

## **APLICAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA A OTIMIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA EM UM VEÍCULO HÍBRIDO (HEV)**

**Fernanda C. Corrêa, Ludmila C. A. Silva e Franco G. Dedini**

*Laboratório de Sistemas Integrados, Faculdade de Engenharia Mecânica – Unicamp Rua  
Mendeleiev, 200 Cidade Universitária "Zeferino Vaz" Distrito de Barão Geraldo 13083-860  
Campinas – SP- Brasil, fernanda@fem.unicamp.br, ludmila@fem.unicamp.br,  
dedini@fem.unicamp.br, <http://www.fem.unicamp.br>*

**Palavras-Chaves:** HEV, Projeto Axiomático, Fuzzy, Controle, Requisitos.

**Resumo** Para desenvolver sistemas de controle de maneira sistemática, propõe-se a utilização de metodologias de projeto para guiar todo processo de desenvolvimento desse produto. Dentre essas metodologias aplicadas, destaca-se o Projeto Axiomático, que é uma das metodologias mais adequadas no desenvolvimento de lógicas de controle complexas. Ele busca otimizar o projeto através da independência dos requisitos funcionais, de forma que, quando ocorrer problemas em algum requisito funcional, este não afetará o projeto como um todo. Logo este trabalho visa à aplicação do projeto axiomático no desenvolvimento do sistema de controle para veículos híbridos (HEV). Para isso foram desenvolvidos os requisitos funcionais para o controle de uma veiculo híbrido, porém as relações entre os requisitos são definidos como "zero" e "um" não tendo uma relevância entre eles. Assim com os requisitos funcionais e com o auxílio da lógica fuzzy é possível quantificar a influência de cada parâmetro dos requisitos funcionais tendo uma visão do comportamento do veiculo auxiliando no desenvolvimento do sistema de controle. Como resultados, este trabalho apresenta as pertinências e as regras usadas nos requisitos funcionais e a influência de cada fator para cada caso desejado.

## 1 INTRODUÇÃO

Os Veículos Híbridos (HEVs) estão se tornando, nos últimos tempos, tanto alternativas quanto soluções para os problemas enfrentados pela sociedade urbana. Problemas como alto consumo de combustível derivado de petróleo e a liberação de gases poluentes são diminuídos com a aplicação da tecnologia empregada nos veículos híbridos. Conforme Bücherl (2008) esses fatores fazem com que todas as montadoras tenham um veículo híbrido num futuro próximo.

Veículos híbridos têm como característica principal a união de dois ou mais sistemas de geração de potência, como por exemplo, motores à combustão interna acoplados à motores elétricos ou com células de combustível.

Existem vários tipos de modos de trabalho dos HEV, ou seja, de configurações. Para cada situação de trânsito, a escolha do sistema de geração de potência ou da configuração gera uma melhor ou pior eficiência.

A pretensão é que os veículos híbridos consigam economizar combustível até três vezes do que é consumido nos veículos atuais (34 km/l), sem comprometer as expectativas do consumidor no que diz respeito ao desempenho, conforto, segurança, qualidade e custo. Para se atingir tais objetivos é importante otimizar a arquitetura e componentes do veículo híbrido, mas igualmente importante é a estratégia de gerenciamento de energia que é usada para controlar o sistema completo.

A estratégia de gerenciamento de energia é implementada pela unidade de controle principal, onde é controlado o fluxo de energia entre todos os componentes, e otimizada a geração de energia e a conversão nos componentes individuais.

Dessa forma, a inserção do projeto axiomático torna-se importante, a fim de que a estratégia de gerenciamento de energia ocorra de forma metodológica, e não por tentativas e erros. De acordo com Lombardi Júnior (2006) o objetivo geral do projeto axiomático é reduzir a complexidade, visando diminuir o número de estratégias testadas e garantir o teste somente daquelas cuja probabilidade de sucesso seja maior.

O projeto axiomático tem sido aplicado a diversos problemas, estendendo-se para uma vasta gama na área de projetos de engenharia tais como na concepção de produtos apresentado por Suh, (1990), fabricação e projeto de sistemas exemplificado por Suh (1998), Gu (2001) e Suh (1997), projeto de softwares demonstrado por Harutunian (1996), Suh e Do (2000) e projeto de sistemas de controle. Dentro deste contexto, este artigo aborda a aplicação da metodologia de projeto axiomático no desenvolvimento do sistema de controle de um HEV, onde seus Requisitos Funcionais (FRs) são analisados em termos de prioridade de acionamento considerando várias situações de trânsito, para tal análise utiliza-se a lógica fuzzy.

## 2 O PROJETO AXIOMÁTICO

O Projeto Axiomático é definido como a criação de soluções sintetizadas para se formar produtos, processos ou sistemas que satisfaçam necessidades percebidas, através do mapeamento dos desejos dos clientes em Requisitos Funcionais (*Functional Requirements* – FR) e destes em Parâmetros de Projeto (*Design Parameters* – DP). Os requisitos funcionais representam as metas do projeto ou o que se deseja atender. Os parâmetros de projeto expressam como se quer satisfazer os requisitos funcionais, como mostra a Figura 1.

A correta definição dos FRs é a parte crítica do projeto. Esta definição requer que se conheça o problema, e as suas relações. Segundo Lobo (2003) uma definição imprecisa pode implicar em uma solução complexa, desnecessária ou mesmo inaceitável.

A teoria de projeto axiomático de Suh (1978) começou com a seguinte pergunta: “Dado um conjunto de requisitos funcionais para um determinado produto, existem axiomas de aplicação genérica que levam a decisões corretas em cada passo da fabricação (desde a etapa de projeto até a montagem final e inspeção) para planejar um sistema de produção ótimo?”. Para responder a esta pergunta foi elaborado um conjunto de axiomas que foram testados e avaliados em estudos de caso.

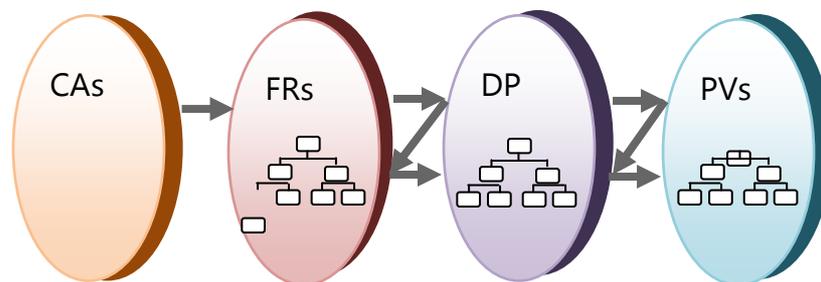


Figura 1 – Domínios do projeto (Adaptado de Xuan, 2009).

Os dois axiomas propostos são: o axioma 1, também chamado de axioma da independência, e o axioma 2, também chamado de axioma do conteúdo de informação. O axioma 1 trabalha com a relação entre funções – FRs, e variáveis físicas – DPs e o axioma 2 analisa a questão da complexidade de um projeto.

- **Axioma 1 – Axioma da Independência**

Por definição, os FRs são sempre independentes entre si, mas dependendo das soluções de projeto adotadas, DPs, o sistema implementado se torna acoplado ou semi-acoplado, ou seja, um único DP, solução de projeto, resulta em diferentes respostas para mais de um FR. Este axioma é aplicado analisando-se a matriz de projeto, FRs x DPs. Assim, pode-se distinguir três diferentes tipos de projetos: o projeto desacoplado (matriz diagonal), o projeto semi-acoplado (matriz triangular) e o projeto acoplado (nenhum dos dois casos). Graficamente, o sistema se comporta

como mostrado na Figura 2 para cada um dos casos.

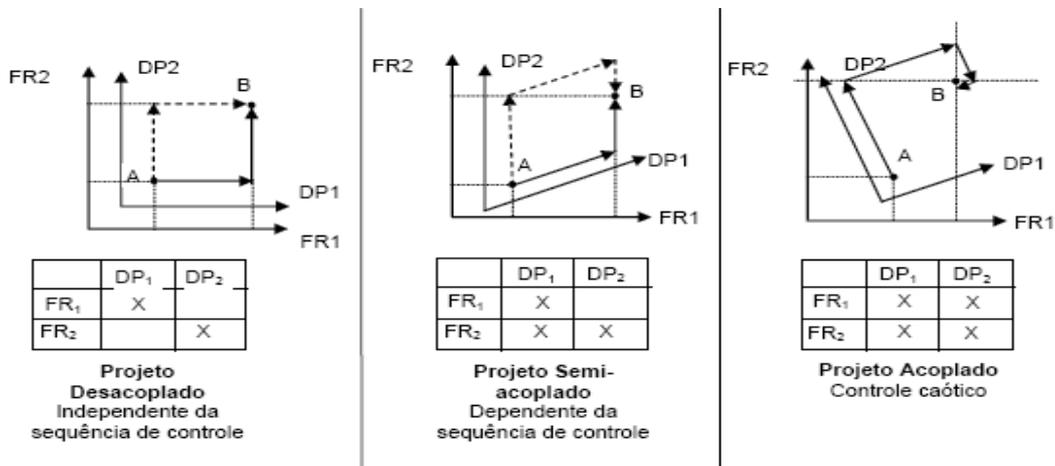


Figura 2 - Tipos de projetos (Cochran, 2000).

Quando os FRs não são atendidos pelos DPs de maneira independente tem-se um sistema caótico, complicado de ser controlado e ajustado, tem-se um projeto acoplado. No caso oposto, no projeto desacoplado, a introdução de uma modificação em um DP, resulta em uma variação em um único requisito funcional. Neste caso, o sistema é muito mais facilmente controlável e, conseqüentemente, o sistema de controle pode ser muito mais simples.

### • Axioma 2 – Axioma da informação

De acordo com Suh (1990) o conteúdo de informação de um sistema é definido em termos da probabilidade logarítmica de um dado DP, satisfazer um dado requisito funcional. Assim, o conteúdo de informação é calculado conforme a Equação 1.

$$I = -\sum_{i=1}^n \log_2 p_i \quad (1)$$

Onde:

$p$  é a probabilidade de um dado  $FR_n$  ser satisfeito pelo seu  $DP_n$ ;

$n$  é número total de FRs.

Analisando-se a Equação 1 observa-se que os sistemas com baixa probabilidade de sucesso têm um alto conteúdo de informação, ou seja, têm alta complexidade. Assim o conteúdo de informação do projeto deve ser minimizado, pois este impacta negativamente o projeto. De acordo com o axioma 2, a necessidade de informação é proporcional a complexidade do sistema. Assim, a introdução de informação desnecessária só contribui para piorar o sistema e tendo a necessidade de um sistema de controle mais complexo.

### 3 A LÓGICA FUZZY

A lógica fuzzy é a lógica baseada na teoria dos conjuntos fuzzy. Ela difere dos sistemas lógicos tradicionais em suas características e detalhes. Nesta lógica, o raciocínio exato corresponde a um caso limite do raciocínio aproximado, sendo interpretado como um processo de composição de relações nebulosas. Na lógica fuzzy, o valor verdade de uma proposição pode ser um subconjunto fuzzy de qualquer conjunto parcialmente ordenado, ao contrário dos sistemas lógicos binários, onde o valor verdade só pode assumir dois valores: verdadeiro (1) ou falso (0)

De acordo com Gomide et al. (1995), nos sistemas lógicos multi-valores, o valor verdade de uma proposição pode ser ou um elemento de um conjunto finito, num intervalo, ou uma álgebra booleana. Na lógica nebulosa, os valores verdade são expressos linguisticamente, (e.g.: *verdade, muito verdade, não verdade, falso, muito falso, ...*), onde cada termo linguístico é interpretado como um subconjunto fuzzy do intervalo unitário.

Outras características da lógica fuzzy podem ser sumarizadas como segue: nos sistemas lógicos binários, os predicados são exatos (e.g.: *par, maior que*), ao passo que na lógica fuzzy os predicados são nebulosos (e.g.: *alto, baixo, ...*). Nos sistemas lógicos clássicos, o modificador mais utilizado é a negação enquanto que na lógica fuzzy uma variedade de modificadores de predicados são possíveis (e.g.: *muito, mais ou menos, ...*). Estes modificadores são essenciais na geração de termos linguísticos (e.g.: *muito alto, mais ou menos perto, etc*).

Na teoria de conjuntos clássica, um elemento pertence ou não a um dado conjunto. Dado um universo  $U$  e um elemento particular  $x \in U$ , o grau de pertinência  $\mu_A(x)$  com respeito a um conjunto  $A \subseteq U$  é dado por:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{se } x \in A \\ 0 & \text{se } x \notin A \end{cases} \quad (2)$$

A função  $\mu_A(x): U \rightarrow \{0,1\}$  é chamada de função característica na teoria clássica de conjuntos. Frequentemente, uma generalização desta ideia é utilizada, por exemplo, para manipulação de dados com erros limitados. Todos os números dentro de um erro percentual terão um fator de pertinência 1, tendo todos os demais um fator de pertinência 0 (veja Figura 3a). Para o caso preciso, o fator de pertinência é 1 somente no número exato, sendo 0 para todos os demais (veja Figura 3b).

Zadeh (1965) propôs uma caracterização mais ampla, na medida em que sugere que alguns elementos são mais membros de um conjunto do que outros. O fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. Esta generalização aumenta o poder de expressão da função característica. Por exemplo, para expressar a ideia de que uma temperatura tem seu valor por volta de 25, pode-se utilizar uma função de pertinência triangular (veja Figura 3c), com o pico em 25,

para sugerir a ideia de que quanto mais perto o número de 25, mais ele se identifica com o conceito representado.

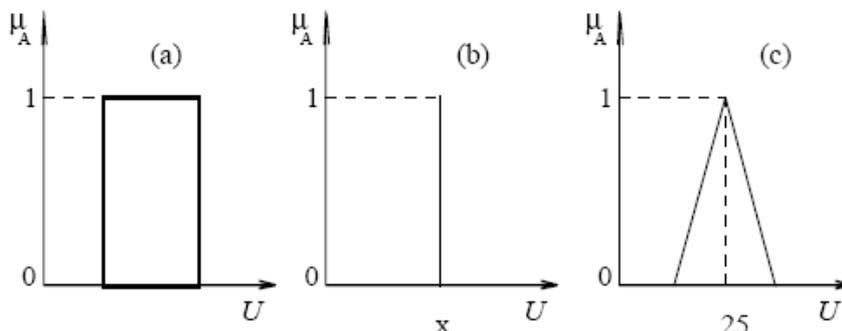


Figura 3 - Funções de Pertinência

Formalmente, seja  $U$  uma coleção de objetos denominados genericamente por  $\{u\}$ .  $U$  é chamado de universo de discurso, podendo ser contínuo ou discreto. Um conjunto fuzzy  $A$  em um universo de discurso  $U$  é definido por uma função de pertinência  $\mu_A$  que assume valores em um intervalo  $[0,1]$ . O conjunto suporte de um conjunto fuzzy  $A$  é o sub-conjunto dos pontos  $u$  de  $U$  tal que  $\mu_A(u) > 0$ . Um conjunto fuzzy cujo conjunto suporte é um único ponto de  $U$  com  $\mu_A = 1$  é chamado de um conjunto unitário fuzzy.

Sejam  $A$  e  $B$  subconjuntos nebulosos em  $U$ , com funções de pertinência  $\mu_A$  e  $\mu_B$ . A interseção fuzzy de  $A$  e  $B$  é, por definição, o conjunto fuzzy  $C$ .

$$C = A \cap B \tag{3}$$

$$C = \sum_{\mu \in U} \mu_c(u)u \tag{4}$$

$$\mu_c(u) = \min\{\mu_A(u), \mu_B(u)\} \tag{5}$$

A implicação é uma declaração da forma: *Se A Então B*; ou de forma condensada  $A \rightarrow B$  ( $A$  implica  $B$ ). Se  $A$  e  $B$  forem conjuntos fuzzy, então  $A \rightarrow B$  será uma declaração condicional fuzzy. Através do emprego de frases da forma *Se (condições) Então (conclusões / ações)*, chamadas de regras de produção, é possível traduzir de maneira lingüística um conhecimento. Existem diversas formas de se representar uma implicação fuzzy (Lee, 1990), as duas maneiras mais usuais de fazê-lo é através de uma conjunção fuzzy, usando mínimo ( $\wedge$ ) ou produto algébrico ( $\bullet$ ).

$$A \rightarrow B \quad \Delta A \times B \quad \Delta \int_{U \times V} \mu_A(u) \wedge \mu_B(v) / (u, v) \tag{6}$$

$$A \rightarrow B \quad \Delta A \times B \quad \Delta \int_{U \times V} \mu A(u) \bullet \mu B(v) / (u, v) \quad (7)$$

Cada uma das regras *Se... Então* carrega uma informação sobre o sistema. O conjunto de todas elas, ou seja o conjunto união de todas as regras exprime o conhecimento ou o modelo do sistema. Cada uma das regras pode ser traduzida por uma implicação fuzzy  $R_i$  e a união de todas elas é um conjunto fuzzy no qual está condensado todo o conhecimento que se tem sobre o sistema:

$$R = \bigcup_i \quad (8)$$

O comportamento do sistema será o resultado da união das ações individuais de cada regra que o descreve. O conjunto fuzzy  $R$  é, pois, o equivalente ao modelo ou função de transferência do sistema empregado na teoria de controle.

A regra composicional de inferência proposta por Zadeh é capaz de inferir uma saída aproximada  $B'$ , quando o antecedente da regra  $A$  se casa de maneira aproximada com o fato  $A'$ , e exatamente, o conseqüente  $B$  previsto pela regra quando  $X = A$ . É, neste sentido, que a regra composicional de inferência desempenha uma *MODUS PONENS GENERALIZADO (M.P.G.)*, base do raciocínio aproximado. Seu enunciado é:

*Seja  $R$  uma relação nebulosa de  $U$  para  $V$ , e  $X'$  um subconjunto de  $U$ . Então o subconjunto nebuloso  $Y'$  de  $V$ , induzido por  $X'$  em  $R$  é dado por:*

$$Y' = X' \cdot R$$

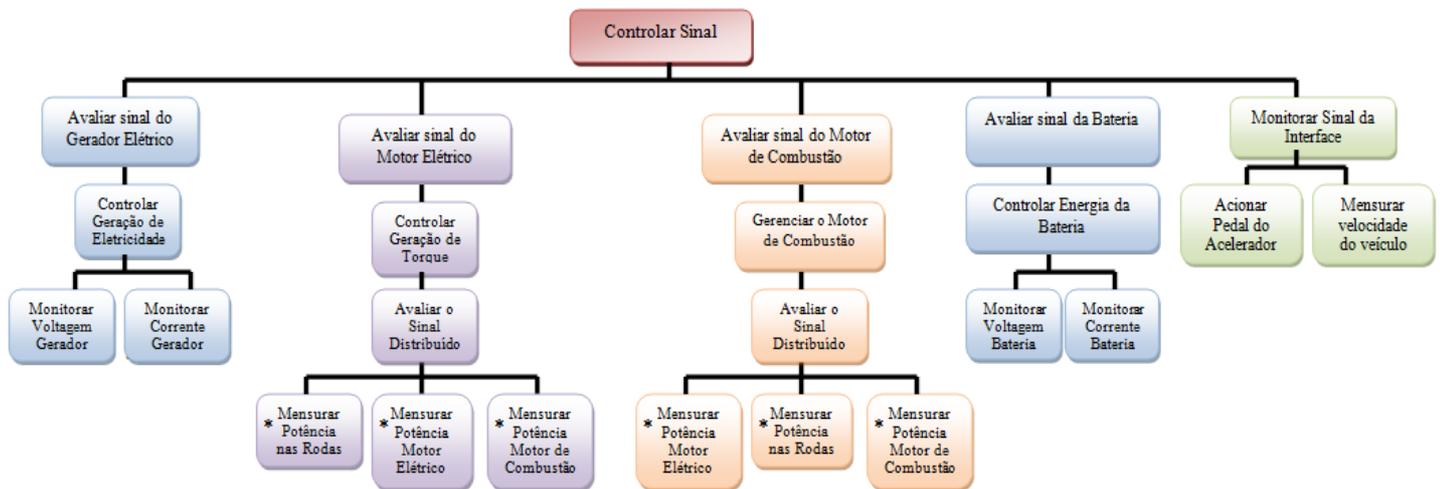
$$\mu_{Y'}(v) = \max_u \{ \min \{ \mu_{X'}(u), \mu_R(u, v) \} \} \quad (9)$$

$$\mu_R(u, v) = \mu_{A \rightarrow B}(u, v) = (\mu_X(u) * \mu_Y(v)) \quad (10)$$

#### 4 IMPLEMENTAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA OTIMIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA DE UM HEV

O primeiro passo para a implementação da lógica fuzzy para a otimização da estratégia de gerenciamento de energia de um HEV é a definição dos FRs que serão analisadas em termos de prioridade de acionamento do sistema de controle.

No trabalho de Silva et. al. (2010) são definidos os FRs e DPs necessários para o funcionamento do sistema de controle de um HEV, e também obtida a matriz de projeto. Dessa forma, os FRs utilizados neste trabalho são os mesmos que Silva et. al.



(2010) obteve, cujo diagrama pode ser observado na Figura 4.

Figura 4: Diagrama dos Requisitos Funcionais para o sistema de controle do HEV (Silva et. al.,2010)

Os FRs analisados neste trabalho são os FRs do último nível, que são: Monitorar Voltagem do Gerador, Monitorar Corrente do Gerador, Mensurar Potência nas Rodas, Mensurar Potências no Motor Elétrico, Mensurar Potência no Motor de Combustão, Monitorar Voltagem da Bateria, Monitorar Corrente da Bateria, Acionar Pedal do Acelerador e Mensurar Velocidade do Veículo.

Para realizar a análise da prioridade de acionamento dos FRs no sistema de controle tem-se que os FRs de Acionar Pedal do Acelerador e Mensurar Velocidade do Veículo são as entradas para o acionamento do sistema de controle e a análise de prioridade é então realizada utilizando-se as FRs restantes aplicando-se a lógica fuzzy.

Primeiramente, para se implementar a lógica fuzzy é necessário que as funções de pertinência para cada FR sejam definidas. As FRs de entrada têm a função de pertinência conforme pode ser observado na Figura 5.

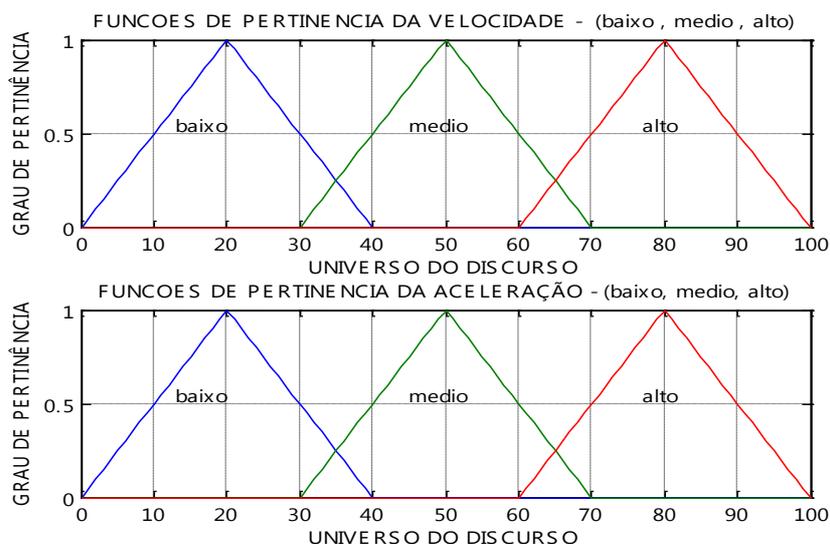


Figura 5: Funções de Pertinências das FRs de entrada.

Já as FRs analisadas em termos de prioridade de acionamento possuem a função de pertinência que pode ser visualizada na Figura 6. O grau de pertinência possui valores entre 0 e 1, e o universo do discurso valores entre 0 a 100 que corresponde à faixa de velocidade e de percentual de deslocamento do acelerador. Depois que as funções de pertinência dos FRs são definidas, o próximo passo é a definição das regras que serão aplicadas às funções. Para cada FR a ser analisada são aplicadas regras que condizem ao seu comportamento dentro do acionamento do sistema de controle, cujas regras são elaboradas por especialistas no assunto. A Tabela 1 mostra um exemplo da forma que as regras foram aplicadas, considerando nesse caso a potência no motor elétrico.

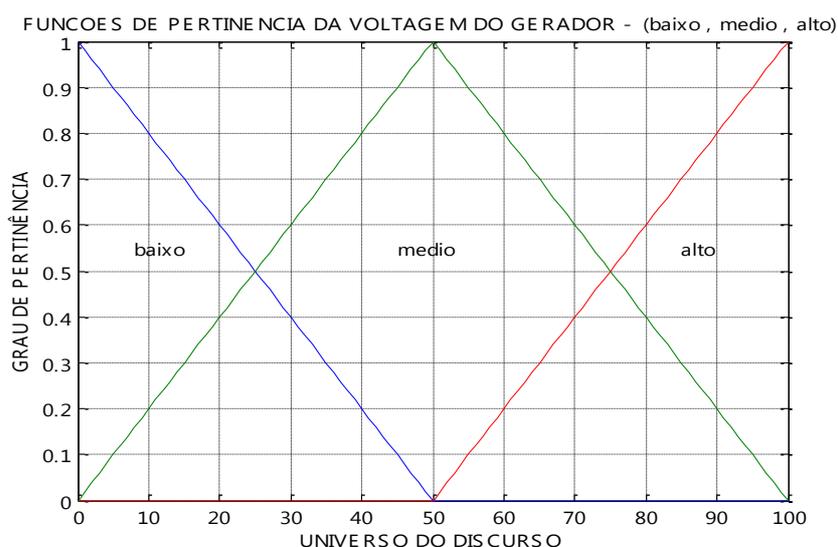


Figura 6: Funções de Pertinências das FRs analisadas.

**r1:** se a VELOCIDADE é BAIXA e a ACELERAÇÃO é BAIXA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO é MEDIO.

**r2:** se a VELOCIDADE é BAIXA e a ACELERAÇÃO é MÉDIA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É ALTA.

**r3:** se a VELOCIDADE é BAIXA e a ACELERAÇÃO é ALTA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É ALTA.

**r4:** se a VELOCIDADE é MÉDIA e a ACELERAÇÃO é BAIXA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É BAIXO.

**r5:** se a VELOCIDADE é MÉDIA e a ACELERAÇÃO é MÉDIA então A POTENCIA NO MOTOR ELETTRICO É MEDIO.

**r6:** se a VELOCIDADE é MÉDIA e a ACELERAÇÃO é ALTA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É MEDIO.

**r7:** se a VELOCIDADE é ALTA e a ACELERAÇÃO é BAIXA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É BAIXO.

**r8:** se a VELOCIDADE é ALTA e a ACELERAÇÃO é MÉDIA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É BAIXO.

**r9:** se a VELOCIDADE é ALTA e a ACELERAÇÃO é ALTA então A POTENCIA NO MOTOR ELÉTRICO É BAIXO.

Tabela 1 – Exemplo de Regras aplicadas à FR de Monitorar Potência no Motor Elétrico

Após as regras serem elaboradas o passo final consiste na aplicação da regra composicional de inferência conforme dado na Equação 9, de onde é obtido o resultado da aplicação da lógica fuzzy.

## 5 RESULTADOS

A princípio, os FRs do sistema de controle de um HEV foram analisados em termos de nível prioridade de acionamento explorando-se as faixas dos FRs de entrada (Acionar Pedal do Acelerador e Mensurar Velocidade do Veículo), que vão de 0 à 100, tanto para a velocidade (km/h) quanto para o acionamento do pedal do acelerador (%). Desta forma, foram simuladas quatro situações de trânsito, cujos valores de entrada e a resposta podem ser observados na Tabela 2:

	1º caso	2º caso	3º caso	5º caso
<b>Velocidade (km/h)</b>	<b>25</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>95</b>
<b>Acionamento do Pedal do Acelerador (%)</b>	<b>95</b>	<b>60</b>	<b>20</b>	<b>70</b>
<b>Voltagem do Gerador</b>	0.2177	0.5	0.5	0.7823
<b>Corrente do Gerador</b>	0.2177	0.5	0.5	0.7823
<b>Potência nas Rodas</b>	0.5	0.5	0.5	0.7823
<b>Potência no Motor Elétrico</b>	0.7823	0.5	0.1722	0.2177
<b>Potência do Motor de</b>	0.2177	0.5	0.5	0.7823

<b>Combustão</b>				
<b>Voltagem da Bateria</b>	0.7823	0.8082	0.1722	0.2177
<b>Corrente da Bateria</b>	0.5	0.5	0.5	0.2177

Tabela 2: Casos analisados com a variação da velocidade e do acionamento do pedal do acelerador.

De acordo com a Tabela 2, quando a velocidade do HEV é baixa e o pedal do acelerador está quase que totalmente pressionado, os FRs de maior importância são o monitoramento do motor elétrico e o monitoramento da voltagem da bateria. Isto acontece devido ao fato de que quando a velocidade do HEV é baixa, de acordo as definições dos especialistas para este caso estudo, a potência que chega nas rodas é predominantemente oferecida pelo motor elétrico, de forma que se tenha uma economia de combustível. O monitoramento da voltagem da bateria é igualmente importante pelo fato da bateria fornecer energia ao motor elétrico.

Já quando a velocidade e o acionamento do pedal do acelerador tem valores intermediários o FR de maior importância é o de monitorar a voltagem da bateria, e os FRs restantes tem níveis de prioridade iguais. Tal comportamento é decorrente dos valores intermediários de velocidade e acionamento do acelerador, fazendo com que o motor elétrico e o motor de combustão trabalhem de forma simultânea fornecendo potência às rodas. Dessa forma, o acionamento do sistema de controle deve priorizar o monitoramento da voltagem da bateria para que não ocorra algum problema no funcionamento do motor elétrico.

No terceiro caso a velocidade é superior ao percentual do acionamento do pedal do acelerador, fazendo-se com que as FRs tenham um mesmo nível de prioridade de acionamento, exceto as FRs responsáveis pelo monitoramento da voltagem da bateria e pelo monitoramento da potência no motor elétrico. Esse comportamento indica que para altas velocidades o motor de combustão assume um papel mais significativo que o motor elétrico.

No último caso analisado tem-se que tanto a velocidade quanto o percentual do acionamento do pedal do acelerador possuem valores elevados, resultando também em um nível de prioridade igual para as FRs, menos para as FRs que estão interligadas ao motor elétrico como o monitoramento da corrente da bateria, e o monitoramento da voltagem da bateria.

Nos casos relatados acima, tem-se que para cada velocidade e para cada percentual de acionamento do pedal do acelerador obtêm-se uma hierarquia de prioridade de acionamento do sistema de controle de um HEV. Através das Figuras 4, 5 e 6 observa-se o comportamento de cada FR em função do valor da velocidade e do percentual de acionamento do pedal do acelerador. Dessa forma, é possível analisar tanto a voltagem do gerador quanto a sua corrente, e eles assumem um elevado nível de importância quando a velocidade e o acionamento do pedal do acelerador são maiores.

Já o monitoramento da potência nas rodas assume um papel relevante quando os valores de velocidade e de acionamento do pedal do acelerador são bem elevados. O

monitoramento da potência no motor elétrico é importante para baixas velocidades, aumentando-se quando o percentual do acionamento do pedal do acelerador se eleva. No entanto, para o monitoramento da potência do motor de combustão acontece o inverso, torna-se importante apenas para altas velocidades. Enquanto que na bateria, tanto o monitoramento da voltagem quanto o monitoramento da corrente tem papel fundamental quando o HEV possui velocidades baixas.

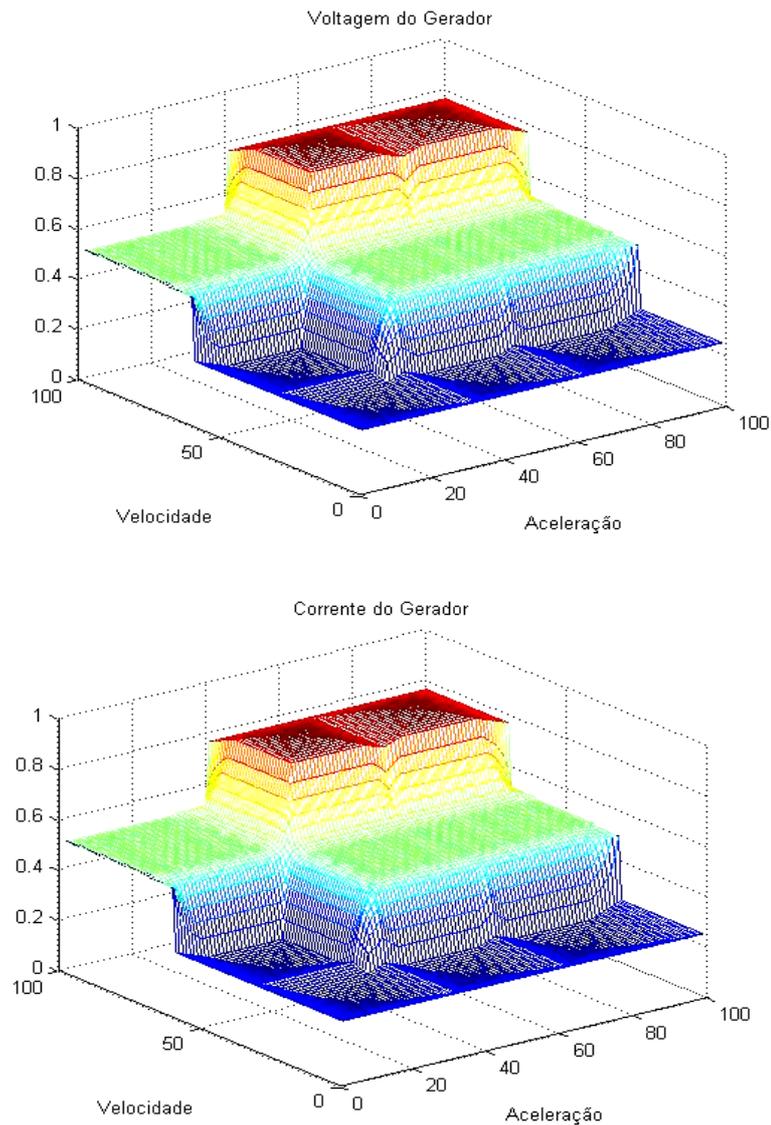


Figura 4: Comportamento da voltagem e da corrente do gerador nas várias situações de trânsito.

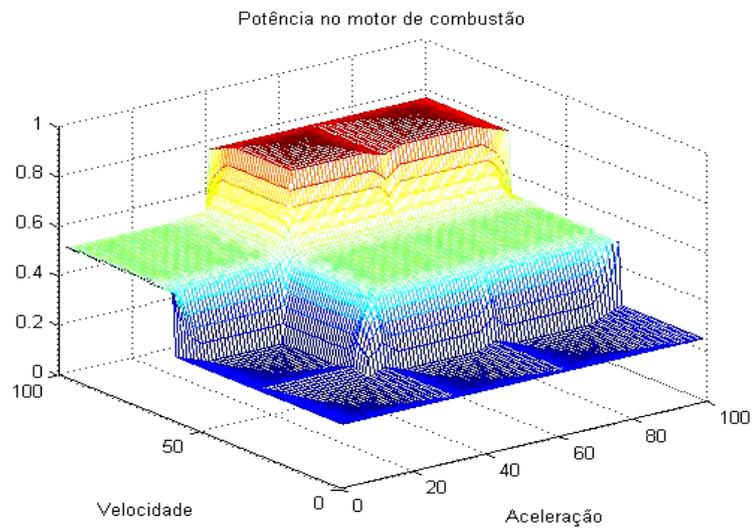
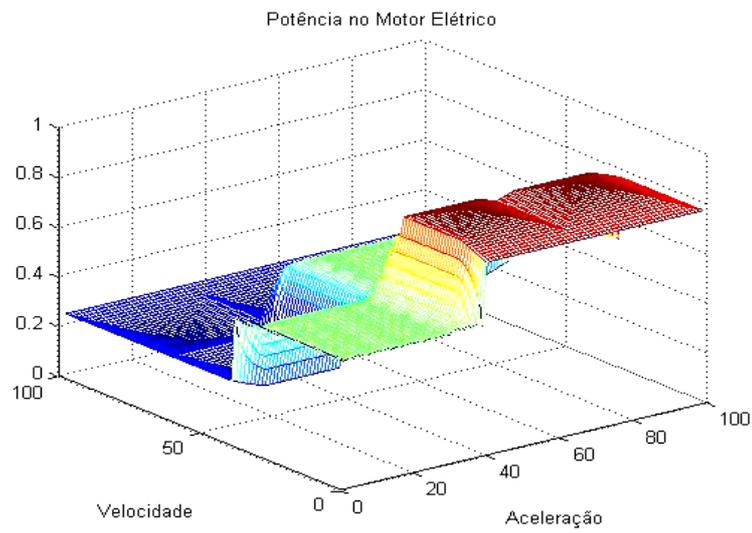
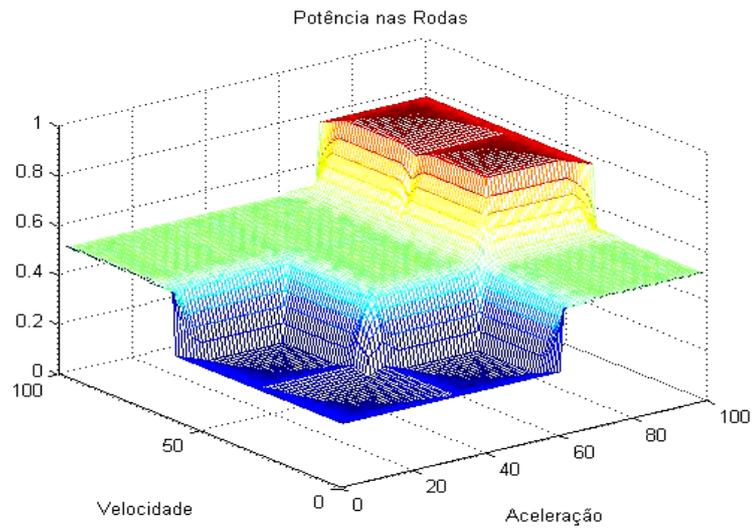


Figura 5: Comportamento da potência nas rodas, da potência no motor elétrico e na potência no motor de combustão nas várias situações de trânsito.

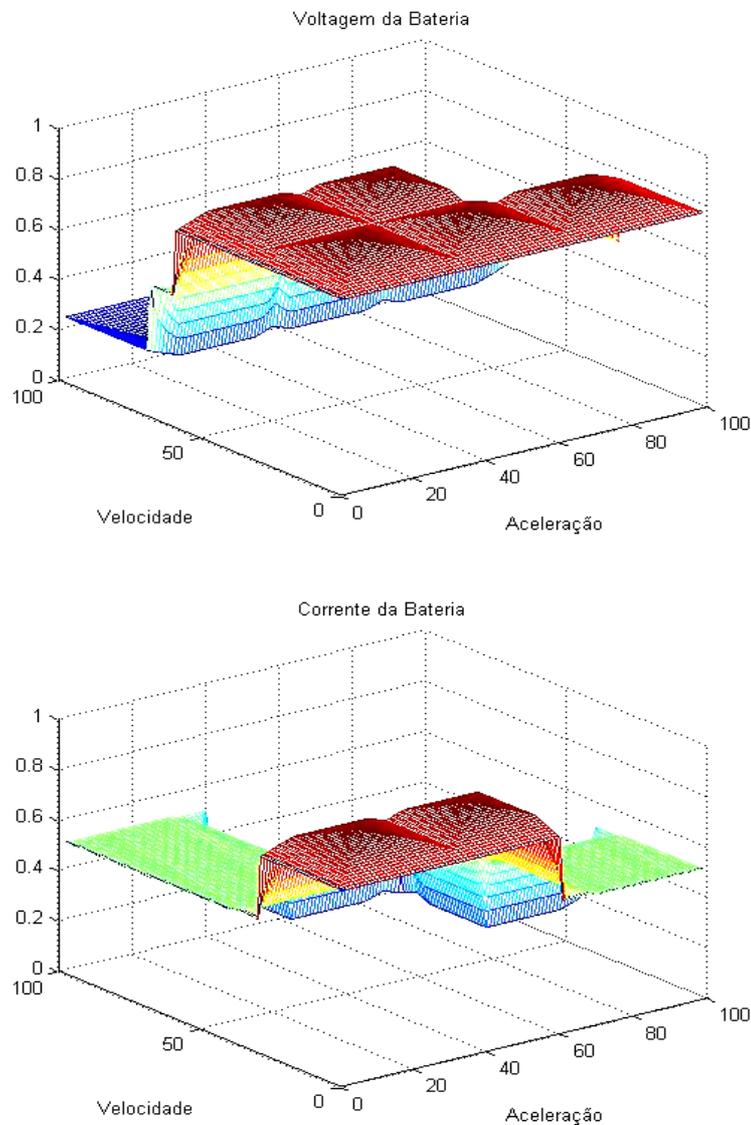


Figura 6: Comportamento da voltagem e da corrente da bateria nas várias situações de trânsito.

## 6 CONCLUSÕES

No presente trabalho é realizada uma análise em termos de prioridade de acionamento de um sistema de controle de um HEV. Para se efetuar tal análise utilizou-se o projeto axiomático, de modo que os FRs responsáveis pelo funcionamento do sistema de controle fossem quantificados através da lógica fuzzy. A lógica fuzzy possibilitou, de forma satisfatória, o estudo da prioridade de acionamento dos FRs, de modo que os resultados desse trabalho mostraram estar dentro do comportamento desejado de um sistema de controle de um HEV. Dessa forma, através dos resultados obtidos neste trabalho é possível otimizar o sistema de controle, uma vez que o seu comportamento para várias situações de trânsito

tornou-se conhecido.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio recebido pela CAPES, CNPq e CPFL para a realização desse trabalho.

## REFERENCES

- Bücherl, D., Nuscheler, R., Meyer W., Herzog, H., Comparison of Electrical Machine Types in Hybrid Drive Trains: Induction Machine vs. Permanent Magnet Synchronous Machine, *Proceedings of the International Conference on Electrical Machines*, 2008.
- Cochran, D. S., Lima, P. C., *The Production System Design Decomposition*, MIT Production System Design Laboratory working document, 1998.
- Gomide, F. A. C., Gudwin, R. R. e Tanscheit, R., Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. *Proceedings of 6th International Fuzzy Systems Association World Congress - IFSA95, Tutorials*, pp. 1-38, 1995.
- Gu, P., Rao, H. A., Tseng, M. M., Systematic Design of Manufacturing Systems Based on Axiomatic Design Approach, *Annals of the CIRP*, 50/1:299-304, 2001.
- Harutunian, V., Nordlund, M., Tate, D., Suh, N. P., Decision Making and Software Tools for Product Development Based on Axiomatic Design Theory, *Annals of the CIRP*, 45/1:135-139, 1996.
- Lee, C.C., Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, part I and II. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 20, pp 404-435, 1990.
- Lobo, Carlos Eduardo d'Araujo Vila, *Proposta de um Sistema de Medição de Desempenho*, Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 149 p. 2003.
- Lombardi Junior, Arley de Barros; *Desenvolvimento e Análise de Estratégias de Controle Colaborativo para Cadeira de Rodas*, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 264 p, 2005.
- Silva, L. C. A., Corrêa, F., Abreu, P. S., Delgado Neto, G. G., Dedini, F. G., Aplicação da metodologia de projeto axiomático em sistemas de controle. In: Nono Simpósio de Mecânica Computacional, São João del Rei - MG. *Nono Simpósio de Mecânica Computacional*, 2010.
- Suh, N. P.; Bell, A. C.; Gossard, D. C.. On an Axiomatic Approach to Manufacturing and Manufacturing Systems, *Journal of Engineering for Industry*, Vol. 100, no. 2, p. 127-130, 1978.
- Suh, N. P., 1990, *The Principles of Design*, Oxford University Press.
- Suh, N. P., 1997, Design of Systems, *Annals of the CIRP*, 46/1:75-80.
- Suh, N. P., Axiomatic Design Theory for Systems, *Research in Engineering Design* 10:189-209, 1998.
- Suh, N. P., Do, S. H., Axiomatic Design of Software Systems, *Annals of the CIRP*, 49/1:95-100, 2000.

Xuan, L., Minglu, Z., Wei, L., e Lina F., Modular Robot System Configuration Design Based on Axiomatic Design, *Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 2009.

Zadeh, L. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353, 1965.