considera-se teoricamente que “0” significa um baixo fator de carga e “0,3” que a empresa possui um alto fator de carga.

Os fatores de carga típicos são fornecidos pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica em tabelas de acordo com o ramo ou atividade industrial. A distribuidora CELESC (2007) estabelece nas normas utilizadas para ligação de novos consumidores fatores de carga típicos de aproximadamente 0,13 para a atividade industrial madeireira.

Para a variação do fator de demanda (FD), os limites inferior e superior são de 0,3 e 0,7, divididos em intervalos de 0,1. Considera-se teoricamente que “0,3” significa um baixo fator de demanda e “0,7” que a empresa possui um alto fator de demanda.

Da mesma forma que os dados do fator de carga, as concessionárias de distribuição de energia elétrica fornecem fatores de demanda típicos em tabelas de acordo com o ramo ou atividade industrial. A distribuidora CELESC (2007) estabelece nas normas utilizadas para ligação de novos consumidores fatores de demanda típicos de aproximadamente 0,46 para a atividade industrial madeireira.

Para a variação do consumo específico (CE), os limites superior e inferior são 0 kWh.m⁻³ e 30 kWh.m⁻³, divididos em intervalos de 5 kWh.m⁻³. Considera-se teoricamente que “0 kWh.m⁻³” significa baixo consumo de energia para o processamento da madeira e “30 kWh.m⁻³” que a empresa possui alto consumo.

Para estabelecer os valores do consumo específico, será considerado o valor calculado por Cagnon e Valarelli (2005), que determina um índice de desempenho energético com valor médio de 16,61 kWh/m³, caracterizado em 10 indústrias madeireiras de médio e grande porte da região de Itapeva e Itararé - SP.

Para o nível de eficiência energética (EE), os limites superior e inferior são 0 e 100, divididos em intervalos de 25 %. Considera-se teoricamente que “0 %” significa baixo nível de eficiência energética para o processamento da madeira e “100 %” que a empresa possui alto nível.

2.2.2 Grau de Pertinência

De acordo com a teoria fuzzy, cada elemento do conjunto fuzzy possui um grau de pertinência (μ), 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].

Cada elemento de (PEE), (MAN), (TEC) e (POS) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

De forma análoga, cada elemento de (FP), (FC), (FD), (CE) e (EE) pertence a dois ou mais conjuntos fuzzy distintos e possui um grau de pertinência relativamente a cada um desses conjuntos.

Inserindo os dados dos conjuntos fuzzy no MATLAB®, através da ferramenta Fuzzy Logical Toolbox, tem-se as funções de pertinência fuzzy com seus respectivos rótulos lingüísticos e suas extremidades determinando os limites de atuação de cada uma das funções de pertinência.

Na Figura 01, estão ilustradas as funções de pertinência associadas às variáveis de entrada “práticas de eficiência energética” do sistema proposto para a parte gerencial.

As outras funções da parte gerencial, quais sejam, a de manutenção de instalações e equipamentos da área industrial, presença de corpo técnico qualificado e possibilidade de aumento do nível de eficiência real da planta industrial, são construídas de maneira análoga.

O mesmo acontece para as funções da parte tecnológica, quais sejam o fator de potência, o fator de carga, o consumo específico e o nível de eficiência real da planta industrial.

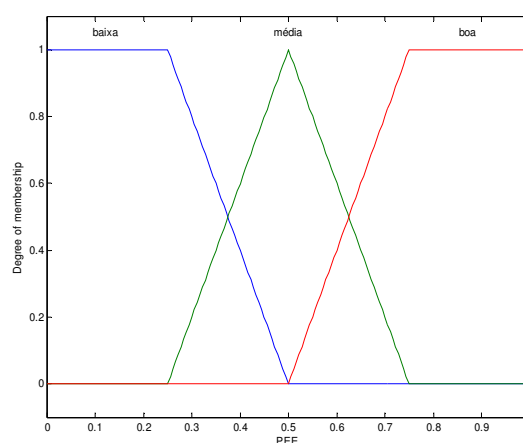


Figura 1: Função de pertinências associada à variável de entrada “práticas de eficiência energética”.

2.2.3 Regras Fuzzy

Uma vez definidas as funções de pertinência das variáveis de entrada e saída dos sistemas gerencial e tecnológico, foram determinadas as regras do sistema fuzzy para ambos, também conhecidas como base de conhecimento ou inteligência do sistema.

O mapa de regras é elaborado durante o projeto do sistema em si, identificando todas as 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. Para a construção da base de regras do sistemas propostos, os autores atuaram como especialistas, observando e coletando dados dos processos industriais envolvidos e associando as três áreas de conhecimento quais sejam: indústria madeireira, eficiência energética e lógica fuzzy.

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.

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

Verifica-se que é através das regras que as funções de pertinência são ativadas considerando seu grau em relação a cada conjunto fuzzy. Outra característica é que as regras fuzzy são agrupadas em blocos. Os chamados blocos de regras são parte fundamental da base de conhecimento dos sistemas de suporte fuzzy. O fuzzy recorre à verificação das regras para a tomada de decisão e essas regras são processadas em paralelo.

Construído o sistema de controle fuzzy podem-se arbitrar valores numéricos para as variáveis de entrada, simulando cenários factíveis, do ponto de vista do especialista, para observar e analisar os valores obtidos para cada variável de saída.

Também é possível a utilização do difuso fora do toolbox, utilizando-o na área de trabalho do MATLAB® com todas as suas estruturas e características.

2.2.4 Defuzzyficação

O passo final consiste em se efetuar a “defuzzyficação”, que será traduzir para um valor discreto o resultado da variável lingüística de saída do que foi inferida pelas regras fuzzy. De uma forma genérica este processo nada mais é que uma transformação inversa que traduz a saída do domínio fuzzy para o domínio discreto.

Alguns métodos de “defuzzyficação” são utilizados, entre eles cita-se: o centro da área, centro do máximo e a média do máximo. O processo mais utilizado é o primeiro, freqüentemente chamado de centro de gravidade, pois ele calcula o centróide da área que é composta pelo resultado das operações entre os conjuntos fuzzy.

As saídas do sistema de inferência fuzzy são apresentadas de duas maneiras distintas, a primeira gerada pelas regras fuzzy utilizadas e a segunda em forma de uma superfície de associação entre as variáveis de entrada e saída.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na aplicação dos sistemas fuzzy, foram observadas as particularidades das empresas, no que diz respeito aos procedimentos gerenciais e também nos índices e fatores, pois o seu estabelecimento proporciona maior controle do uso de energia elétrica.

A utilização da teoria fuzzy permitiu identificar e implementar em um sistema fuzzy a experiência do operador e sua forma de decidir sobre o problema em questão. Verificou-se a capacidade de operadores de processos de naturezas diversas realizarem, com sucesso, inferências sobre o mesmo de forma intuitiva, sem que seja necessário conhecer os valores numéricos das variáveis envolvidas.

Um operador considerado experiente acumula um maior número de observações anteriores que utiliza na formulação de previsões sobre o processo. O proposto deve possuir um comportamento o mais semelhante possível ao de um humano.

Dessa forma, a teoria fuzzy demonstrou ser útil na elaboração de um modelo de sistema de controle de eficiência energética para a área industrial madeireira. O poder associado à utilização de teoria fuzzy é servir de ponte entre o conhecimento empírico e uma implementação computacional.

A Figura 02 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do *Fuzzy Logical Toolbox* do MATLAB® para o sistema gerencial. Da mesma forma, a Figura 03 mostra a tela de configuração, edição e inserção de dados do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB® para o sistema.

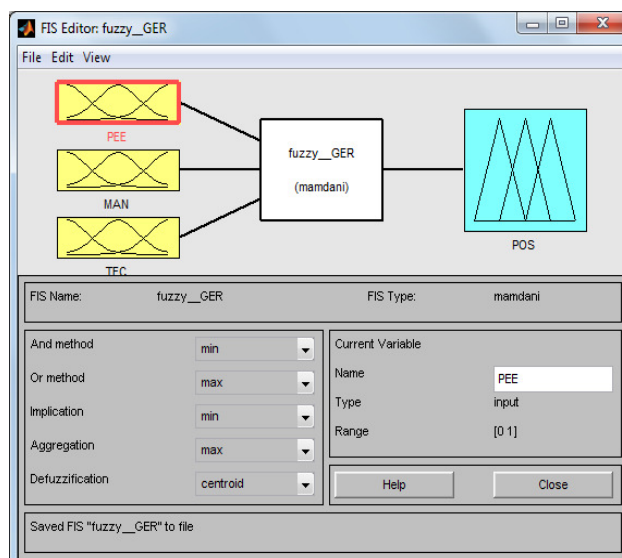


Figura 2: Tela de configuração do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB® para o sistema gerencial.

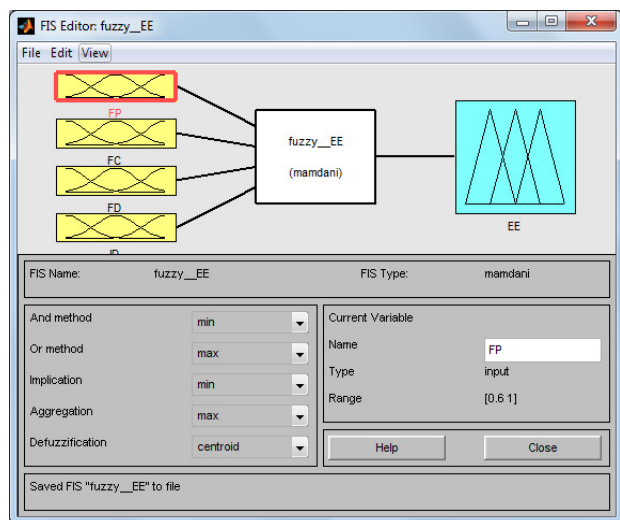


Figura 3: Tela de configuração do Fuzzy Logical Toolbox do MATLAB® para o sistema tecnológico.

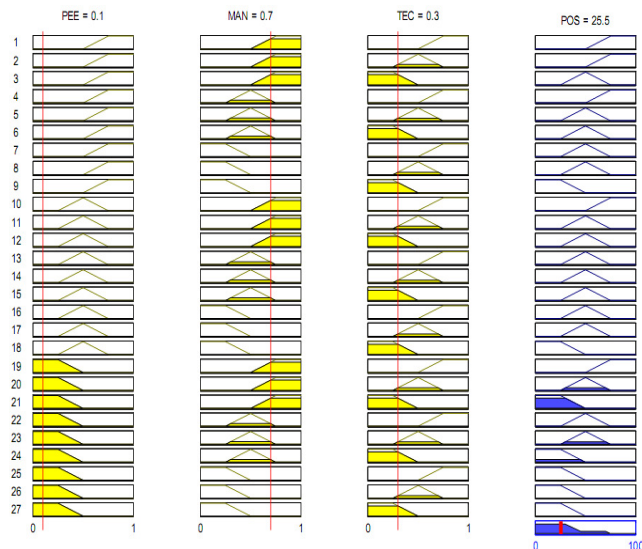


Figura 4: Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída (25,5).

Aplicando-se o método do centro de gravidade tem-se um valor numérico de saída (25,5), que representa variável ainda no domínio Fuzzy. O resultado será a possibilidade de aumento de eficiência energética e assim se completa a defuzzificação e conseqüente tomada de decisão.

Observando a Figura 05 que ilustra a variável de saída - possibilidade de aumento eficiência energética - pode-se fazer a “tradução” dessa variável de saída do domínio fuzzy para o domínio lingüístico.

Este valor significa que a serraria tem pouca possibilidade de aumento de eficiência energética de

acordo com os dados inseridos no sistema de suporte fuzzy gerencial.

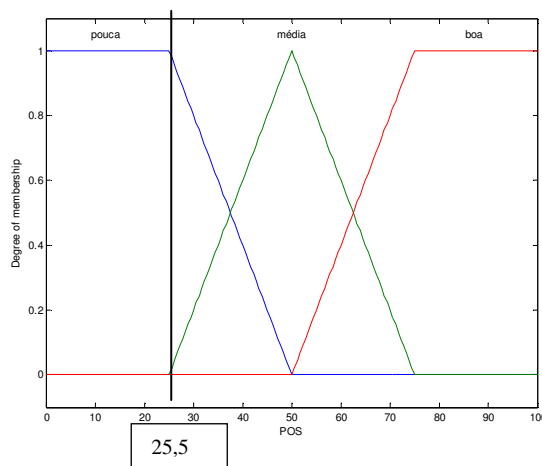


Figura 5: Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy gerencial. Variável de saída e significado do valor numérico de saída (25,5).

Estudo de Caso Utilizando o Sistema de Suporte Fuzzy Tecnológico

Como exemplo de funcionamento do sistema de suporte tecnológico, pode-se atribuir para o sistema gerencial proposto, os valores observados na mesma serraria do estudo de caso anterior, no mês de março de 2010, para as variáveis de entrada do sistema:

- a) Fator de potência (FP): 0,89
- b) Fator de carga (FC): 0,14
- c) Fator de demanda (FD): 0,46
- d) Consumo específico (CE): 14,6 [kWh.m3]

Na Figura 06 são mostrados os valores inseridos no sistema de suporte fuzzy tecnológico conforme o exemplo e a sua resposta através da variável de saída.

Aplicando-se o método do centro de gravidade tem-se um valor numérico de saída (65,7), que nada mais é que a variável ainda no domínio Fuzzy. O resultado será o nível de eficiência energética e assim se completa a defuzzificação e conseqüente tomada de decisão.

Observando a Figura 07 que ilustra a variável de saída - nível de eficiência energética - pode-se fazer a “tradução” dessa variável de saída do domínio fuzzy para o domínio lingüístico.

Este valor significa que a serraria está entre um médio e um bom nível de eficiência energética de acordo com os dados inseridos no fuzzy tecnológico.

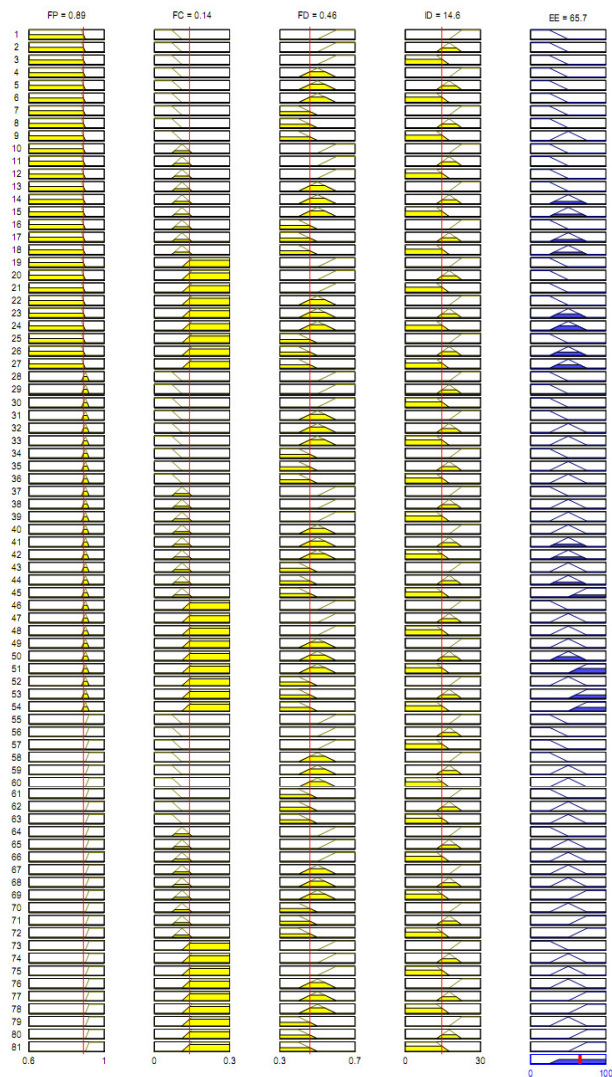


Figura 6: Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variáveis de entrada e de saída. 1 - Valor numérico de saída 65,7.

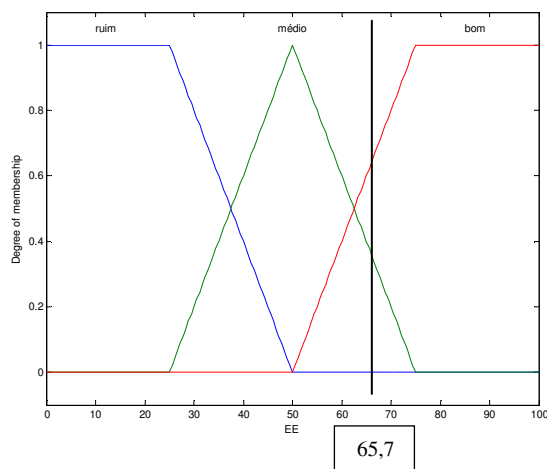


Figura 7: Exemplo de simulação do sistema de suporte fuzzy tecnológico. Variável de

saída e significado do valor numérico de saída 65,7.

4 CONCLUSÃO

A indústria madeireira, especificamente as serrarias, tem possibilidade de agregar valor aos produtos e diminuir custos de produção. O que foi desenvolvido neste trabalho pode atuar neste sentido e contribuir para uma aproximação entre o meio acadêmico e os empresários deste setor.

A intenção de utilizar índices de eficiência e analisá-los através da lógica fuzzy foi contribuir significativamente para as empresas do setor industrial madeireiro, pois estimula o bom uso da energia elétrica, o que trás benefícios, tanto redução de custos, quanto benefícios ambientais, considerando-se menor demanda por energia.

O uso de sistemas baseados na lógica fuzzy permite o controle através de informações qualitativas, sem a necessidade de modelar o sistema. Os sistemas de suporte desenvolvidos permitiram indicar se os níveis de eficiência energética estão variando nas serrarias.

Estes sistemas podem ser utilizados por qualquer tipo de empresa, bastando apenas que se alterem os valores do consumo específico, fator de carga e fator de demanda, que devem ser característicos da atividade industrial envolvida para que se possa fazer o acompanhamento das melhorias na conservação de energia.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. São Paulo, [2013]. **O que é eficiência energética.** Disponível em: <<http://www.abesco.com.br/abesc.asp?area=14>>. Acesso em: 02 abr. 2013.

CAGNON, J. A.; VALARELLI, I. D. Programa de gestão energética em indústrias madeireiras. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais...** Bauru: UNESP, 2005. p. 1-7.

CANEPELE, F. de L.; SERAPHIM, O. J. Aplicação da teoria fuzzy no controle de sistemas de geração de energias alternativas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 3, n. 25, p.24-41, 2010.

CAPELLI, A. **Energia elétrica para sistemas automáticos da produção.** São Paulo: Érica, 2007. 320 p.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA. **Especificação E-321.0001:** padronização de entrada de energia elétrica de unidades consumidoras de baixa tensão. Florianópolis, 2007. 106 p.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores fuzzy para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 1, n. 25, p.21-39, 2010.

FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no rio grande do sul**. 2003. 173 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

PONCE, R. H. Novas tecnologias de desdobro e beneficiamento de madeira: a busca da competitividade. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBEF; SBBF, 1993. p. 310-314.

SILVA, M. A. B. **Sistema de classificação fuzzy para áreas contaminadas**. 2005. 221 f. Tese (Doutorado Engenharia Civil)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

SOUZA, O. T. L. **Desenvolvimento de um modelo fuzzy para determinação do calor latente com aplicação em sistemas de irrigação**. 2004. 113 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

TOMASELLI, I. Tecnologia da madeira no Brasil: evolução e perspectiva. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, n. 20, p. 101-112, 2000.