

## **MODELAGEM DO REGIME DE TRABALHO DE PROCESSADORES COM CARGAS VARIANTES NO TEMPO**

GERÔNIMO B. ALEXANDRE<sup>1\*</sup>, PAULO I. SILVA<sup>2</sup>, JORDÂNIO I. MARQUES<sup>3</sup>, EMANOEL L. SILVA<sup>4</sup>

<sup>1, 4</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, UFCG, Campina Grande - PB. Fone: (83) 98621-0719, [geronimo.alexandre@ee.ufcg.edu.br](mailto:geronimo.alexandre@ee.ufcg.edu.br), [emanoel.silva@ee.ufcg.edu.br](mailto:emanoel.silva@ee.ufcg.edu.br)

<sup>2</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Eletrônica, UFMG, Belo Horizonte - MG. Fone: (83) 98865-9502, [engineerufcg@gmail.com](mailto:engineerufcg@gmail.com)

<sup>3</sup> Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, UFCG, Campina Grande - PB. Fone: (83) 98742-8345, [jordanioinacio@hotmail.com.br](mailto:jordanioinacio@hotmail.com.br)

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil.

**RESUMO:** Técnicas de gestão de energia são aplicadas a vários tipos de sistemas computacionais, para cada um destes sistemas é esperado que a utilização destas técnicas reduzam o consumo energético, sem prejudicar o desempenho da máquina. Diversas técnicas de gestão de energia adaptadas para a arquitetura de *hardware* específico estão sendo desenvolvidas. Sistemas de controle são ferramentas promissoras para a gestão de energia, porque eles fornecem garantias reais de acompanhamento, precisão e estabilidade do processo. No entanto, computadores são submetidos a cargas de trabalho desconhecidas e não estacionárias. Logo o sistema de controle deve ser capaz de se adaptar às flutuações de carga de trabalho, garantindo um ótimo desempenho da máquina e com o mínimo consumo de energia. Este artigo propõe a construção de um modelo inferencial que descreva com precisão o regime de trabalho de um processador real, a partir deste modelo um controlador Fuzzy será implementado para o gerenciamento da energia do processador, distribuindo as cargas de trabalhos para as diversas CPU's evitando sobrecarga da máquina, contribuindo para o diagnóstico rápido de falhas e a monitoração de variáveis decisivas para efficientização da máquina. Os resultados de simulação mostraram que o método Fuzzy consegue gerar um modelo capaz de mapear os dados experimentais coletados, com boa precisão e eficiência atendendo os objetivos de controle.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lógica Fuzzy, modelagem, processadores e eficiência energética.

### **MODELING OF DYNAMIC POWER MANAGEMENT IN PROCESSORS WITH VARIATIONS OF WORK LOADS ON TIME**

**ABSTRACT:** Energy management techniques are applied to various computer systems for each of these systems is expected that the use of these techniques to reduce energy consumption without impairing the machine's performance. Multiple power management techniques adapted to the specific hardware architecture are being developed. Control systems are promising tools for energy management because they provide collateral monitoring, precision and process stability. However, computers are subject to unknown and non-stationary workloads. Soon the control system must be able to adapt to workload fluctuations, ensuring optimal performance of the machine and with minimal power consumption. This paper proposes the construction of an inferential model that accurately describe the work of a real processor system from this model Fuzzy controller will be implemented to manage the energy of the processor by distributing enterprise workloads for the various CPUs avoiding overload the machine, contributing to the rapid fault diagnosis and monitoring of decisive variables for machine efficiency. The simulation results showed that the fuzzy method can generate a model to map the collected experimental data with good accuracy and efficiency meeting the control objectives.

**KEYWORDS:** Fuzzy logic, modeling, processors and energy efficiency.

### **INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de políticas de eficiência energética para sistemas da informação é um grande desafio da atualidade (2015), visto que é difícil encontrar um modelo matemático (integral-diferencial)

com representação para todos os pontos de operação da máquina, salientando que as máquinas operam com diferentes regimes de trabalho (carga variantes no tempo), logo se faz necessário à construção de um modelo inferencial que represente o regime de trabalho máquina. O principal objetivo é reduzir o consumo de energia do sistema computacional, quer seja em baixo estado de energia, ou através da redução da tensão de alimentação (ou variação da frequência da tensão de alimentação). Para um provedor de serviços, como por exemplo, um processador, a literatura de gestão de energia é rica em técnicas e formalismos com soluções ótimas. Isto é possível sempre que as políticas de gestão energia são definidas para um modelo preciso de consumo energético da máquina.

Neste cenário de discussão de técnicas de otimização utilizadas na gestão de energia em sistemas da informação, o objetivo deste trabalho é desenvolver e apresentar de forma clara e simples dois modelos para o sistema de gestão de energia de uma plataforma experimental que consiste no monitoramento da energia da utilização de um processador com duas CPU's em tempo real: Modelo 01 – modelo inferencial (*FIS – Fuzzy Inference Systems*), desenvolvido a partir de regras Fuzzy e o Modelo 02 – modelo Neuro-Fuzzy (*ANFIS – Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems*).

## MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia utilizada para obtenção do modelo inferencial da planta experimental de gestão de energia no processador real consiste na execução das seguintes etapas:

1. Montagem da plataforma experimental;
2. Projeto e implementação do sistema de gestão dinâmico de energia;
3. Planejamento experimental: definição do número de pontos de operação que serão coletados, visando cobrir todas as faixas de carga da operação do processador;
4. Realização do experimento: coleta de dados – relação entre a frequência total e a frequência utilizada, taxa de utilização da CPU 01, taxa de utilização da CPU 02 e taxa de utilização média das duas CPU's;
5. Validação dos modelos construídos;
6. Projeto e implementação do controlador Fuzzy invertido.

Para construção do modelo inferencial que descreve a operação de um processador operando com cargas variantes no tempo, foram utilizados os seguintes materiais: computador, *Software* MATLAB-MathWorks, MS Excel, duas CPU's, cabos, fios, conectores e os programas básicos de um usuário de engenharia (pacote Office, AutoCad, CorelDraw, aplicativos *web* entre outros).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A plataforma experimental (ver Figura 1) para o gerenciamento dinâmico de energia consiste num *notebook* com um processador Intel Pentium M 750 (duas CPU's) com o conjunto de estados de energia. O sistema operacional foi a distribuição Ubuntu 10.10 com a versão 2.6.35-22-generic (i686) do núcleo do Linux. Essa plataforma experimental tem escalonamento dinâmico de tensão e frequência, e estados de sono profundo (*deep sleep*), implementados de acordo com o padrão ACPI.

Figura 1. Plataforma experimental – Sistema de Gestão de energia.

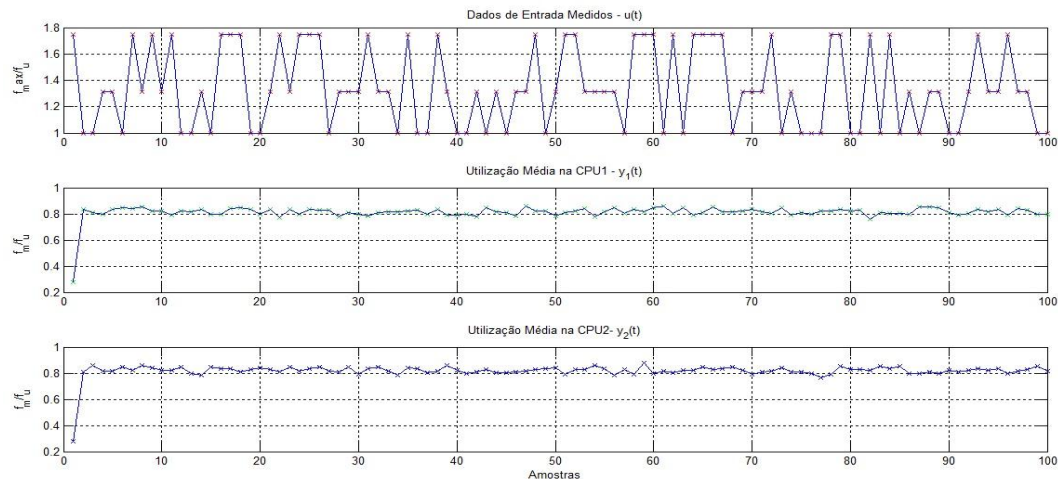


Fonte: Adaptado de Luiz, 2012.

A tarefa é construir um modelo inferencial para o regime de operação do processador, para incluir tanto a operação quanto a dinâmica do sistema de gerenciamento de energia proposto. O banco

de dados numéricos medidos (experimentais) necessários para alimentar o modelo Fuzzy consiste de uma matriz de dimensões  $102 \times 3$ , onde as linhas correspondem às amostras coletadas ao longo do tempo e as colunas as variáveis mensuradas (coluna 1 – a relação entre frequência total da máquina e frequência utilizada para realização das múltiplas tarefas; coluna 2 - a utilização média da CPU1 durante a realização das múltiplas tarefas da máquina; coluna 3 - a utilização média da CPU2 durante a realização das múltiplas tarefas da máquina). Na Figura 2 são ilustrados os sinais coletados ao longo de um intervalo de 30 minutos no dia 25 de maio de 2015, onde a máquina operou com 12 arquivos de vídeos (doze vídeos do Youtube), quatro aplicativos (MS Word, MS Excel, MATLAB – MathWorks e AutoCAD - Autodesk), e um arquivo de música (Rádio *online*).

Figura 2. Dados numéricos medidos da plataforma de GDE.



Inferência Fuzzy é o processo de mapeamento de uma determinada entrada em uma saída usando lógica Fuzzy. O processo envolve as etapas de: Fuzzyficação (funções de pertinência e operadores Fuzzy), Inferência (geração da base de regras Fuzzy – *if* e *then* regras) e Defuzzyficação (mapeamento de regras Fuzzy em saída). O *software* MATLAB, MathWorks, disponibiliza um aplicativo chamado FIS do Toolbox Logic Fuzzy, que permite implementar todas as etapas do sistema Fuzzy, podendo ser acessado via linha de comando (digitar Fuzzy) ou pelo Toolbox, este aplicativo usa de dois métodos para realizar o processo de inferência, o método Mamdani e o Sugeno (Sugeno, 1986 e Takagi, 1985).

A base de regras construídas para o problema do sistema de gerenciamento dinâmico de energia (GDE) do processador (plataforma experimental), a partir dos dados coletados é composta por dezoito (18) regras que associam a lógica AND e OR aos antecedentes e consequentes, são elas:

Tabela 01. Base de regras para o modelo Fuzzy.

R1: Se U é Baixo, então (Y1 é Mínimo OU Y2 é Mínimo);	R10: Se U é Médio, então (Y1 é Médio OU Y2 é Baixo);
R2: Se U é Baixo, então (Y1 é Mínimo E Y2 é Mínimo);	R11: Se U é Alto, então (Y1 é Alto OU Y2 é Alto);
R3: Se U é Baixo, então (Y1 é Mínimo OU Y2 é Baixo);	R12: Se U é Alto, então (Y1 é Alto E Y2 é Alto);
R4: Se U é Baixo, então (Y1 é Baixo OU Y2 é Mínimo);	R13: Se U é Alto, então (Y1 é Médio OU Y2 é Alto);
R5: Se U é Baixo, então (Y1 é Baixo OU Y2 é Baixo);	R14: Se U é Alto, então (Y1 é Alto OU Y2 é Médio);
R6: Se U é Baixo, então (Y1 é Baixo E Y2 é Baixo);	R15: Se U é Alto, então (Y1 é Máximo OU Y2 é Máximo);
R7: Se U é Médio, então (Y1 é Médio OU Y2 é Médio);	R16: Se U é Alto, então (Y1 é Máximo E Y2 é Máximo);
R8: Se U é Médio, então (Y1 é Médio E Y2 é Médio);	R17: Se U é Alto, então (Y1 é Máximo OU Y2 é Alto);
R9: Se U é Médio, então (Y1 é Médio OU Y2 é Baixo);	R18: Se U é Alto, então (Y1 é Alto OU Y2 é Máximo);

A superfície 2D gerada na relação entrada-saída para  $u - y_1$  e  $u - y_2$ , mostram o comportamento dinâmico do modelo construído.

Uma das possibilidades mais interessantes em sistemas inteligentes é combinar as características interessantes de RNA (Rede Neural Artificial) com a Lógica Fuzzy (Roger, 1995). O Sistema ANFIS permite criar um conjunto de regras que são treinadas com os dados da aplicação. Tem-se assim a componente de explicação dos sistemas especialistas combinada com a característica de aprendizagem dos sistemas neurais. Os resultados da aplicação do método do modelo ANFIS com método Sugeno aos dados medidos na plataforma experimental mostram que os dados estimados a partir do treinamento da rede conseguem mapear os dados medidos com um erro quadrado de 98%, como apenas nove neurônios. A base de regras construída para o problema do sistema de gerenciamento

dinâmico de energia do processador, a partir dos dados coletados é composta por nove (09) regras que associam a lógica Se-Então aos antecedentes e consequentes, são elas:

Tabela 02. Base de regras para o modelo ANFIS.

R1: Se U é U1, então (Y é Y1);	R6: Se U é U6, então (Y é Y6);
R2: Se U é U2, então (Y é Y2);	R7: Se U é U7, então (Y é Y7);
R3: Se U é U3, então (Y é Y3);	R8: Se U é U8, então (Y é Y8);
R4: Se U é U4, então (Y é Y4);	R9: Se U é U9, então (Y é Y9);
R5: Se U é U5, então (Y é Y5);	

A base de regras Fuzzy, foi projetada para atender a operação do processado para varrer a relação  $f_{total}/f_{util}$ , do mínimo (1.75) até o máximo (1.0) e taxa de utilização média das CPU's do mínimo (0.0) até o máximo (1.0) em nove pontos operacionais de  $(U_1, Y_1) \dots (U_9, Y_9)$  distintos.

Os resultados obtidos para os dados numéricos coletados da plataforma experimental com os modelos Neuro-Fuzzy usando o método Sugeno e Fuzzy usando método Mamdani mostraram-se viáveis e confiáveis para fins de controle do sistema de gerenciamento da energia. Contudo, os resultados podem ser melhorados pela divisão do intervalo de domínio em várias regiões (várias funções de pertinência), tanto na entrada como saída, pois como consequência desta ação teremos uma base de regras maior, com mais proposições lógicas e uma superfície entrada-saída mais precisa dos resultados. O modelo inferencial desenvolvido representa bem o regime de operação do processador operando com cargas variantes no tempo, atendendo aos requisitos de projeto, tal modelo pode ser usado na técnica chamada de modelo Fuzzy invertido para projetar um controlador Fuzzy robusto, que controle (distribua as diversas cargas para as diversas CPU's, para que estas operem de forma cooperativa, melhorando o desempenho da máquina, como o menor consumo de energia) a operação cooperativa das CPU's e contribua para a eficientização energética da máquina (ou sistema da informação/computacional).

## CONCLUSÕES

Os modelos de lógicos desenvolvidos para o sistema de gerenciamento dinâmico energia (GDE) da plataforma experimental (processador) operando com cargas variantes no tempo mostraram-se eficientes quando avaliada para diferentes pontos de operação (regimes de operação) da planta experimental, bem como no compromisso da estratégia de controle na redução de tempo e na qualidade do produto final.

O modelo ANFIS mostrou-se superior em termos de desempenho e precisão no mapeamento dos sinais de saídas da planta experimental frente ao modelo FIS (Mamdani e Sugeno). Contudo, a depender da aplicação dos fins de controle tais modelos podem ser utilizados. O modelo ANFIS construído deve ser usado para projetar o controlador com modelo ANFIS invertido no gerenciamento dinâmico de energia do processador, controlando a planta experimental na operação cooperativa das CPU's, distribuindo de maneira uniforme as cargas de trabalho do processador entre as diversas CPU's que compõe a máquina, desta forma a máquina trabalhará com melhor desempenho e menor consumo de energia.

O modelo invertido ANFIS e o projeto do controlador que leva em consideração esta característica deverá ser implementado em outro trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Luiz, S. O. D. Gerenciamento Dinâmico de Energia em Processadores com Carga de Trabalho variantes no tempo. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, Brasil, 2012.
- Roger J. S. Jang and Gulley N. MATLAB ® Fuzzy Logic Toolbox. User Guide, MathWorks, Berkeley, CA, January 10, 1995.
- Sugeno, M. e Kang, G. T. (1986). Structure identification of fuzzy model. Fuzzy Sets and Systems, 28:329–346.
- Takagi, T. e Sugeno, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 15(1):116–132.