

# REVISTA

# SODEBRAS

SOLUÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PAÍS

VOLUME 6 - Nº 70 - Outubro / 2011  
ISSN - 1809-3957

## ARTIGOS PUBLICADOS

---

PUBLICAÇÃO MENSAL  
Nesta edição

OTIMIZAÇÃO DE TABELAS PRÉ-PROGRAMADAS PARA GERAÇÃO PWM DISCRETA – Alice Reis De Souza, Milton Barreiro Junior, Marcio Abud Marcelino, Francisco José Grandinetti ..... 03

LAB INCOGNITA – LABORATÓRIO DE INOVAÇÃO EM COGNIÇÃO, INFORMAÇÃO, TECNOLOGIA E APRENDIZAGEM: ENGENHARIA NO ENSINO MÉDIO - Galeno José De Sena, Jorge Roberto Pimentel, Sílvio Henrique Fiscarelli, Marco Aurélio Alvarenga Monteiro, Maria Cecília França De Paula Santos Zanardi, Jânio Itiro AKAMTSU..... 07

EDUCAÇÃO EM ENERGIA: CRIANDO INCENTIVOS PARA O SEU USO RACIONAL - Ana Paula G. C. Teixeira, Robinson C. Teixeira, Galeno J. Sena..... 16

LÓGICA FUZZY TIPO-2 – Paloma M. S. Rocha Rizol, Leonardo Mesquita, Osamu Saotome .....27



Atendimento:  
sodebras@sodebras.com.br  
Acesso:  
<http://www.sodebras.com.br>



## OTIMIZAÇÃO DE TABELAS PRÉ-PROGRAMADAS PARA GERAÇÃO PWM DISCRETA

ISSN 1809-3957

ALICE REIS DE SOUZA<sup>1,2</sup>; MILTON BARREIRO JUNIOR<sup>1</sup>; MARCIO ABUD  
MARCELINO<sup>2,3</sup>; FRANCISCO JOSÉ GRANDINETTI<sup>2,3</sup>  
1 - IFSP; 2 - UNITAU; 3 - UNESP GUARATINGUETÁ

**Resumo** - Este artigo apresenta o circuito desenvolvido com o microcontrolador AT89S4051 que é compatível com os microcontroladores da família 8051, para implementação de um controlador de velocidade discreto, já desenvolvido com o microcontrolador 80C31 que, devido às suas inúmeras limitações, gerou no sistema final a necessidade de restrições funcionais importantes. O objetivo deste estudo foi à realização de um circuito gerador de PWM com microcontrolador da família 8051, utilizando tabelas pré-programadas com valores proporcionais à tensão e frequência desejadas, com expressivo grau de otimização. O circuito desenvolvido é utilizado para controlar a velocidade de um motor de indução trifásico, para aplicação principalmente em veículo elétrico, mas podendo também ser utilizado em esteira rolante, geladeira entre outros.

**Palavras-chave:** Microcontrolador. Geração de PWM. Motor Trifásico.

### I. INTRODUÇÃO

O mundo tem evoluído bastante, e essa evolução traz muitas mudanças, algumas favoráveis outras desfavoráveis. Dentre as favoráveis podem ser destacadas as facilidades tecnológicas e de produtos atuais, dentre as desfavoráveis podem ser citadas a poluição do meio ambiente, escassez de algumas matérias primas e risco de falta de água potável. Analisando a poluição do meio ambiente verifica-se que pode ser causada por vários fatores, nestes estão incluídas as indústrias, os veículos automotores, entre outros. Por ser um dos causadores da poluição do meio ambiente, os veículos automotores, com motor à combustão, que são os mais utilizados, são bastante observados e avaliados. O problema é tão sério que na cidade de São Paulo criou-se um rodízio dos veículos automotores, cuja motivação foi reduzir a poluição na cidade, porém o resultado não foi como esperado, pois vários motoristas possuem mais de um veículo, os caminhões e os ônibus, não passam por manutenções para contribuir na redução de emissão de poluentes no meio ambiente, portanto a lei não atingiu seu objetivo inicial, que seria melhorar a qualidade do ar da cidade. A preocupação com o meio ambiente é um problema de todas as Nações, devido a isso existem várias pesquisas que buscam soluções para reduzir a poluição e a deterioração de nosso planeta. Dentre os vários estudos e pesquisas encontra-se o desenvolvimento do veículo movido a motor de indução trifásico (MIT) ou, simplesmente, veículo elétrico. Vários estudos tem sido realizados com relação ao veículo elétrico, porém algumas limitações ainda

impedem seu uso em larga escala. Em entrevista Erber (2010) afirmou que em meados de 2012, “o consumidor brasileiro já poderá ter à disposição o carro híbrido em revendedoras do país”. Enquanto se espera a concretização da afirmação de Erber, o estudo com os veículos elétricos não param.

Marcelino (2009) elaborou um projeto de controle de velocidade de MIT à Modulação por Largura de Pulso (Pulse Width Modulation - PWM), em malha aberta, mantendo a relação tensão por frequência constante, com o microcontrolador PIC. Este projeto já foi uma atualização de seu projeto intitulado Controle de Motor de Indução Trifásico usando Geração PWM Discreta, Otimizada e Sincronizada (1998), que utilizou controle de velocidade com o microcontrolador 80C31, que é da família 8051.

Em seu trabalho Salermo e Camacho (2003), para reduzir o custo de acionamento à velocidade variável para o MIT, desenvolveram uma nova técnica de controle de velocidade deste tipo de motor por meio de um inversor PWM utilizando um microcontrolador de baixo custo, o PIC.

Por ser de baixo custo e de programação simples, existem vários trabalhos de pesquisa em que o microcontrolador PIC foi utilizado para controlar a velocidade de motores. Porém, como a tecnologia na fabricação dos microcontroladores tem evoluído bastante, para este trabalho buscou-se um compatível com a família 8051, também de baixo custo, o AT89S4051, para implementação de um controlador de velocidade discreto, já desenvolvido com o microcontrolador 80C31 que, devido às suas inúmeras limitações, gerou no sistema final a necessidade de restrições funcionais importantes, além de elevado tamanho de memória. O microcontrolador utilizado nesta pesquisa possui apenas 20 pinos, contra 40 pinos do 80C31, o que ajuda na redução da placa de circuito impresso (PCI), também trabalha com frequências até 24MHz, contra 12MHz do outro, o que torna o circuito implementado mais rápido. Além das vantagens do microcontrolador atual em relação ao 80C31, nesta pesquisa conseguiu-se reduzir para um terço as tabelas pré-programadas que Marcelino (1998) utilizou em seu estudo, tabelas essas necessárias para um controle eficiente do MIT. Todas estas alterações tornaram o circuito atual mais eficaz que o de 1998.

### II. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste artigo foi analisado o MIT para um veículo elétrico, porém o circuito implementado pode ser utilizado para controlar a velocidade de motores de indução para outras finalidades, sejam residenciais ou industriais. No circuito desenvolvido, simulado através do software Proteus, o microcontrolador recebe o sinal a ser controlado por meio de chaves simulando o sinal que pode ser fornecido por uma chave seletora ou um potenciômetro ligado ao pedal mecânico de aceleração do veículo elétrico, neste último caso necessitando de um conversor A/D. Esta idéia já foi desenvolvida por Caruso (2007). Em nosso caso, analisou-se a versão com chave seletora, representada na figura 1. À medida que o usuário vai apertando o pedal, a chave seletora, acoplada ao mesmo, vai mudando de posição e alimentando terminais diferentes do microcontrolador. Por software, o microcontrolador recebendo os sinais oriundos da chave seletora fornecerá um sinal PWM para cada fase, compatível com a solicitação, ou seja, para cada amplitude e frequência diferentes, tem-se um sinal PWM correspondente. Estes sinais ocasionarão, a cada posição da chave (ou pedal), a variação da corrente do motor, atuando desta forma no controle da aceleração do veículo. O circuito também pode receber o sinal do pedal de freio por meio de chaves, ora utilizando o freio motor, ora utilizando o freio mecânico de parada total. Outro sinal que pode ser recebido é o de ativação de ré, que inverte a rotação do motor.

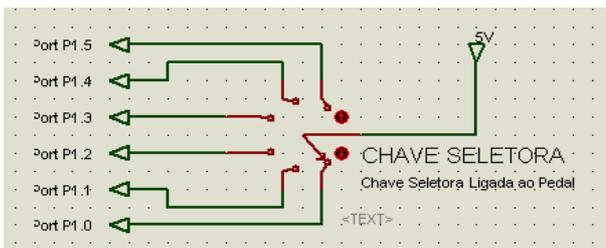


Figura 1 - Chave Seletora alimentando os ports do Microcontrolador

É bom lembrar, que o fato dos motores trifásicos serem alimentados por três fases, acarreta uma grande dificuldade em implementar o circuito de controle do pedal de aceleração, pois controlar as fases para evitar problemas de sincronismo na inversão de período, surgimento de harmônicas, entre outros, exige muita análise e estudo. O critério utilizado por Marcelino (1998) para resolver estes problemas foi por meio de tabelas pré-programadas, com acionamento sincronizado nos pontos de origem dos períodos. Estas tabelas consistem em valores binários que são adquiridos por meio da modulação de um sinal triangular com o sinal senoidal de cada fase, estes representam a amostra do sinal senoidal das três fases. Posteriormente, será explicado este processo.

É importante ressaltar que para cada frequência existe uma amplitude correspondente, conforme pode ser observado na figura 2. Portanto, para um circuito com  $x$  variações de frequências serão necessárias  $x$  quantidades de tabelas para amostrá-lo satisfatoriamente. Isso impediria o projeto se não fossem limitadas em algumas frequências possíveis, ao invés de infinitas variações, como é o caso na utilização de potenciômetros.

Observa-se na figura 2 que a onda portadora (onda triangular) possui 21 períodos para um período do sinal

modulante (onda senoidal), este valor foi escolhido por Marcelino (1998), objetivando minimizar a distorção harmônica total, e a relação da frequência da portadora e a frequência real de operação, é dada conforme a expressão (2.1):

$$f_c/f_r = n \quad (2.1)$$

Segundo Marcelino,  $n$  tem que ser inteiro devido ao sincronismo; ímpar para eliminar harmônicas pares; maior que 20 para garantir um sinal demodulado praticamente senoidal; múltiplo de três devido ao motor ser trifásico; menor possível de modo a aumentar o tempo de processamento, de forma a permitir processadores não tão rápidos, e, com esta análise, adotou o valor de  $n$  igual a 21.

Outro valor muito importante é a quantidade de amostras por período da portadora que é dado pela expressão (2.2):

$$N = 1/(f_a.n.t_s) \quad (2.2)$$

onde:

$N$  : amostras por período da portadora

$f_a$  : frequência alvo do controle

$t_s$  : período de amostragem

Neste caso utilizou-se  $t_s$  igual a  $22\mu s$  devido ao processador utilizado,  $f_a$  igual a 60Hz e  $n$  igual a 21, resultando em um  $N$  próximo de 36. Como  $N$  deve ser múltiplo de três e quatro, devido às três fases e os quatro segmentos da onda triangular, foi adotado o valor 36, quantidade que pode ser observada na figura 2 nos pontos marcados em cada período da onda triangular. Se for calculada a quantidade de amostras por período, ou seja, o produto da quantidade de períodos da portadora (21) pelo número de amostras da portadora (36), será obtido o valor de 756 amostras para cada frequência em questão.

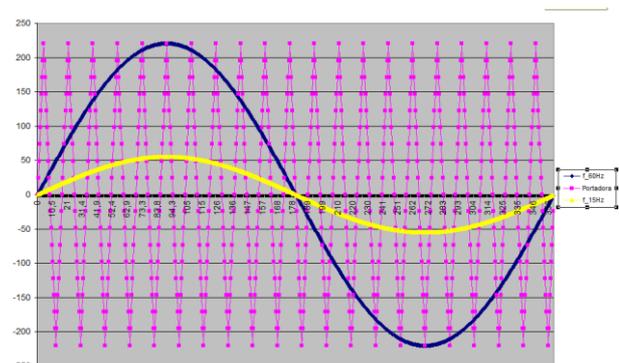


Figura 2 - Comparação da Amplitude do Sinal Senoidal em Frequências Diferentes

A figura 3 representa a onda portadora (onda triangular,  $f_{tr}[i]$ ), e os sinais modulantes (ondas senoidais das três fases  $a$ ,  $b$  e  $c$ ) a serem modulados. Pode ser observado na figura 3 que a onda portadora está sincronizada com as fases, ou seja, toda vez que uma das fases atinge a amplitude zero a onda triangular também atingirá. Conforme já mencionado anteriormente, estes sinais são “misturados” por software no

10	0	0	0	0
----	---	---	---	---

microcontrolador, resultando no sinal PWM para cada fase, o que pode ser visto na figura 4. O motivo da diferença nas amplitudes dos sinais PWM das fases na figura 4, é exclusivamente para melhorar a visualização das formas de onda, porém na prática esta diferença não existe.

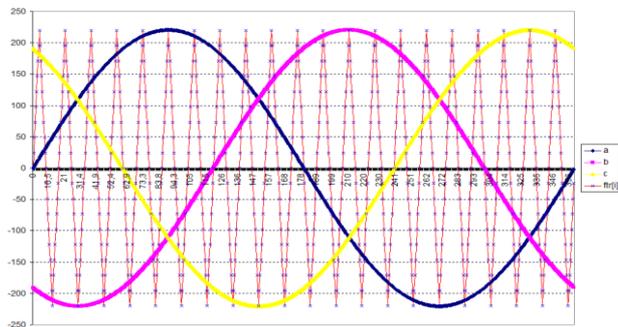


Figura 3 - Onda Portadora, ftr[i] e as Três Fases a,b e c

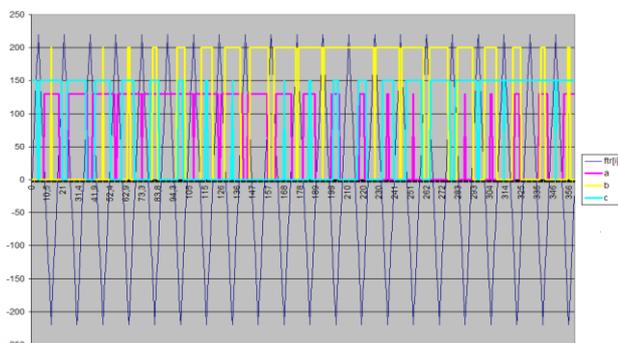


Figura 4 - Sinais PWM de cada Fase a, b e c  
Formas de Onda Vista no Osciloscópio do simulador Proteus

A análise do sinal senoidal em relação ao triangular é feita da seguinte forma: se no tempo de amostragem o sinal senoidal for maior que o triangular o motor deverá ser ligado, portanto o nível lógico do bit correspondente àquela fase deverá ser “1”, caso contrário deverá ser “0”. Como o processador utilizado é de oito bits, serão obtidos 756 Bytes por período de onda senoidal, se for amostrado o período completo. Para exemplificar, foi construída a tabela 1 obtida observando-se a figura 3 apenas nos dez primeiros pontos da onda triangular e comparando a mesma com as três fases.

Conforme a tabela 1, para as oito primeiras amostras do sinal as fases *a* e *b* estão desligadas, enquanto a fase *c* está ligada e nas duas últimas amostras, deste exemplo, as três fases estão desligadas. Desta forma estas comparações geram, por programa específico e *off-line*, uma tabela pré-programada de 756 posições para cada frequência diferente.

Tabela 1 – Comparação da Amplitude da Onda Triangular e da Amplitude das Fases

Posição de Amostragem	Fase a	Fase b	Fase c	Hexadecimal Correspondente
1	0	0	1	1
2	0	0	1	1
3	0	0	1	1
4	0	0	1	1
5	0	0	1	1
6	0	0	1	1
7	0	0	1	1
8	0	0	1	1
9	0	0	0	0

### III. CIRCUITO IMPLEMENTADO

No pedal de aceleração no lugar de uma chave seletora é permitido, conforme já foi citado, a utilização de um potenciômetro, o que acarreta infinitas variações possíveis, com isto surgiu a necessidade de se estipular faixas de frequências para as várias posições do potenciômetro, de modo a se ter uma tabela finita de valores, para tornar viável a implementação do circuito. Marcelino (1998), por exemplo, escolheu apenas 12 frequências para implementação do seu projeto, pois o processador utilizado foi o *80C31*, que opera com frequência de oscilação de 12MHz. O motivo da escolha de apenas 12 frequências para o circuito de controle de velocidades é devido a problemas encontrados no controle do motor AC, tais como surgimento de harmônicas na variação rápida de velocidade, tamanho das tabelas, entre outros, limitados principalmente devido à velocidade de processamento do microcontrolador utilizado. Embora, nesta pesquisa conseguiu-se minimizar as tabelas pré-programadas foram mantidas as mesmas frequências na análise. Porém se fosse aumentada a quantidade de frequências o circuito seria mais sensível às variações no pedal, porém seria necessária memória externa, como nosso objetivo é baixo custo e melhor desempenho, fixamos o estudo nas 12 frequências.

A figura 5 apresenta o esquema elétrico do circuito implementado. Utilizou-se uma *DIP switch* para simular a chave seletora que fornecerá os sinais oriundos do pedal de controle. A chave seletora, ao contrário do potenciômetro, descarta a necessidade de um conversor A/D, outra contribuição deste trabalho em relação ao de Caruso e Marcelino, pois as chaves já geram o sinal digital necessário à atuação do microcontrolador. As saídas A, B e C são os pontos que acionarão os circuitos *Drivers* de alimentação do MIT. Os sinais da figura 4 foram obtidos nas saídas A, B e C deste circuito.

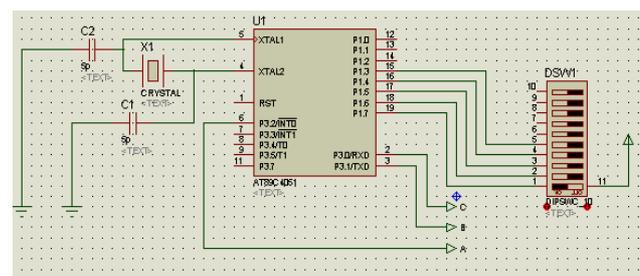


Figura 5 - Circuito Gerador de PWM, Simulado no Proteus

### IV. CONCLUSÃO

A técnica utilizada neste estudo trouxe grande contribuição aos estudos de Caruso e de Marcelino, pois permite memórias de menor capacidade, eliminação de conversor A/D reduzindo tamanho e custo da PCI e maior sensibilidade às variações de aceleração com a mesma capacidade de memória.

## V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARUSO, José Mário. Controle de Velocidade de um MIT Tracionando um Veículo Elétrico. Taubaté, 2007.
- ERBER, Pietro. “Gasolina e Tomada”: o carro elétrico está perto. Rio de Janeiro: **Revista do Empresário da ACRJ**, Maio/Junho 2010.
- FRANCHI, Claiton Moro. Inversores de Frequência: teoria e aplicações. São Paulo, 2010.
- MARCELINO, Márcio Abud. Geração PWM Discreta, Otimizada e Sincronizada. Guaratinguetá, 1998.
- MARCELINO, Márcio Abud., SILVA, G. B. S. e GRANDINETI, Francisco José. Controle de Velocidade de Motor de Indução Trifásico usando PIC. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/~clagtee/FinalProgramming.pdf>> - Acesso em 01/03/2010.
- SALERNO, Carlos Henrique, CAMACHO, José Roberto e OLIVEIRA FILHO, Antonio Santos. Controle de Velocidade do Motor de Indução Trifásico utilizando Microcontroladores para Aplicações em Baixa Potência. Disponível em: <<http://www.camacho.prof.ufu.br/TT-035.pdf>> - Acesso em 01/03/2010.
- PACHECO, Marco Aurélio C. Algoritmos Genéticos: Princípios E Aplicações, versão 1 em 14/07/1999. Disponível em: <http://www.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/38/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf> - Acesso em 04/12/10.

## VI. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.



## LAB INCOGNITA – LABORATÓRIO DE INOVAÇÃO EM COGNIÇÃO, INFORMAÇÃO, TECNOLOGIA E APRENDIZAGEM: ENGENHARIA NO ENSINO MÉDIO

ISSN 1809-3957

GALENO JOSÉ DE SENA, JORGE ROBERTO PIMENTEL, SÍLVIO HENRIQUE FISCARELLI, MARCO AURÉLIO ALVARENGA MONTEIRO, MARIA CECÍLIA FRANÇA DE PAULA SANTOS ZANARDI, JÂNIO ITIRO AKAMTSU

**Resumo** – Este artigo descreve um conjunto de atividades educativas desenvolvidas no âmbito do projeto “Lab InCognITA – Laboratório de Inovação em Cognição, Informação, Tecnologia e Aprendizagem”, que objetiva tecnológicas e engenharias. Destaca-se a importância dos recursos didáticos, em especial os baseados em experimentação, para promover uma melhoria no interesse dos estudantes pelas ciências exatas. A operacionalização do projeto é descrita por meio da apresentação das atividades previstas para o seu desenvolvimento, e de como estas são realizadas durante eventos denominados “Visita à UNESP”, em que alunos das escolas vêm até o Campus da UNESP – Guaratinguetá. Os resultados parciais obtidos sugerem que as atividades desenvolvidas durante as visitas têm contribuído para despertar o interesse dos estudantes para as áreas de Exatas e Engenharias.

**Palavras-chave** – Capacitação Docente. Ensino de Engenharia. Ensino de Física. Aprendizagem Baseada em Projetos. Recursos Didáticos

### I. INTRODUÇÃO

Este artigo objetiva apresentar, essencialmente, um conjunto de propostas educativas desenvolvidas no âmbito do projeto “Lab InCognITA – Laboratório de Inovação em Cognição, Informação, Tecnologia e Aprendizagem”, que tem como objetivo principal promover o desenvolvimento de um conjunto de atividades e projetos com escolas públicas de ensino médio (EM), vinculadas à Diretoria de Ensino (DE) de Guaratinguetá, buscando despertar o interesse dos alunos para as áreas tecnológicas e engenharias.

artigo estão descritas as atividades que têm sido desenvolvidas junto a alunos de escolas de EM, quando da realização de eventos designados de “Visitas à UNESP”. Também procura-se demonstrar, por meio da análise de questionários aplicados nos participantes, que as atividades propostas produzem um efeito motivador nos alunos, ou seja, as atividades realizadas pela Universidade despertam o interesse dos alunos pelos cursos de Ciências exatas e mais especificamente pelos cursos de engenharia.

O artigo está organizado como segue. A seção II apresenta uma descrição geral do projeto, incluindo os seus

promover o desenvolvimento de um conjunto de atividades e projetos com escolas públicas de nível médio, vinculadas à Diretoria de Ensino de Guaratinguetá, buscando despertar o interesse dos alunos para as áreas

As atividades fazem parte de um convênio estabelecido entre a UNESP e a FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos, com a anuência do Governo do Estado de São Paulo. O projeto foi aprovado no âmbito da Chamada Pública: MCT/FINEP/FNDCT – PROMOVE – Engenharia no Ensino Médio 05/2006, que tinha como objetivo principal: “selecionar propostas para apoio financeiro a projetos inovadores que promovam maior interação das escolas de engenharia com as atividades de ensino de ciências exatas e naturais de nível médio, visando a despertar vocações e recrutar mais e melhores estudantes para as áreas tecnológicas”. De acordo com a chamada, são consideradas como ciências exatas e naturais: a Matemática, a Física, a Química, a Biologia e a Informática.

O projeto proposto e em desenvolvimento na Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá prevê a realização de diversas atividades como “Shows de Energia”, “Mostras de Energia”, “Capacitação Docente”, “Pesquisas na Biblioteca” em acervo obtido com recursos do projeto, “Atividade em Laboratório de Informática” e outras atividades voltadas para divulgação das áreas de estudo das engenharias e temas pesquisados nas engenharias para alunos e professores, e para a difusão dos cursos de engenharia e seu relacionamento com as disciplinas do ensino médio. Prioritariamente, neste

objetivos, resultados esperados, justificativa e metodologia. A seção III descreve o desenvolvimento das atividades e os resultados parciais obtidos. Na seção IV são apresentadas as conclusões do trabalho, e na seção V, agradecimentos às equipes da DE e da UNESP – Campus de Guaratinguetá, que têm apoiado o desenvolvimento do projeto. A seção VI é dedicada às referências bibliográficas.

### II. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Nesta seção são descritos os objetivos do projeto, a

justificativa para a sua realização e a metodologia empregada.

#### A. *Objetivos e Resultados Esperados*

O projeto tem como objetivos principais subsidiar os professores para o tratamento conceitual e experimental de temas científicos e tecnológicos em sala de aula – por meio de programas de capacitação docente, e despertar o interesse dos alunos para as carreiras tecnológicas, em especial as Engenharias – empregando atividades interativas não usuais.

As atividades desenvolvidas no projeto têm como tema catalisador “Energia e Meio-ambiente”, enfatizando os principais assuntos tecnológicos do cotidiano e buscando estabelecer conexões com os conhecimentos fundamentais das ciências exatas e naturais, tratados nos componentes curriculares matemática, física, química e biologia. O projeto prevê a realização de ações junto aos alunos, tais como *shows* e mostras de energia, dentre outras atividades interativas, e ações junto aos professores, que consistem em programas de capacitação docente e atividades de desenvolvimento de projetos.

Mais especificamente, as atividades propostas podem envolver demonstrações, desenvolvimento e uso de experimentos, maquetes, pesquisas em bibliográfica específica, acesso à internet e uso de softwares, palestras, workshops, que possibilitem aos professores e aos alunos se apropriarem de conhecimentos tecnológicos atualizados, bem como desenvolverem uma percepção de como esses conhecimentos se relacionam com as carreiras de exatas e engenharias.

Tais atividades são desenvolvidas de modo a se alcançar metas específicas do projeto: atividades para alunos do EM (*Show* de Energia, Mostra de Energia, Visita à biblioteca com acesso à Internet), Capacitação dos professores do EM, e desenvolvimento dos projetos interdisciplinares na temática de “Energia e Meio Ambiente”, que envolvem a participação tanto dos professores quanto dos alunos.

O modelo que está sendo enfatizada nos projetos de ensino é o da Aprendizagem Baseada em Projetos – ABP [1], com ênfase na ABP focada em Padrões [2],[3]. Este modelo constitui um dos tópicos dos programas de capacitação docente desenvolvidos no projeto. As atividades e projetos enfatizam os principais assuntos tecnológicos atuais, relacionados à temática de “Energia e Meio Ambiente”.

As atividades do projeto devem ter também como referenciais os resultados esperados do projeto:

- Capacitação de até 500 professores do EM da região de Guaratinguetá.
- Realização de eventos para aproximadamente 20000 alunos das escolas de EM da região de Guaratinguetá.
- Divulgação das áreas de estudo das engenharias e temas pesquisados nas engenharias para alunos e professores.
- Difusão dos cursos de engenharia e seu relacionamento com as disciplinas do EM.

- Difusão da importância dos conhecimentos científicos para o desenvolvimento tecnológico.
- Motivação dos alunos a seguirem carreira em engenharia.
- Capacitação dos professores para trabalhar conceitos de ciência e de tecnologia em sala de aula.
- Utilização do modelo de ABP em projetos escolares.
- Exploração e ampliação do uso da experimentação como importante instrumental didático durante as aulas.
- Utilização da informática como ferramenta dinamizadora do ensino.
- Promoção de oficinas e eventos que permitam o compartilhamento dos conhecimentos entre os participantes.

De maneira geral o projeto busca, através dos resultados previstos: (i) sensibilizar professores e alunos para a importância do conhecimento científico nas atividades cotidianas; (ii) difundir material didático e informativo sobre ciências, e em especial sobre as engenharias; e (iii) orientar os professores no que se refere ao uso da experimentação como importante instrumental didático e estimular a renovação das práticas pedagógicas utilizadas em sala de aula.

Como consequência do trabalho realizado com as escolas espera-se também: reforçar as instituições escolares e valorizar as atividades de investigação; promover a capacitação dos professores para utilizar adequadamente os laboratórios (ou espaços adequados) de suas escolas; e desenvolver mecanismos para a formação de agentes multiplicadores, isto é, professores com capacidade de liderança que possam atuar junto a outras escolas da região e promoverem a capacitação de outros professores.

#### B. *Justificativa*

A justificativa para a proposta do LabInCognITA se fundamenta em três fatores: (i) a importância dos recursos didáticos no contexto educacional atual; (ii) a escolha da temática do projeto: “Energia e Meio Ambiente”; e (iii) a divulgação das Engenharias e sua contribuição para a Ciência e Tecnologia. Estes serão considerados com mais detalhes a seguir.

Uma das características da Educação brasileira, frequentemente criticada, é a ênfase no ensino centrado nos conteúdos, muitas vezes com a utilização de modelos abstratos, distantes da realidade do aluno. Grande parte dos professores do EM não faz uso da experimentação, concentrando suas atividades didáticas em aulas essencialmente expositivas, utilizando-se de livros didáticos, cujo interesse está voltado, prioritariamente, para os exames vestibulares [4].

A superação desse modelo tradicional de ensino com viés comportamentalista passa, necessariamente, por uma mudança na maneira de conceber o significado da aprendizagem, tendo em vista que o modelo pedagógico é

definido em função de uma determinada concepção epistemológica.

Portanto, ao concebermos a aprendizagem como um processo no qual o aprendiz constrói seu próprio conhecimento, é preciso que pensemos numa pedagogia que re-signifique o papel do professor e do aluno no contexto de sala de aula.

A partir dessa nova perspectiva, o professor não pode mais ser visto como o único detentor do conhecimento cuja função é transmiti-lo através de um verbalismo excessivo como se fosse uma verdade pronta e acabada, e o aluno, não deve mais ser encarado como uma tabula rasa que se limita a ficar calado e receber, passivamente, o conhecimento proveniente do professor.

Se, como destaca Bachelard [5], “todo conhecimento é uma resposta a uma determinada pergunta”, o professor deve ser aquele cujo papel é o de criar situações em que o aluno é desafiado a buscar soluções para problemas reais, para os quais não há apenas uma única resposta pronta que pode ser verificada nas últimas páginas do livro didático. É fundamental que os estudantes possam ser desafiados a se debruçarem sobre um problema real ligado ao seu cotidiano, buscando criar hipóteses, realizarem testes e experimentos, discutirem dados de maneira a terem condições de construir argumentos, embasados nas evidências experimentais [6].

Caso contrário, os alunos se acostumarão com o ensino dogmático, que apresenta respostas a perguntas que não foram feitas, e perderão o gosto pelo desafio da pesquisa em busca de respostas a perguntas e dúvidas que, de fato, possuem.

O trabalho de Dalbem [7] e colaboradores apresentam uma aplicação de robótica, destacando o seu papel como um elemento motivador para as “áreas das ciências exatas, que vem sofrendo queda de procura nos vestibulares dos últimos anos” ([7], p.2). Pode-se conjecturar que parte desta queda de interesse seja conseqüência da dificuldade dos alunos com as matérias das ciências exatas durante a fase escolar. Em muitos casos, este cenário não ocorre apenas pela falta de iniciativa do professor, mas é decorrente de todo um contexto mais complexo que abrange desde a precária infraestrutura das escolas públicas até a falta de materiais didáticos (destacando-se os materiais experimentais) adequados para uso em sala de aula.

Neste contexto, recursos didáticos dos mais variados tipos, especialmente os baseados na experimentação, vêm sendo considerados, cada vez mais, instrumentos capazes de proporcionar uma melhoria da aprendizagem, tendo em conta as exigências de uma sociedade em constante mudança. Segundo Martins [8], Vieira [9] e Passos e Mello [10], o uso dos recursos didáticos tem como objetivo específico trazer a realidade vivida pelos alunos para a sala de aula, mostrando a possibilidade de interação entre o conhecimento e o cotidiano, tornando-os capazes de estabelecer uma relação de diálogo com a realidade que os cerca.

É certo que a compreensão dos princípios de Ciências constitui um dos elementos fundamentais para a

compreensão crítica do mundo em que vivemos. Por exemplo, no ensino de Física, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino tem sido apontado como uma das maneiras mais adequadas “de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente” ([11], p. 176). No entanto, ainda existe uma carência de recursos didáticos desenvolvidos com esse propósito [12].

Neste contexto, é importante que os profissionais envolvidos com a educação, em seus diferentes níveis e modalidades, desenvolvam atividades que busquem despertar o interesse dos jovens em formação pelo conhecimento, não apenas para formar profissionais para as áreas de Ciências e Tecnologia como também “cidadãos conscientes das necessidades de tais conhecimentos para a melhoria da qualidade de vida da sociedade em geral” ([13], p.1).

O projeto “LabInCognITA” busca promover o desenvolvimento de um conjunto de atividades e ações, bem como de recursos didáticos, junto a alunos e professores de escolas de EM público do Vale do Paraíba, vinculadas à DE de Guaratinguetá, com o intuito de apresentar diversos conceitos e tecnologias relacionados a Ciências e trabalhados em Engenharia, porém de uma forma adequada ao público das escolas.

O projeto busca desenvolver atividades didáticas partindo de elementos do cotidiano (contextualização) para despertar o interesse dos alunos, permitindo a aquisição de competências e habilidades de uma forma que enfatiza uma maior interação entre o conhecimento e o cotidiano. Neste sentido, em especial nas atividades de projetos segundo um modelo de ABP, procura-se enfatizar os conteúdos curriculares, contudo adota-se o princípio de propor atividades que envolvam os alunos em desenvolvimento de projetos em espaços que, preferencialmente, não sejam os mesmos das aulas cotidianas.

As atividades propostas podem envolver demonstrações, desenvolvimento de experimentos, e simulações computacionais que permitam aos professores e alunos se envolverem com situações que, ao mesmo tempo, possam ser prazerosas, instigantes e desafiadoras. Neste sentido, enfatiza-se, em várias das atividades, uma abordagem de aprendizagem significativa, que ocorre quando um conhecimento novo é adquirido mediante o esforço do aprendiz em associá-lo a conceitos preexistentes em sua estrutura cognitiva ([14] *apud* [15]).

Como destaca Gaspar [16], o ensino não ocorre apenas de maneira formal, pode ocorrer também em espaços informais como museus e centros de ciências. O autor enfatiza que, nem sempre é possível, às instituições de ensino formal, abordar temas e/ou conceitos mais atuais, tendo em vista a rigidez da estrutura curricular e a falta de estrutura como laboratórios e equipamentos.

Como destaca Padilha [17] museus e centros de ciências são instituições de ensino informal, cuja finalidade principal é promover a popularização, divulgação e a aprendizagem de ciência e da tecnologia.

Em geral, as ações promovidas por essas instituições se

baseiam na realização de experimentos e/ ou de demonstrações de Leis e Princípios científicos visando ampliar os processos de reflexão dos visitantes sobre os limites e possibilidades da Ciência e da tecnologia [18].

Para Figueroa *et. al.* [19] e Meseguer e Dueñas [20] e Monteiro [21], em museus e centros de ciências, a realização das atividades de demonstrações, ampliação a motivação dos estudantes para estudar e aprender ciências.

Portanto, os museus e centros de ciências, além de desempenharem um papel de fundamental no ensino informal de ciências, contribuem para ensino formal de conceitos científicos, tendo em vista o fato de despertarem a curiosidade de visitantes: público em geral e de alunos da educação formal.

Assim sendo, Stocklmayer [22], destaca a importância das universidades no processo de divulgação e popularização da ciência, a partir da implementação de iniciativas voltadas para a educação informal, aproveitando sua natureza relacionada não só ao estudo da Ciência, mas de desenvolvimento de tecnologia.

É nesse contexto que se insere a iniciativa da FEG/UNESP em desenvolver atividades de demonstrações experimentais para a divulgação e popularização da ciência voltada para o público escolar.

A escolha do tema “Energia e Meio-ambiente” para o desenvolvimento do projeto foi realizada considerando-se a sua grande relevância na atualidade. O crescente uso de energia pela sociedade moderna trouxe à tona uma grande questão: como garantir o fornecimento deste valioso recurso, causando um mínimo impacto ao meio ambiente e prolongando a disponibilidade das reservas e dos recursos naturais disponíveis?

Além da questão relativa ao impacto ambiental é preciso considerar o aumento crescente do consumo de energia da sociedade atual. Dessa forma, a questão da conscientização da população para o uso racional da energia tem se tornado cada vez mais necessária, tendo em vista que as fontes naturais de energia têm se tornado cada vez mais escassas.

Nesse sentido, universidades e centros de pesquisas têm concentrado esforços na busca por promover uma maior conscientização sobre o uso racional da energia de diversas maneiras, como campanhas publicitárias com inserção em programas de rádio e tv, distribuição de *folders* e apostilas nas escolas, além de produção de *sites* e vídeos educativos.

Pode-se dizer que as inovações tecnológicas, ou seja, produtos mais eficientes, são um dos elementos mais importantes para a redução dos impactos ambientais e para garantia do abastecimento energético no futuro. Não obstante, é preciso considerar que aspectos sociais para a eficiência energética estão associados ao conhecimento sobre o assunto, à adoção de comportamentos apropriados e à conscientização de que e é possível agir individualmente e coletivamente.

A importância da educação neste processo se fundamenta em dois argumentos principais: (i) grande parte das nossas idéias, hábitos, bem como a base do nosso comportamento adulto são absorvidos e definidos durante a fase de formação escolar; (ii) os processos educativos mais amplos têm se

apresentado como ferramentas capazes de mudar as atitudes das pessoas, expondo-as a novas idéias e conceitos e fornecendo aos estudantes competências sociais e analíticas que lhes permitem uma avaliação racional para as suas escolhas na vida [23].

Espera-se, portanto, que através de uma exposição didática de conteúdos relativos às questões energéticas, em um contexto de educação não-formal, os alunos tenham uma visão mais completa e crítica dos problemas relativos ao consumo de energia e seu impacto para o meio-ambiente, e, num futuro próximo, sejam os elementos multiplicadores para uma maior conscientização e participação da sociedade no que se relaciona ao uso racional da energia e preservação do meio-ambiente.

### C. Metodologia

Conforme definido nos objetivos, o projeto contempla o desenvolvimento de um conjunto de ações voltadas tanto para os professores como para os alunos de escolas públicas de EM do Vale do Paraíba, vinculadas à DE de Guaratinguetá. No que se refere às atividades destinadas aos professores, o projeto procura atender as demandas de capacitação, atualização e orientação dos mesmos com respeito a temas de “Energia e Meio-ambiente”, a serem trabalhados a partir de uma abordagem de ABP. Com relação aos alunos, as ações ocorrem essencialmente de duas formas: diretamente, através de eventos como o “*Show* de Energia” e a “*Mostra* de Energia”; e indiretamente, com a participação deles em atividades dos projetos de ensino dos professores, desenvolvidos nas Escolas, propostos no contexto dos cursos de capacitação. As principais atividades e ações estabelecidas para o desenvolvimento do projeto são sumarizadas a seguir.

Capacitação de professores: programas destinados a professores do EM, com carga horária mínima de 32 horas, com relação a conteúdos de suas disciplinas, e tendo como enfoque metodológico o modelo de ABP focado em padrões [2]. As capacitações são destinadas a professores das ciências exatas e naturais, ou seja, de Matemática, Física, Química, Biologia e Informática. São estruturadas tendo como base temas tecnológicos atuais, relacionados à temática de “Energia e Meio Ambiente”. O enfoque dado ao modelo de ABP é o mesmo empregado anteriormente em programas de capacitação desenvolvidos em outros projetos [24], [25].

*Show* de energia: inclui apresentações que visam excitar e instigar o estudante para despertar (ou aumentar) o seu interesse geral pelas Ciências e, em particular, pelas Engenharias, bem como deixar claro que os processos das Ciências não são “mágicos” ou “inacessíveis”. As atividades do *show* são desenvolvidas de forma interativa e envolvem a utilização de equipamentos como Looping, Plataforma Giratória, Campânula de Vácuo, Gerador Van de Graff, Garrafa de Leyden, Hemisférios de Magdeburg e Transformador de baixa, dentre outros, adquiridos com recursos do projeto.

*Mostra* de Energia: corresponde a uma “Experimentoteca

de Energia”, sendo uma exposição permanente de vários experimentos e equipamentos, destinados a demonstrações ou verificações de leis e conceitos de Energia, dispostos de forma a permitir que os professores e alunos circulem e interajam entre/com os equipamentos/experimentos. As atividades da mostra envolvem a utilização, além dos equipamentos e experimentos utilizados nos shows, de equipamentos e dispositivos tais como: Mini Usina Hidrelétrica, Máquina a vapor, Máquina Térmica de Hieron, Máquina Térmica de Stirling, Pássaros Sedentos, Máquina de Wimshurst, Bobina de Tesla, e “Chispador”, dentre outros, adquiridos com recursos do projeto.

Oficina de experimentação: tem o objetivo de suprir a carência que as escolas possuem relacionadas a deficiências laboratoriais. Esta oficina inclui kits de ferramentas básicas, que deverão ser utilizadas no desenvolvimento de recursos didáticos (experimentos). Para tanto, está sendo preparado um programa de capacitação específico, voltado para a construção de experimentos com a utilização dos kits, nos moldes do que é realizado em disciplinas como “Instrumentação para o Ensino de Física”. Posteriormente, vários kits serão transferidos para escolas vinculadas à DE de Guaratinguetá e participantes do projeto. A oficina deve ser utilizada também como meio alternativo para divulgar e estimular a produção didático-científica do corpo docente e discente dos Departamentos envolvidos no projeto.

Biblioteca: acervo incluindo obras direta ou indiretamente relacionadas ao tema “Energia e Meio Ambiente”. A expectativa é de que ofereça aos pesquisadores, professores do ensino médio e alunos um material para pesquisas e consultas, que possa, por exemplo, ser de valia no desenvolvimento dos projetos nas escolas.

Atividades de informática: desenvolvidas em um laboratório de microcomputadores financiado pelo projeto, possibilitam o acesso à Internet e a utilização de softwares (e outros recursos) educacionais por professores e alunos participantes do projeto. O laboratório conta ainda com projetor multimídia e poderá vir a ter outros recursos das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), como um kit constituído de uma mesa interativa “touchtable”, com os respectivos acessórios (projetor, softwares, etc.).

Como se mencionou, neste artigo pretende-se enfatizar as atividades desenvolvidas para os alunos, que ocorrem em eventos designados de “Visitas à UNESP”, descritos a seguir.

### III. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

O desenvolvimento do projeto, com a atuação da equipe de pesquisadores em conjunto com os professores e alunos de escolas de EM vinculadas à DE de Guaratinguetá se iniciou no primeiro semestre letivo de 2011. As atividades previstas estão sendo desenvolvidas, essencialmente, através da realização dos seguintes eventos: “Show de Energia”, “Capacitação Docente” e “Visitas à UNESP” (de alunos das escolas de EM, como se caracterizará a seguir). As atividades de capacitação de professores se iniciaram no primeiro semestre de 2011, com um curso oferecido para

duas turmas, contemplando conteúdos de Física do Ensino Médio, e enfatizando o uso da experimentação e o emprego do modelo de ABP adotado. Um segundo curso teve início no segundo semestre de 2011, enfatizando conteúdos de Matemática e o desenvolvimento de projetos também segundo o modelo de ABP adotado. No que se refere aos *shows* de energia, optou-se por realizá-los nas Escolas, para que se pudesse atingir um maior número de estudantes. Os *shows* ocorrem praticamente em uma ou duas escolas a cada semana, dependendo do número de alunos de EM de cada escola. Inicialmente foram escolhidas escolas com um maior número de alunos.

Nos eventos de “Visitas à UNESP”, os alunos são trazidos de suas Escolas para a Universidade, em ônibus da própria UNESP, e participam, essencialmente, das atividades listadas a seguir: Visita à Mostra de Energia; Visita à Biblioteca; Atividade no Laboratório de Informática; e Visitas a Laboratórios do Campus e/ou Palestras.

As visitas tiveram início no primeiro semestre de 2011 e ocorrem numa média de duas visitas por mês. A cada evento, aproximadamente 42 alunos, acompanhados de 3 professores de suas escolas, participam das atividades previstas. Até o momento, participaram das atividades aproximadamente 377<sup>1</sup> alunos, oriundos de 9 escolas. Estão previstas mais 5 visitas até o final de 2011. Todas as atividades realizadas estão relacionadas aos resultados esperados do projeto, em especial, aos de “Motivação dos alunos a seguirem carreira em engenharia” e “Divulgação das áreas de estudo das engenharias e temas pesquisados nas engenharias para alunos e professores”. As atividades no Laboratório de Informática vêm ao encontro do objetivo de “utilização da informática como ferramenta dinamizadora do ensino”. As atividades de Visitas a Laboratórios do Campus e/ou Palestras estão relacionadas também com o resultado esperado de “Difusão dos cursos de engenharia e seu relacionamento com as disciplinas do ensino médio”.

Para efeito de validação das propostas de atividades, os alunos responderam a questionários de avaliação antes e após o desenvolvimento das atividades, e mesmo durante o desenvolvimento de algumas atividades. Os questionários utilizados, bem como os gráficos das avaliações, que serão apresentados nesta seção, foram elaborados a partir de arquivos obtidos utilizando-se ferramentas do Google Docs® (<https://docs.google.com>).

No questionário “pré-visita” são incluídas questões visando saber o nível de informação do aluno a respeito do Campus da UNESP de Guaratinguetá e dos cursos nele oferecidos. A figura 1 mostra o conhecimento dos alunos a respeito do Câmpus.

---

<sup>1</sup> Além destes, 170 alunos visitaram a “Mostra de Energia” e participaram de uma “Apresentação do Curso de Engenharia Civil”, como atividades do evento “UACE 2011 – Unesp Aberta a Comunidade Estudantil”.

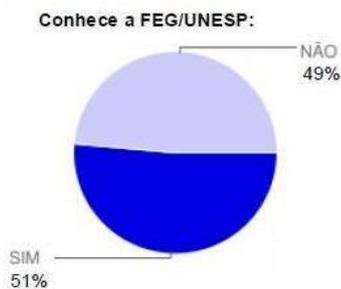


Figura 1. Informação sobre o campus da UNESP – Guaratinguetá.

Como se observa, um percentual significativo (quase 50%) desconhece o Campus. Uma das questões objetiva averiguar como os alunos tomaram conhecimento da UNESP. O resultado está mostrado na figura 2. Observe-se que maioria afirmou ter tomado conhecimento da Universidade na própria escola.

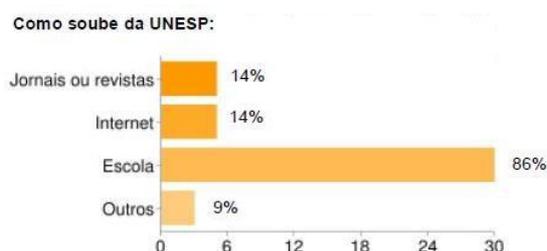


Figura 2. Como tomou conhecimento da FEG/UNESP.

A figura 3 se refere a uma questão sobre o conhecimento que os alunos têm a respeito dos cursos oferecidos na FEG. Vê-se, pela figura, que é maior o percentual de alunos que desconhecem os cursos oferecidos, comparativamente aos que desconhecem a UNESP (figura 1).



Figura 3. Nível de informação sobre os cursos oferecidos.

Em outra questão, por outro lado, demonstram um grande interesse em ter mais informações sobre os cursos, como mostra a figura 4.



Figura 4. Interesse em mais informação sobre os cursos oferecidos.

Uma questão, relacionada à anterior, objetiva verificar se

os alunos têm interesse em seguir algum curso oferecido na FEG/UNESP.



Figura 5. Interesse nos cursos oferecidos no Câmpus.

Como se observa, a maioria dos alunos demonstrou ter interesse nos cursos da FEG, mesmo antes da visita, o que significa, indiretamente, um interesse pela área de exatas. A figura 6 é mais específica com relação aos cursos de interesse dos alunos.



Figura 6. Curso de interesse na FEG/UNESP.

Observa-se, na figura 6, um interesse maior pelos cursos mais “tradicionais” como a “Engenharia Mecânica” (57%), a “Civil” (20%) e a “Elétrica” (20%). Durante a visita, os alunos também respondem questionários relativos às atividades realizadas na Biblioteca e no Laboratório de Informática. Em uma das questões respondidas na Biblioteca, os alunos devem assinalar que assuntos tratados nos livros consultados já eram de seu conhecimento. A figura 7 mostra o resultado obtido.

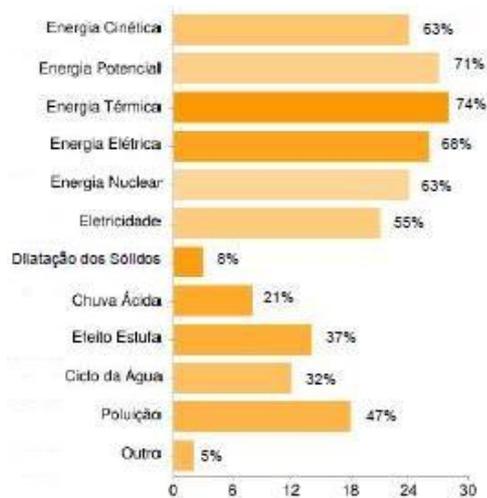


Figura 7. Assuntos dos livros consultados já de conhecimento dos alunos.

Como se observa, os tópicos mais assinalados se referem às diferentes formas de energia. Uma das questões relativas à atividade do Laboratório de Informática diz respeito à contribuição desta atividade para a fixação de conceitos já estudados pelos alunos. A figura 8 mostra o resultado obtido.

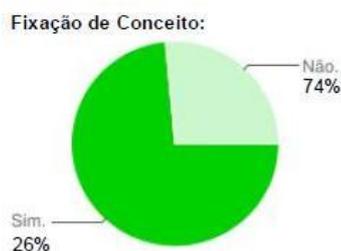


Figura 8. Assuntos dos livros consultados já de conhecimento dos alunos.

Ao término da visita, é aplicado aos alunos um questionário “pós-visita”. Este questionário inclui algumas questões de avaliação das atividades desenvolvidas, numa escala de 0 a 10. A figura 9 a seguir mostra a avaliação da atividade “Mostra de Energia”.



Figura 9. Avaliação da “Mostra de Energia”.

Observa-se que a “Mostra de Energia” obteve a nota máxima (10) na opinião da grande maioria dos alunos (78%). A figura 10 mostra, para efeito de comparação, a avaliação obtida pela atividade desenvolvida na Biblioteca.



Figura 10. Avaliação da “Pesquisa na Biblioteca”.

Como se pode observar, um percentual menor de alunos atribuiu a nota máxima a esta atividade. A figura 11 refere-se a uma questão relativa à atividade que mais contribuiu para a formação dos alunos.

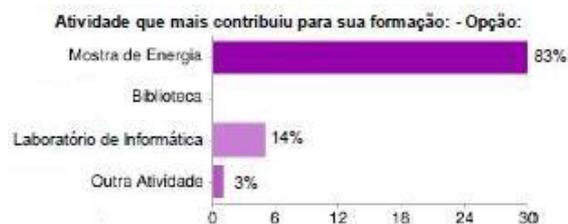


Figura 11. Atividade que mais contribuiu para a formação do aluno.

A figura mostra que a atividade de “Mostra de Energia” se destaca, ficando num patamar bem superior ao das demais atividades.

O questionário inclui também uma questão relativa à contribuição da Mostra para despertar ou aumentar o interesse dos alunos para as atividades de Ciências. O resultado é apresentado na figura 12, a seguir.



Figura 12. Interesse por Ciências a partir da Mostra de Energia.

Nota-se que a grande maioria opinou favoravelmente à contribuição da atividade neste sentido. A figura 13 mostra como os alunos se posicionaram com relação ao interesse pelas carreiras de Engenharias e Ciências Exatas após a visita.

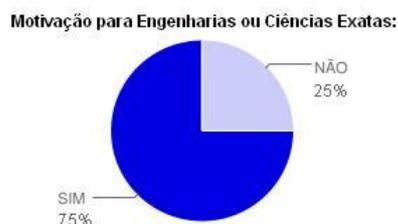


Figura 13. Motivação para as carreiras de Exatas e Engenharias.

Como se observa na figura 13, a maioria (75%) se posicionou favoravelmente à contribuição das atividades para motivá-los para as carreiras de Exatas e Engenharias. A figura 14, a seguir, é mais específica com relação aos cursos de interesse dos alunos na área de Exatas.



Figura 13. Cursos de Interesse dos alunos

Como se observa, continua o grande interesse pela “Engenharia Mecânica”. Note-se que o percentual de interessados (58%) é ligeiramente superior ao observado no início da visita (57%).

Embora as figuras anteriores se refiram aos dados de avaliação de uma escola, pôde-se observar que, salvo pequenas variações de uma escola para outra, as manifestações em geral seguiram o mesmo padrão nas diferentes escolas que participaram das atividades das “Visitas à UNESP”.

#### IV. CONCLUSÕES PRELIMINARES

A análise dos dados, e a avaliação do projeto como um todo, sinalizam que as atividades desenvolvidas, principalmente a “Mostra de Energia”, foram reconhecidas como estimulantes e motivadoras pelos alunos. Após participarem das atividades, uma porcentagem significativa dos alunos demonstrou interesse em Ciências, de uma maneira geral, e pelas carreiras de engenharia.

Os dados também sugerem que, quando bem direcionados, espaços não-formais de ensino como os propostos no projeto Lab InCognITA podem ser bons aliados das aulas formais, apresentando conteúdos que fazem parte do currículo escolar de uma maneira lúdica e descontraída. Essa prática está de acordo com ampla gama de pesquisas que defendem que no processo de ensino-aprendizagem é importante não privilegiar apenas a memorização, mas promover situações que possibilitem a formação de uma bagagem cognitiva no aluno. Essas situações de aprendizagem ocorrem de forma gradual, a qualquer momento e em qualquer lugar, desde que consigamos envolver o aluno nesse processo.

Cabe ainda ressaltar ainda que a parceria entre a UNESP e a DE – Guaratinguetá, que tornou possível a realização das atividades descritas nas visitas dos alunos, bem como das outras atividades propostas para o desenvolvimento do projeto, têm se mostrado um modelo adequado para buscar a meta do edital da Chamada Pública MCT/FINEP/FNDCT: “recrutar mais e melhores estudantes para as áreas tecnológicas”.

Os resultados parciais obtidos até o momento mostram

que os alunos se sentem motivados para as visitas ao Câmpus e que as atividades desenvolvidas têm contribuído para despertar o interesse deles para as áreas de Exatas e Engenharias. Além disso, o projeto apresentou um grande potencial na questão de orientação vocacional e profissional, pois os alunos entram em contato com o ambiente universitário e principalmente com os cursos oferecidos pela instituição.

#### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP, pelo suporte financeiro recebido para o desenvolvimento do projeto. Deixam também registrado o seu agradecimento às Professoras. Angela Maria Escobar Baesso (Diregente Regional, Diretoria de Ensino de Guaratinguetá) e Ana Flávia Andrade Coelho (Supervisor de Ensino, Diretoria de Ensino de Guaratinguetá), pelo apoio prestado à realização dos shows nas escolas, promovendo ações para a sua efetiva realização e intermediando a interação entre a Universidade e as Escolas Públicas de Ensino Médio. Por final, registram também o seu agradecimento ao Prof. Dr. Júlio Santana Antunes, Diretor do Campus da UNESP, Guaratinguetá, bem como à área administrativa do Campus, pelo apoio à logística necessária para o desenvolvimento das ações do projeto.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] AKAMATSU, J. I.; FISCARELLI, S.H. The Methodology of Projects in the Environmental Education (in Portuguese). 1.ed. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica Ltda, 2008. 153p.
- [2] MARKHAM, T; LARMER, J.; RAVITZ, J. (organizadores) Aprendizagem baseada em projetos: guia para professores de ensino fundamental e médio. Porto Alegre: Artmed, 2008.
- [3] SENA, G. J., MERGENDOLLER, J. R., AKAMATSU, J. I.; RIOS, A. W. S.; TOYOHARA, D. Q. K. Project-Based Learning: a Web Tool for Project Planning. In: International Conference on Engineering and Computer Education - ICECE/2009, 2009, Buenos Aires.
- [4] SCHNETZLER, R. P.; ARAGÃO, R. M. R. Importância, sentido e contribuições de pesquisas para o ensino de química. Química Nova na Escola, 1995, pp. 1,27.
- [5] BACHELARD, G. O novo espírito científico. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2001.
- [6] MONTEIRO, M.A.A.; TEIXEIRA, O.P.B. Uma análise das interações dialógicas em aulas de ciências nas séries iniciais do Ensino Fundamental. Investigações em Ensino de Ciências, v.9(3), pp.243-263. 2004.
- [7] DALBEM, C. M.; BARONEI, D. A. C.; CHIES, F. A.; ZAWACKI, L. F.; MARCOS VINICIUS CAVINATO, M. V. Projeto Primeiras Ciências – Robótica Educativa. Disponível em: [http://hosting.udlap.mx/sitios/unionlat.extension/memorias2009/trabajos/universidad\\_sociedad/proyecto\\_primeiras\\_ciencias\\_robotica\\_educativa.pdf](http://hosting.udlap.mx/sitios/unionlat.extension/memorias2009/trabajos/universidad_sociedad/proyecto_primeiras_ciencias_robotica_educativa.pdf), acessado em 22/10/2010.
- [8] MARTINS, A. R. Sobre os recursos de ensino. Revista Tecnologia Educacional, Rio de Janeiro, v. 25, p.7-11, 1997.
- [9] VIEIRA, L. Os argonautas da cidadania - A sociedade civil na globalização. Rio de Janeiro: Record, 2001.
- [10] PASSOS, C. O; MELO, D. P. D’AVILA. Os recursos audiovisuais e a teoria prática. Revista Tecnologia Educacional, Rio de Janeiro, v.21, p.8-17, 1992.
- [11] ARAÚJO, M. S. T; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. Rev. Bras. Ensino Fís. vol.25 no.2 São Paulo June 2003, p. 176-194. Também disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102->

47442003000200007&script=sci\_arttext&lng=es, acessado em 22/10/2010.

- [12] LOPES, A. R. C. Ensino de química e conhecimento cotidiano. Disponível em: <http://www.moderna.com.br/moderna/didaticos/em/artigos/2004/0030.htm>. Acesso em 07/02/2011.
- [13] MARTINS, A. C. G.; SIMÕES, A. S. A robótica como motivação para as áreas de ciência e tecnologia. Disponível em: [http://www.sorocaba.unesp.br/professor/assimoes/publicacoes/cruzeiro2006\\_2.doc](http://www.sorocaba.unesp.br/professor/assimoes/publicacoes/cruzeiro2006_2.doc), acessado em 22/10/2010.
- [14] AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. Educational Psychology: A Cognitive View, 2ª ed. (1978) New York: Holt, Rinehart & Winston. Reprinted (1986). New York: Warbel & Peck.
- [15] SOUZA, R. R. Uma Experiência de uso de Mapas Conceituais para Avaliação de Conhecimentos. Disponível em [www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=62](http://www.sbc.org.br/bibliotecadigital/download.php?paper=62), acessado em 22/10/2010.
- [16] GASPAR, A. O ensino informal de ciências: de sua viabilidade e interação com o ensino à concepção de um centro de ciências. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis, v.9, n.2, p.157-163. 1992.
- [17] Padilla J. Educação para a Ciência: Curso para Treinamento em Centros e Museus de Ciências (Editora Livraria da Física, São Paulo, 2001), p. 113-141.
- [18] Colinvaux, D. História, Ciências, Saúde 12(suplemento), 79 (2005).
- [19] FIGUEROA et al (1994). Demonstraciones de física: Para que?. *Enseñanza de las ciencias*, 12(3), pp.443-446.
- [20] MESEGUER DUEÑAS E MAS ESTELLÉS. Experiências de cátedra em las clases de física de primer curso de escuelas técnicas. *Enseñanza de las ciencias*, 12(3), pp.381-391. 1994.
- [21] MONTEIRO, I.C.C. Atividades experimentais de demonstração: uma análise segundo o referencial de Vigotski. 2002. Dissertação de mestrado (Educação para a Ciência). Faculdade de ciências, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2002.
- [22] STOCKLMAYER, M.S. In Guimarães, V. F. e Silva, G.A. Implantação de centros e museus de ciências. Programa de Apoio ao Desenvolvimento da Educação em Ciência PadeC/UFRJ, Casa da Ciência, UFRJ, p. 68, 2002.
- [23] TEIXEIRA, R. C. Desenvolvimento de Tecnologia educacional para o uso racional de energia. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica. Área de Transmissão e Conversão de Energia) - Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2008.
- [24] TOYOHARA, D. Q. K. Biocombustíveis: concepções de energia com enfoque para a educação ambiental. 2010. 151f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- [25] TOYOHARA, D. Q. K.; SENA, G. J.; FISCARELLI, P.; GONÇALVES, M. A. R. F. Projetos Pedagógicos a partir da Metodologia do Instituto BIE: Formação de Professores e do Aluno Pesquisador. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND COMPUTER EDUCATION - ICECE'2009, 2009, Buenos Aires. Proceedings... Buenos Aires: COPEC - Council of Researches in Education and Sciences, 2009. p 663-667.

## VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.



## EDUCAÇÃO EM ENERGIA: CRIANDO INCENTIVOS PARA O SEU USO RACIONAL

ISSN 1809-3957

ANA PAULA G. C. TEIXEIRA, ROBINSON C. TEIXEIRA, GALENO J. SENA

**Resumo** – A Energia é um dos produtos de fundamental importância na sociedade moderna e tem assumido um papel significativo dentro do contexto da questão ambiental e da busca do desenvolvimento sustentável. Considerando a dimensão social do problema, este trabalho procura discutir a importância da abordagem do tema ENERGIA em AÇÕES EDUCATIVAS, como um importante elemento de programas relacionados ao PLANEJAMENTO ENERGÉTICO de uma comunidade, no sentido de ampliar conhecimentos e orientar os consumidores a zelar pela conservação de energia no seu cotidiano. Nesse contexto, destaca também o potencial da educação em energia na criação de uma motivação para minimizar os desperdícios.

**Palavras-chave** – Educação em Energia, Planejamento Energético, Uso Racional de Energia.

### I. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano implica em maior demanda de energia, que acaba por ser um dos fatores determinantes para o grau de evolução da espécie humana.

Como a questão energética está estreitamente relacionada com as questões de ordem econômica e social e como a demanda energética tem crescido de forma exponencial ao longo dos anos, devido, entre outros fatores, ao aumento da intensidade energética *per capita* (quantidade de energia consumida individualmente num determinado intervalo de tempo), tem aumentado a necessidade de um planejamento energético, que pode ser utilizado tanto como uma tentativa de garantir a oferta num futuro próximo quanto como uma estratégia de desenvolvimento de uma região.

Geralmente, um empreendimento exige planejamento quando envolve situações complexas, quando se necessita conhecer sua relação custo  $\times$  benefício, especialmente quando são tratadas situações de alto risco ou alto custo, ou ainda uma situação que envolva um sistema dinâmico, como é o caso da questão energética que é uma questão complexa, em que diversos aspectos têm papel importante, inclusive o histórico, sendo necessário avaliar quais são as consequências de uma injeção sempre crescente de energia na sociedade [1].

A falta do planejamento energético pode trazer consequências negativas, com reflexos em termos de elevação de custos e/ou degradação na qualidade da prestação do serviço, tais como racionamentos ou excessos de capacidade instalada e produção ineficiente. A

necessidade de planejamento também deriva do escopo e da complexidade do sistema energético, incluindo os diferentes atores responsáveis pela evolução do setor, tanto do lado da oferta quanto do lado da demanda [2].

De acordo com Silva e Bermann [3], a importância do planejamento energético foi reforçada com o surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável, uma vez que a utilização dessa ferramenta pode evitar a degradação prematura dos recursos energéticos não-renováveis e/ou apontar alternativas de substituição de fontes de energia, garantindo a oferta necessária à manutenção do desenvolvimento da sociedade. Ao se fazer uso dos recursos energéticos de forma racional e eficiente, contribui-se para a geração de economias consideráveis, minimizando a necessidade de novos empreendimentos em geração de energia.

Considerando o comportamento como um dos parâmetros que têm uma relação direta com o consumo de energia e que grande parte do conhecimento e das idéias, que são as bases do comportamento adulto, é absorvida na educação [4], entende-se que não basta impor maiores preços para a energia, e que um bom planejamento energético deve incluir iniciativas de natureza educacional que incentivem, nos diferentes tipos de consumidores, uma mudança de hábito em relação aos seus padrões de consumo e o reconhecimento da eficiência energética como importante fator na aquisição de novos equipamentos.

Portanto, cabe especialmente aos engenheiros, a concepção de tecnologias energeticamente mais eficientes, e às agências de energia, ao governo e aos educadores, o desenvolvimento de ações educativas que subsidiem a compreensão do conceito de desperdício e das implicações derivadas dos comportamentos e práticas em relação ao uso da energia, salientando os principais benefícios da alteração de conduta.

No entanto, também é bastante importante salientar que um planejamento energético considerado eficaz em termos de ações que visem a educação do consumidor final da energia deve estar alicerçado em uma efetiva sinergia entre os principais interventores sociais (o governo, as agências de energia, os educadores e a própria população), com o propósito de minimizar as principais possíveis limitações que cada um deles possam apresentar individualmente.

## II. EDUCAÇÃO PARA O USO RACIONAL DE ENERGIA

A utilização de recursos energéticos é algo tão comum no cotidiano moderno que, muitas vezes, não se tem a consciência de quanto é complexo e oneroso o abastecimento energético dos vários segmentos da sociedade. Diante desse fato, têm aumentado as preocupações com a sua crescente demanda.

O termo “Uso Racional de Energia” insere-se no contexto dessa preocupação e refere-se à forma como a energia tem sido utilizada pelos indivíduos. Nesse sentido, *racionalizar* a utilização da energia significa tornar racional ou reflexivo o seu uso, com o intuito de minimizar desperdícios.

Desta forma, ao se analisar a importância da educação no processo de construção do ser humano, pode-se observar o quanto são relevantes projetos e ações que versem sobre temas transversais, como a preservação do meio ambiente e o uso racional de energia [5].

Entende-se, portanto, que o uso racional da energia em termos de comportamento dos consumidores deve estar pautado em uma constante sensibilização das massas para os benefícios de uma economia de energia, por mais modesta que ela possa representar, tanto para os indivíduos em particular quanto para a sociedade como um todo.

A Comissão Europeia de Energia [4] aponta três objetivos gerais da educação em energia:

- identificar o que a sociedade e as pessoas podem fazer em busca da sustentabilidade do ponto de vista energético;
- aumentar a sensibilização para estas questões;
- explicar os benefícios dessas ações.

A figura 1 ilustra o potencial da educação em energia:



Figura 1: Potencial da educação em energia [9].

De acordo com a figura 1, a educação em energia tem um grande potencial a ser explorado, pois procura oferecer ao indivíduo argumentos concretos que possam estimular mudanças de valores e comportamentos em

relação ao uso da energia. Dessa forma, entende-se que a educação em energia voltada para a sensibilização das massas deve estar apoiada em propagandas que divulguem idéias que alertem a população para os efeitos negativos do consumismo exagerado. Tais propagandas necessitam de divulgação nas diferentes mídias: rádio, televisão, *Internet*, entre outras formas de comunicação.

No entanto, alguns autores expõem que, apesar dos programas de conscientização até então realizados, ainda percebe-se a necessidade de uma maior sensibilização dos grupos envolvidos quanto à questão energética [6]. Neste contexto os programas de uso racional de energia procurariam desenvolver ações que atuariam preservando o conforto, a qualidade de vida e as necessidades dos meios de produção, onde a conservação de energia passaria por seis níveis de intervenção [7], [8]: eliminação de desperdícios; aumento da eficiência das unidades consumidoras; aumento da eficiência das unidades geradoras; reaproveitamento dos recursos naturais, pela reciclagem e redução do conteúdo energéticos dos produtos e serviços; rediscussão das relações centro/periferia, no que tange ao transporte e à localização de empresas produtoras e comerciais; mudança dos padrões éticos e estéticos, a partir dos quais a sociedade poderia penalizar os produtos e serviços mais energointensivos em favor de sua cidadania

Considerando-se os diversos aspectos da questão da energia, torna-se importante salientar que o planejamento energético, em termos de ações educativas, deve ser concebido como um programa dinâmico e permanente, com campanhas informativas que sensibilizem a população em relação ao “POR QUE economizar energia?”, incluindo orientações relacionadas ao “COMO economizar energia?”. Essas ações devem se adequar à realidade do público ao qual se destinam, considerando fatores como idade, nível de escolaridade e modo de aprendizagem (formal *versus* informal).

Tais ações também devem incluir programas de intervenção nas escolas, priorizando a elaboração de material pedagógico e cursos de capacitação de professores para trabalhar com projetos de educação em energia.

## III. POR QUE ECONOMIZAR ENERGIA?

De acordo com Princípio da Conservação da Energia, a Energia não se perde. Um tipo de energia pode ser transformado em outro e utilizado de diversas maneiras. É assim que todas as fontes funcionam. É comum então surgirem questões como “Se a energia não se perde, por que é preciso economizá-la?”.

Entre os consumidores, pouco se conhece sobre a degradação da “qualidade” sofrida pela energia em cada processo de transformação a que ela é submetida, gerando resíduos poluentes que são lançados no ambiente e contribuindo enormemente para agravar problemas como a chuva ácida e o aquecimento pelo efeito estufa [9]. Além disso, faz-se necessário enfatizar que a degradação da energia útil e a irreversibilidade de alguns processos impõem limites à rentabilidade de determinados sistemas. Dessa forma, antes da motivação para economizar energia, faz-se necessário conscientizar essas pessoas a respeito da

origem dos diversos tipos de energia e do desequilíbrio ecológico provocado na sua geração.

Além disso, é possível verificar entre os consumidores brasileiros pouca consciência do potencial de economia de energia através da compra de equipamentos mais eficientes, o que mais uma vez enfatiza a necessidade de mais informação e educação [10].

A motivação mais forte para se economizar energia é a economia no próprio bolso e ainda são pouco conhecidos os benefícios ambientais da conservação da energia, que é vista como “algo que surge do nada”, tornando-se necessário educar os consumidores quanto à origem e à natureza dos diferentes recursos energéticos e sobre as conseqüências do seu desperdício [10].

As motivações para se economizar energia são de ordem econômica, ecológica, social e segurança estratégica.

Destacam-se ainda outros aspectos mais subjetivos como o da “cultura do desperdício” e o da “má distribuição de renda”, estimulando comportamentos contrários a tudo aquilo o que possa ser considerado racional ou eficiente [10], [11], [12].

A eficiência energética, enquanto objetivo econômico a ser alcançado, cria novas áreas ou amplia outras já existentes, em que os investimentos feitos terão como remuneração a diminuição das pressões financeiras sobre o setor energético, a modernização dos produtos e processos, aumento da produtividade e qualidade da indústria como um todo [10], [11], [12].

Do ponto de vista das motivações ecológicas, qualquer redução no consumo energético, pela aplicação de uma maior eficiência, contribuirá para não aumentarem os empreendimentos em geração, diminuindo os impactos diretos sobre o meio ambiente e as emissões de CO<sub>2</sub>.

Quanto às motivações sociais, trata-se de intensificar políticas de combate à ineficiência energética, investindo-se para melhorar as formas de utilização, diminuindo o consumo sem perder a qualidade. Ao mesmo tempo está se gerando energia com eficiência e distribuindo-se renda.

As motivações de segurança estratégica referem-se à geração de energia, criando a possibilidade para o investidor vender seus excedentes, especialmente em épocas de racionamento [9], [11], [12].

#### IV. COMO ECONOMIZAR ENERGIA?

Quando se fala em economia de energia, pensa-se, *a priori*, em redução de consumo. Mas, na realidade, trata-se de aumentar a eficiência energética, o que não quer dizer que os cidadãos tenham que abandonar suas atividades para poupar energia. As novas tecnologias e um comportamento mais eficaz permitirão que os mesmos façam mais, melhorando as suas condições de vida, em vez de reduzir o seu conforto. Além disso, o aumento da eficiência energética não é apenas um problema de redução

de custos e do aumento da sustentabilidade, mas representa também uma oportunidade para fomentar o crescimento econômico e gerar emprego [4], [9].

O aumento da eficiência energética é um dos grandes desafios da humanidade, uma vez que a sociedade moderna demanda uma injeção sempre crescente de energia em todos os seus níveis. Assim, há a necessidade de educação do consumidor final, em ações informativas sobre as maneiras mais eficientes de se poupar energia, incentivando, dessa forma, mudanças comportamentais em relação ao seu uso.

A abordagem de como economizar energia pode ser dividida, essencialmente, em duas vertentes: mudança de hábito e mudança técnica [10].

O termo “mudança de hábito” refere-se à utilização da energia de forma criteriosa e deve concentrar esforços para assegurar que todos os cidadãos tenham acesso à informação clara e precisa acerca dos principais comportamentos e ações que favorecem a economia de energia. Trata-se de ações do tipo reduzir o tempo no banho, reutilizar a água da lavadora de roupas, diminuir a chama dos queimadores do fogão quando a água começar a ferver, andar mais a pé ou de bicicleta para gerar economia de combustível, evitar o consumismo exagerado, entre outras.

O termo “mudança técnica” refere-se à aquisição de equipamentos energeticamente mais eficientes, que, em geral, podem ser identificados por certificações específicas. Trata-se de um incentivo para que os consumidores passem a considerar o consumo de energia e a eficiência energética como fatores decisivos no ato da compra de novos equipamentos, em contrapartida às expectativas em relação à estética, à marca e ao preço do produto a ser adquirido. Trata-se também de esclarecer os benefícios de se trocar equipamentos menos eficientes (geralmente os mais antigos), por outros que contemplem maior eficiência nas transformações de energia [9], [10].

#### V. EDUCAÇÃO EM ENERGIA NAS INSTITUIÇÕES DE ENSINO

Uma das formas de se atuar junto à comunidade é por meio da educação. Mas, para se conseguir uma melhoria no entendimento das necessidades do ensino sobre o tema energia, é necessário admitir certas mudanças e rupturas no

ensino tradicionalmente abordado nas escolas [13], [14], adotando-se temas de maior relevância dentro do contexto social e metodologias orientadas à construção da cidadania.

Assim, tão importante quanto se criar políticas contra a degradação ambiental e o desenvolvimento de novas tecnologias para geração de energia, é considerar o aprendizado dos alunos (desenvolvimento dos conteúdos programáticos) como uma estratégia de conscientização (entendendo melhor as mudanças causadas pela ação do homem) e tomada de atitudes, para um desenvolvimento energeticamente sustentável.

Quando se trata de educação em energia no ambiente formal, estudantes e professores constituem os intervenientes mais importantes em termos de educação em energia. Dentro desse contexto, a Universidade também tem um papel muito importante na educação em energia e deve ter uma atuação voltada para a promoção de uma melhor qualidade de vida, no sentido de oferecer o suporte técnico e conceitual para fomentar as campanhas de natureza educacional que incentivem, nas outras esferas da sociedade, as mudanças culturais e comportamentais em termos de utilização dos recursos energéticos. Nesse contexto, as pesquisas acadêmicas, especialmente as pesquisas em engenharia, apresentam uma fundamental importância, especialmente no que se refere ao desenvolvimento de tecnologias e equipamentos que sejam energeticamente mais eficientes.

Porém, uma questão desafiadora para a educação em termos de energia é com relação às referências metodológicas mais adequadas para a utilização na escola, para motivar os estudantes dentro de um contexto social.

Geralmente a abordagem da questão da energia na escola é feita de modo a privilegiar apenas os aspectos ambientais relacionados ao seu uso. Porém, essa abordagem deve estar aportada na motivação dos estudantes para alterações de comportamento que tenham efeitos duradouros. Para promover essa motivação é preciso reconhecer que agir localmente é a primeira etapa para se pensar globalmente [15]. Isto significa buscar soluções globais, adaptadas à realidade das comunidades locais. Para tanto, a educação em energia apóia-se em três pilares: domínio conceitual, contextualização e interdisciplinaridade [9], [16].

O *Domínio conceitual* está ligado à construção de bases teóricas, no contexto do conhecimento formal, para estimular ações e mudanças de hábito que contemplem a sustentabilidade do ponto de vista energético.

A *Contextualização* está relacionada à adequação do conteúdo a ser abordado na escola à realidade de cada estudante, ou seja, à realidade da comunidade à qual ele pertence. Um dos aspectos positivos da temática da energia é que ela é global, interdisciplinar e possibilita um elevado grau de contextualização dos conteúdos e propostas pedagógicas a ela pertinentes. A maior vantagem dessa contextualização é que ela permite investigações práticas e encoraja avaliações críticas fundamentais acerca dos desperdícios e das mudanças de hábito [10].

A busca pela *interdisciplinaridade* está ligada à interação entre as diferentes áreas do conhecimento científico e as diversas disciplinas do currículo formal.

Nesse sentido a busca pela interdisciplinaridade procura combater o pensamento fragmentado que simplifica os conceitos e destrói a possibilidade de uma reflexão mais ampla sobre questões da própria sobrevivência da humanidade e do planeta [17].

Independentemente da metodologia adotada, os estudantes podem ser instruídos a zelar pela conservação de energia, não somente em suas casas, mas a serem multiplicadores de um pensamento sustentável em relação ao seu uso.

## VI. UMA PROPOSTA METODOLÓGICA PARA EDUCAÇÃO EM ENERGIA

Acreditando-se que intervenções de natureza educacional em termos de uso racional de energia, quando bastante divulgadas e desenvolvidas de forma permanente, têm potencial de alterar comportamentos individuais, foi concebida uma proposta metodológica para a educação em energia procurando-se:

- discutir o papel da energia no desenvolvimento da sociedade e criar incentivo para as mudanças nos padrões de consumo (por que economizar energia);
- oferecer informações sobre eficiência energética e uso racional de energia (incentivo às mudanças técnicas e mudanças de hábito: como economizar energia).

A proposta, que tem como referencial teórico o modelo da **Aprendizagem Significativa de Ausubel** [18], [19], está direcionada para a exploração de um roteiro de estudos e atividades, na forma de **mapas conceituais**, tendo como tema central a **Energia**. Os mapas conceituais desenvolvidos têm seus conteúdos enriquecidos com a inserção de diferentes **objetos de aprendizagem**.

A figura 2 mostra os referenciais teóricos e metodológicos utilizados para a confecção dessa proposta.

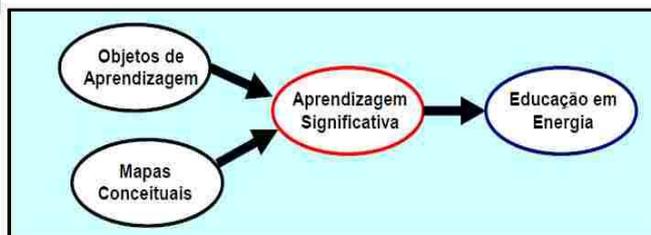


Figura 2: Referenciais teóricos e metodológicos da proposta [9].

A organização e a estruturação do conhecimento em mapas conceituais é uma forma de acompanhar o desenvolvimento cognitivo dos estudantes [9]. Segundo Cabral [20], os mapas conceituais são representações gráficas semelhantes a diagramas, que fazem relações entre conceitos ligados por palavras, representando uma estrutura que vai dos conceitos mais gerais até os mais específicos. Nesse tipo de representação, os conceitos mais gerais se encontram nos níveis mais altos, enquanto os mais específicos se encontram nos níveis mais baixos, de modo que se relacionem entre si.

A técnica do mapeamento conceitual foi criada por Joseph Novak no ano de 1972, tendo como base os trabalhos de David Ausubel sobre Aprendizagem Significativa [18],

[19], demonstrando claramente a necessidade de mudança de paradigma do modelo de aprendizagem mecânica [21], caracterizado pela simples memorização de conteúdos para o modelo da aprendizagem significativa que, segundo Ausubel, ocorre quando uma informação nova é adquirida mediante o esforço do aprendiz em associar a informação nova com conceitos preexistentes em sua estrutura cognitiva. Ainda segundo Ausubel [18] [19], é preciso identificar os conceitos e as relações hierárquicas existentes entre eles, apontando similaridades e diferenças.

Ausubel defende a tese de que, para haver uma aprendizagem significativa, deve existir uma relação entre a nova informação e o “conhecimento prévio” do aprendiz. Esse conhecimento prévio é um conjunto de conceitos chamados de conceitos subsunçores, conceitos âncoras ou ainda conceitos de esteio, por serem essenciais para uma correta interpretação da informação que está sendo disponibilizada ao estudante. Assim, a nova informação obtida pelo aprendiz é transformada em conhecimento

Por sua vez, objetos de aprendizagem podem ser definidos, segundo Tarouco *et al* [22], [23], como recursos suplementares ao processo de aprendizagem, que podem ser utilizados em vários contextos para apoiar a aprendizagem. O termo geralmente aplica-se a materiais educacionais projetados e construídos em pequenos conjuntos com vistas a maximizar as situações de aprendizagem onde os recursos podem ser utilizados [22], [23].

Os objetos de aprendizagem agregados aos mapas conceituais desenvolvidos prevêm a utilização de recursos textuais, gráficos e sonoros relacionados ao tema, que podem ser utilizados em diferentes contextos, adequando-se à abordagem dos vários aspectos da energia.

A proposta teve como público alvo alunos do Ensino Médio, da modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA) presencial, e foi concebida para ser desenvolvida ao longo de três semestres letivos, período de duração do Ensino Médio na modalidade EJA.

A proposta está dividida em três eixos temáticos, que contemplam a temática da energia, sociedade e ambiente, além do uso racional da água e da energia elétrica, conforme apresentado no quadro 1:

EIXO TEMÁTICO	TEMA	INDICAÇÃO
1	Energia, meio ambiente e sociedade	1º Termo de EJA (equivalente a 1ª série do Ensino Médio)
2	Uso racional da água	2º Termo de EJA (equivalente a 2ª série do Ensino Médio)
3	Uso racional da energia elétrica	3º Termo de EJA (equivalente a 3ª série do Ensino Médio)

Quadro 1: Eixos temáticos da proposta

Para a exploração de cada eixo temático foi estabelecida a sequência didática apresentada na figura 3:



Figura 3: Sequência didática sugerida para a exploração de cada eixo temático [9].

Todos os eixos temáticos apresentam um **caráter investigativo** na abordagem dos seus conteúdos. Para tanto, uma pergunta contextualizada é sugerida no início de cada eixo com o objetivo de orientar o debate inicial. Essa pergunta também pode ser usada, no contexto do debate, para se introduzir o tema a ser estudado e para se destacar suas importantes aplicações no dia-a-dia das pessoas. Além disso, essa discussão deve estimular os estudantes a apresentarem suas concepções sobre o tema, o que poderá orientar o professor na evolução dos assuntos relacionados a essa temática, uma vez que considera as idéias prévias dos estudantes.

Por outro lado, a discussão desses conceitos também deve permitir aos estudantes confrontarem suas concepções. Segundo Teixeira [10], trocas de informações e experiências entre os estudantes são de extrema importância, pois fornecem subsídios para a construção coletiva do conhecimento.

A apresentação dos mapas conceituais procura informar, já no início de cada eixo temático, o que os alunos deverão aprender em cada um deles. Assim, o mapa conceitual procura **organizar os conceitos e estabelecer relações entre eles** para a posterior realização das atividades no computador e das tarefas propostas.

Todos os mapas conceituais pertencentes a essa proposta metodológica foram desenvolvidos com a utilização do *CmapTools*, que é um *software* gratuito, desenvolvido pelo *IMHC (Institute Human Machine Cognition)*, da *University of West California*.

O referido *software* foi escolhido para a confecção dos mapas devido a algumas de suas características e funcionalidades como:

- Utiliza tecnologia JAVA, podendo, assim, ser executado em várias plataformas;
- Possui interface amigável com o usuário e de fácil manuseio, inclusive para iniciantes;

- Apresenta suporte para arquivos de som (formato *wave*);
- Apresenta suporte para arquivos gráficos (formatos *jpeg* e *bmp*);
- Apresenta suporte para arquivos de vídeos (formatos *Mpeg*, *Avi*, *Quick Time*);
- Apresenta possibilidade de exportação para os formatos *gif*, *pdf* e *HTML* [9].

Cada eixo temático tem seu conteúdo complementado com a realização de tarefas específicas. Os estudantes deverão utilizar o que foi aprendido na execução dessas tarefas. A discussão dos seus resultados possibilita uma melhor avaliação pelo professor, podendo orientá-los na continuidade da aplicação da proposta. A discussão de resultados possibilita também uma auto-avaliação dos alunos, especialmente no que diz respeito às dificuldades encontradas para a realização das tarefas.

A figura 4 mostra o mapa conceitual desenvolvido para a exploração do eixo temático 1.

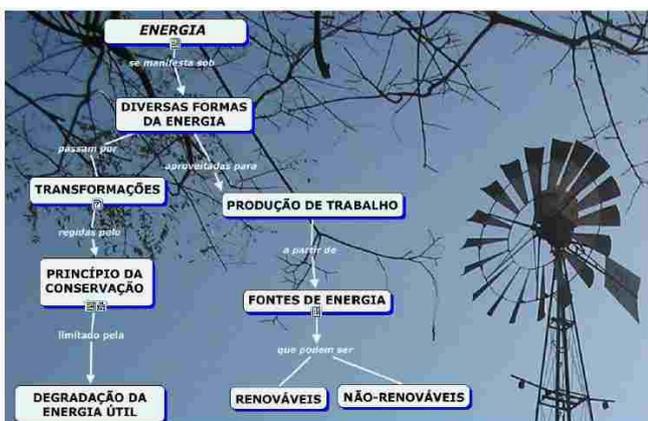


Figura 4: Mapa conceitual do eixo temático “Energia, meio ambiente e sociedade” [9].

O mapa conceitual proposto na figura 4 traz como conceito mais inclusivo a energia e os objetos de aprendizagem a ele agregados incluem: uma apresentação no formato *PowerPoint* que traz uma breve discussão sobre o conceito de energia e um breve histórico do seu consumo pelo homem; um vídeo de curta duração que trata dos diversos tipos de energia e das transformações sofridas por eles; uma simulação de um movimento de uma criança ao longo de um tobogã, desenvolvida pelo Núcleo de Construção de Objetos de Aprendizagem (NOA) da Universidade Federal da Paraíba, tendo como foco a conservação da energia mecânica do sistema; além de outra apresentação no formato *PowerPoint*, tratando de FONTES RENOVÁVEIS e FONTES NÃO-RENOVÁVEIS de energia. A partir do mapa mostrado na figura 4 o estudante também poderá acessar um mapa conceitual secundário que trata do princípio da conservação da energia.

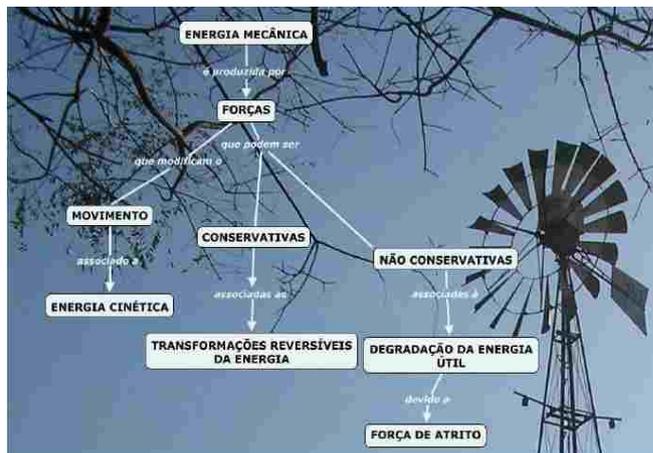


Figura 5: Mapa conceitual secundário do eixo temático “Energia, meio ambiente e sociedade” [9].

Como tarefa para os alunos, o professor poderá sugerir o registro fotográfico de situações que evidenciam os diversos usos da energia nos diferentes setores da sociedade.

A figura 6 mostra o mapa conceitual proposto para a exploração do eixo temático 2.

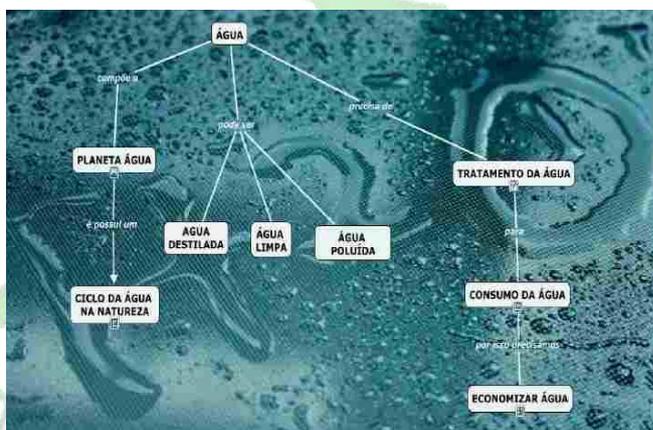


Figura 6: Mapa conceitual proposto para a exploração do eixo temático “uso racional da água” [9].

O mapa conceitual apresentado na figura 6 trata de importantes conceitos como a distribuição da água no planeta, o ciclo da água na natureza, a qualidade da água e a necessidade de se implantarem estações de tratamento de água nas cidades, enfatizando a necessidade do seu uso racional e propondo maneiras de se economizar água no ambiente doméstico.

Os objetos de aprendizagem agregados ao mapa apresentado na figura 6 incluem: uma imagem que ilustra a disponibilidade da água, enfatizando que a maior parte da água disponível no planeta está na forma sólida ou no mar, estando, dessa forma, imprópria para o consumo direto; uma apresentação desenvolvida em *PowerPoint* que trata das etapas desse ciclo e do conceito de tempo de residência das águas superficiais; um vídeo sobre o funcionamento de uma estação de tratamento de água (ETA) e as etapas desse tratamento; além de uma simulação, desenvolvida pela SABESP, sobre o consumo de água nas diferentes atividades diárias, dentro do ambiente doméstico.

A tarefa proposta nessa atividade consiste numa análise da conta de água, por meio do uso de conceitos de



As figuras 9, 10 e 11 tratam, respectivamente, do nível de interesse dos estudantes por assuntos relacionados à economia de energia, das preocupações dos estudantes em relação ao uso racional de energia e da opinião dos estudantes sobre os principais hábitos de desperdício de energia no seu ambiente doméstico, antes e depois da aplicação da proposta.

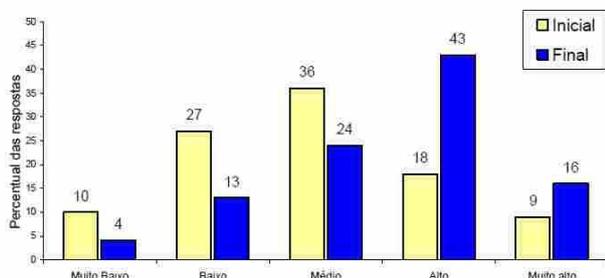


Figura 9: Nível de interesse dos estudantes por assuntos relacionados à economia de energia [9].

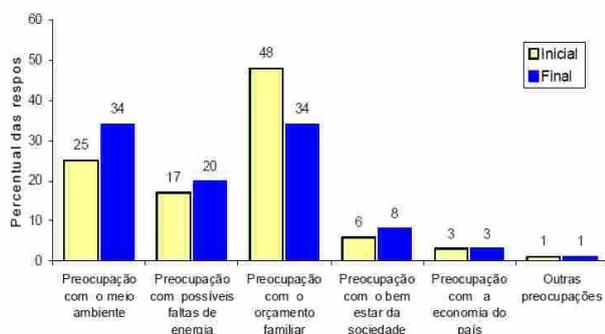


Figura 10: Preocupações dos estudantes em relação ao uso racional de energia [9].

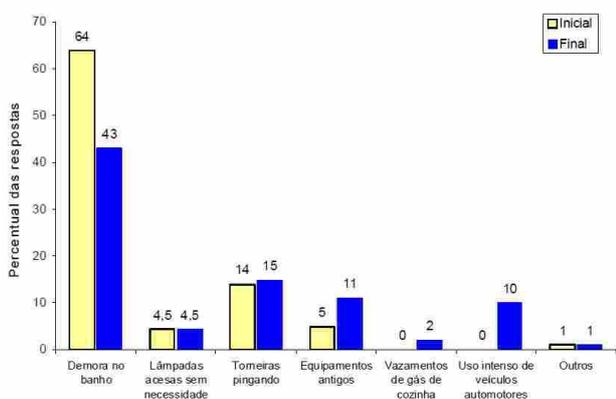


Figura 11: Investigação da opinião dos estudantes sobre os principais hábitos de desperdício de energia em suas residências [9].

Os dados das figuras 9, 10 e 11 revelam que os estudantes, embora com pequeno interesse por questões que versam sobre economia de energia, possuíam uma boa percepção sobre pequenos hábitos de desperdício e essa percepção aumentou ao final do curso. No entanto, a maior preocupação desses alunos é com o desperdício de energia elétrica, o que pode ser percebido pela baixa incidência de respostas para desperdício de água (torneiras pingando) e nenhuma indicação de desperdício de álcool ou gasolina em

veículos automotores. Esse resultado também mostra que os estudantes, em geral, não procuram relacionar o desperdício de água com o desperdício de energia elétrica, tratando essas questões separadamente.

Percebeu-se também um pequeno aumento nas preocupações com falta de energia ao final da aplicação da proposta. Interrupções no fornecimento de energia elétrica, como ocorrido no final do ano de 2009, apesar de terem sido apontadas algumas falhas técnicas como suas possíveis causas, têm despertado uma relativa apreensão, por parte dos alunos, com relação a possíveis “apagões”.

A baixa incidência de respostas para o item “equipamentos antigos” na figura 11 revela, de acordo com Teixeira [10], que a aquisição de aparelhos energeticamente mais eficientes não é percebida pelos estudantes como um modo de se reduzir os desperdícios, revelando uma falta de conhecimento do conceito de eficiência energética.

Os resultados revelam também que, apesar dos esforços empreendidos, ainda há necessidade de se intensificarem campanhas que orientem a população sobre a necessidade de se economizar energia e as melhores formas de fazê-lo.

Ao longo da aplicação da proposta, observou-se que a energia é considerada pelos alunos como um conceito difícil de ser entendido e que eles têm dificuldades em entender os benefícios de sua conservação, embora reconheçam pequenos hábitos de economia, como a redução no tempo no banho ou o de apagar as luzes ao deixar um ambiente. No entanto, sentem-se desestimulados a empreender ações de economia de energia no ambiente doméstico quando não conseguem perceber reduções significativas nos valores das faturas mensais de energia, especialmente da energia elétrica [9].

Os alunos também revelaram pouco conhecimento dos impactos sobre a sociedade da elevação no consumo, como a necessidade de maiores investimentos em geração de energia, por exemplo.

Para que se pudesse obter um *feedback* sobre o nível de impacto que a aplicação da proposta poderia causar no consumo de energia elétrica e de água pelos alunos e seus familiares, acompanhou-se o histórico desses consumos nas suas residências.

Quanto ao consumo de água, a maior redução de consumo foi registrada entre as famílias, que se situavam, costumeiramente, numa faixa de consumo *per capita* entre 4 e 6 m<sup>3</sup> mensais. Entre essas famílias verificou-se um percentual de economia de água, no período de janeiro de 2009 a julho de 2010, em relação ao período que vai de janeiro de 2008 a julho de 2009, de, aproximadamente, 0,81%.

Quanto ao consumo de energia elétrica, a maior redução registrada foi entre as famílias com consumo *per capita* entre 51 e 75 kWh mensais. O consumo *per capita* registrado no período de janeiro de 2009 a julho de 2010 foi, aproximadamente, 2,03% menor que aquele registrado no período de janeiro de 2008 a julho de 2009.

As figuras 12 e 13 ilustram, respectivamente, os resultados dessas reduções.

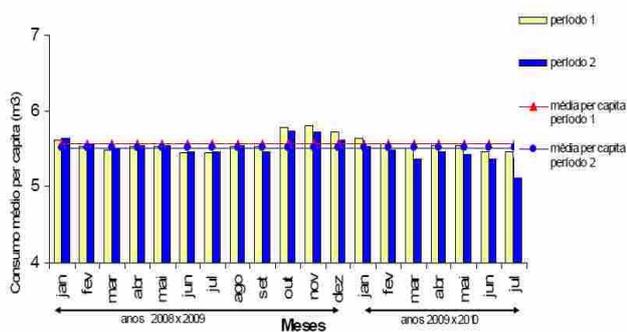


Figura 12: Comparativo do consumo de água antes e durante a aplicação da proposta entre as famílias com consumo per capita entre 4 e 6 m<sup>3</sup> [9].

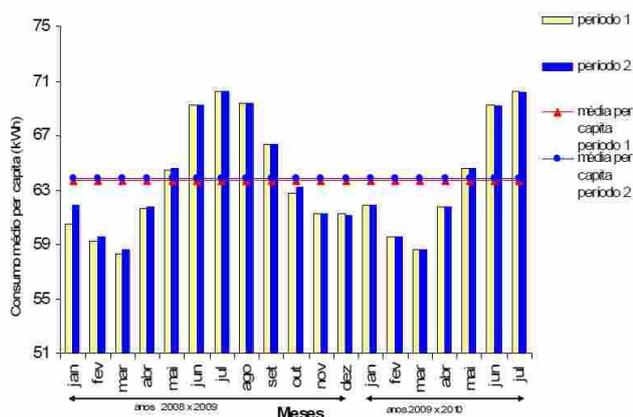


Figura 13: Comparativo do consumo antes e durante a aplicação da proposta entre as famílias com consumo per capita entre 51 e 75 kWh [9].

Verificou-se entre os alunos uma tendência maior à economia de energia elétrica do que de água. Esse resultado talvez possa ser explicado pelo maior custo do kWh do que do m<sup>3</sup> de água. Do ponto de vista financeiro, parece ser mais vantajoso economizar energia elétrica do que economizar água. Por outro lado, as pessoas tendem a enxergar a água como um recurso abundante, depositando pouca confiança em informações que indicam a sua escassez [9].

## VIII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seja do ponto de vista político, econômico, cultural, educacional ou social, a energia é um direito básico de todo cidadão. Num mundo tão dependente da energia, para se garantir esse direito a todos os indivíduos e assegurar esse direito às gerações futuras, torna-se necessário “lançar mão” de um processo de planejamento energético que seja capaz de incorporar todas as dimensões do problema, incluindo as dimensões políticas, ambientais, econômicas e sociais. Trata-se de um planejamento capaz de dimensionar as necessidades energéticas da população como um todo e gerenciar os efeitos de uma demanda sempre crescente de energia pela sociedade moderna.

Dentro desse contexto, é necessário desenvolver políticas que fomentem a educação em energia, ou seja, educar os consumidores em detrimento de hábitos contrários

ao que pode ser considerado eficiente em termos de utilização da energia. Cabe, então, questionar: como viabilizar a participação de toda a sociedade em ações energeticamente sustentáveis?

Apesar da complexidade do assunto, uma análise objetiva da questão aponta para a união entre o conhecimento técnico da engenharia e o papel formador da escola na implantação de programas de conservação de energia. Nesse contexto, atenção especial deve ser dada aos educadores, no sentido de se investir no desenvolvimento de material instrucional e em cursos de capacitação de professores para o trabalho com projetos que estimulem os estudantes dentro de um contexto social.

Muito se tem publicado sobre a questão da energia, porém poucas são as abordagens em que estão associadas as diferentes áreas do conhecimento, o que dificulta o entendimento da questão em sua totalidade, criando barreiras para a sua conservação. Para se incentivar o desenvolvimento de ações potencialmente capazes de estimular os estudantes a aplicar conceitos de eficiência energética e uso racional da energia em suas casas, escolas e comunidades faz-se necessário o combate à visão unilateral da energia.

Quanto à educação da população escolar, cujos membros são multiplicadores naturais de idéias em suas comunidades, essas ações devem adotar não apenas um caráter informativo, mas apoiar-se numa abordagem interdisciplinar e interativa dos conceitos, discutindo propostas e possíveis soluções para essa questão, objetivando a formação de cidadãos com maior grau de consciência em relação ao problema e criando motivações para um controle geral e permanente do uso da energia.

No desenvolvimento da proposta metodológica para a educação em energia, estudantes do Ensino Médio da modalidade EJA foram escolhidos como público-alvo para essa intervenção didática. Essa escolha se justifica pelo fato de que a população abordada é composta, em sua maioria, de alunos trabalhadores e de pais/mães de família que, em geral, buscam na escolarização uma alternativa para alcançar melhores condições de trabalho e, em geral, se preocupam como “peso” do preço da energia no orçamento familiar.

Nesse sentido, não se hesitou em agregar o aspecto financeiro às questões referentes ao uso racional de energia e à eficiência energética sem, contudo, deixar de lado as questões ambientais, sociais e técnicas relacionadas à energia.

A escolha dos estudantes de EJA como público-alvo da proposta deveu-se também à expectativa de que esses alunos, em geral, comprometidos com a educação de seus filhos, pudessem ser multiplicadores de um pensamento sustentável no que diz respeito a comportamentos e atitudes em favor da redução dos desperdícios de energia no ambiente doméstico.

Sabe-se que, quando se trata de intervenções de natureza educacional, não existem situações ideais nem fórmulas infalíveis para se atingir as metas definidas. Assim, comumente, os resultados de tais intervenções não podem ser percebidos em curtos intervalos de tempo. Nesse

sentido, apesar das barreiras como a heterogeneidade do público escolhido e a dificuldade de aprendizagem do tema e, embora os resultados da aplicação da proposta em termos de economia de energia possam parecer tímidos, conclui-se que o trabalho desenvolvido atendeu aos objetivos esperados. Percebe-se que, apesar dos pequenos percentuais de economia alcançados, esses resultados são “animadores” diante das estimativas de crescimento do consumo para os próximos anos.

Nesse sentido, acredita-se que, iniciativas como a realizada nesse trabalho, não devem ser avaliadas apenas pela redução no consumo de energia registrado, mas sim pelo seu potencial de propiciar um processo de construção do conhecimento que tenda a diminuir as barreiras, inclusive as relativas à falta de conhecimento, para o uso consciente da energia.

Assim, entende-se que, aumentando-se as possibilidades de acesso à informação, estimulam-se as boas práticas em termos de utilização da energia. Trata-se de um trabalho comprometido com o desenvolvimento de ações que, apesar de serem de longo prazo e não de resultados imediatos, têm efeitos duradouros, pois implicam na mudança de comportamentos e valores, o que demanda tempo, metodologias adequadas e uma mudança de paradigmas no que diz respeito às formas tradicionais de ensino.

## IX. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NYIMI, D. R. S. **O Paradigma Complexo: A Energia e a Educação**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- [2] BRASIL. MME/EPE. Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisas Energéticas. **Cenários macroeconômicos para a projeção do mercado de energia elétrica. 2005 – 2016. Relatório final**. Brasília, 2005.
- [3] SILVA, M.V.M; BERMAN, C. O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural. *In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 4, 2002, Campinas. **Anais eletrônicos...**Campinas:AGRENER,2002.Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000200034&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000200034&script=sci_arttext)>. Acesso em 12 jan. 2010.
- [4] COMISSÃO EUROPEIA DE ENERGIA. **Educação em matéria de energia. Ensinar os consumidores de amanhã**. Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias. Luxemburgo, 2006.
- [5] PEREIRA, T. E. B., SAUMA FILHO, M. Educação ambiental: subsídios para sensibilização de estudantes sobre a questão energética. *In: REUNIÃO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PLANETÁRIOS*, 12, 2007, São Paulo. **Anais...**1 CD ROM.
- [6] DIAS, R. A.; MATOS, C. R.; BALESTIERI, J.A.P. **Conservação de Energia: conceitos e sociedade**. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 28, ABENGE: Ouro Preto, 2000.
- [7] LA ROVERE, E. L. **Conservação de energia em sua concepção mais ampla: estilos de desenvolvimento a baixo perfil de consumo de energia**. *In: LA ROVERE, E. L. et al. ; Economia e tecnologia da energia*. Editora Marco Zero/FINEP, 1985, p.474- 489.
- [8] DIAS, R. A. **Impactos da substituição de equipamentos na conservação de energia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, p.18-23, 1999.
- [9] TEIXEIRA, A.P.G.C. **Desenvolvimento de uma proposta metodológica para educação em energia: um estudo de caso com estudantes de EJA**. 2010. 181f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica. Área de Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2010.
- [10] TEIXEIRA, R. C. **Desenvolvimento de Tecnologia Educacional para o Uso Racional de Energia**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica. Área de Transmissão e Conversão de Energia) – Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2008.
- [11] POOLE, A. D.; HOLLANDA, J. B.; TOLMASQUIM, M. T. **Os Caminhos da Eficiência Energética no Brasil**. Seminário, INEE, Rio de Janeiro, 1994.
- [12] AGUIAR, W. M. **O Uso de Fontes Alternativas de Energia como Fator de Desenvolvimento Social para Segmentos Marginalizados da Sociedade**. Dissertação de Mestrado. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.
- [13] KANDPAL, T.C.; GARG, H.P. **Energy education**. *Applied Energy*, n.64, p. 71-78,1999a.
- [14] KANDPAL, T.C., GARG, H.P. **Renewable energy education for technicians/mechanics**. *Renewable Energy*, n.16, p. 1220-1224, 1999b.
- [15] ALMEIDA, F. J; FONSECA JÚNIOR, F. M. PROINFO – Programa Nacional de Informática na Educação. **Projetos e ambientes inovadores**. Série de Estudos. Educação à Distância. Ministério da Educação. Secretaria da Educação à Distância. Brasília, 2000. 81p.
- [16] FURUKAWA, C. H. **A energia como um tema de estudos de Física no Ensino Médio: uma abordagem interdisciplinar e contextualizada – um estudo de caso**. 1999. 197f. Dissertação (Mestrado. Área de Concentração Energia). Programa de Pós-Graduação Inter-Unidas, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.
- [17] GADOTTI, M. **Pedagogia da Terra**. 6. ed. São Paulo: Peirópolis, 2000. 218p.
- [18] AUSUBEL, D. P. **The Psychology of Meaningful Verbal Learning**. New York: Grune & Stratton, 1963. 255p.
- [19] AUSUBEL, D. P. **Educational psychology: a cognitive view**. Holt, Rinehart and Winston, Inc, 1978. 255p.
- [20] CABRAL, A. R. Y. **Uma proposta metodológica para autoria de WBT**. 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.
- [21] TEIXEIRA, A. P. G. C.; TEIXEIRA, R. C.; SENA, G. J., AKAMATSU, J. I. Uma proposta metodológica para a abordagem do tema conservação e eficiência energética na educação de jovens e adultos. *In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO*. 6, 2009, Buenos Aires. **Anais eletrônicos...**São Paulo: COPEC, 2009. 1 CD-ROM.
- [22] TAROUCO, L. M. R. ; FABRE, M. C. J. M.; TAMUSIUNAS, F. R. Reusabilidade de objetos educacionais. **Revista Novas Tecnologias na Educação**. Porto Alegre, v. 1, n. 1, fevereiro, 2003, p. 1-11. Disponível em:<[http://www.cinted.ufrgs.br/renote/fev2003/artigos/marie\\_reusabilidade.pdf](http://www.cinted.ufrgs.br/renote/fev2003/artigos/marie_reusabilidade.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2008.
- [23] TAROUCO, L. M. R.; OTSUKA, J.; VIT, A. R. **Suporte para atividades de grupo**. Disponível em: <<http://penta2.ufrgs.br/edu/colaborede/groupware/sld001.htm>>.Acesso em: 10 jun. 2010.

## X. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.

GOVERNOS



## LÓGICA FUZZY TIPO-2

ISSN 1809-3957

PALOMA M. S. ROCHA RIZOL<sup>1</sup>, LEONARDO MESQUITA<sup>1</sup> E OSAMU SAOTOME<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNESP – UNIV. ESTADUAL PAULISTA, FACULDADE DE ENGENHARIA DE GUARATINGUETÁ, SP, BRASIL.

<sup>2</sup> ITA – INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, SP, BRASIL.

E-MAILS: [PALOMA@FEG.UNESP.BR](mailto:PALOMA@FEG.UNESP.BR), [MESQUITA@FEG.UNESP.BR](mailto:MESQUITA@FEG.UNESP.BR), [OSAOTOME@ITA.BR](mailto:OSAOTOME@ITA.BR)

**Resumo** – Este artigo apresenta um tutorial sobre a lógica *fuzzy* tipo-2, trazendo os principais conceitos desta área de pesquisa. A primeira parte do documento apresenta os principais conceitos sobre a lógica *fuzzy* tipo-1 e tipo-2 e, em seguida, apresenta-se os conceitos do Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-1 e tipo-2 intervalar.

**Palavras-chave** – Lógica *fuzzy* tipo-2, Controladores *fuzzy* tipo-2, Sistema de inferência *fuzzy* tipo-2, Lógica difusa.

### I. INTRODUÇÃO

O conceito da informação está intimamente ligado ao da incerteza. A deficiência da informação pode resultar em incerteza na solução de um determinado problema [1]. No nível empírico, a incerteza está presente em qualquer medição, resultante de uma combinação de erros de medição, da resolução dos instrumentos de medição e de ruídos. No nível cognitivo, a incerteza aparece na ambigüidade inerente da linguagem natural [1].

Os sistemas reais trabalham com informações imperfeitas [2, 3], sendo que qualquer elemento do sistema pode contribuir com imprecisão e incertezas [4]. A informação é perfeita quando é precisa e certa e é imperfeita quando é inconsistente, imprecisa e incerta. Imprecisão e inconsistência são propriedades relacionadas ao conteúdo da informação. Incerteza é uma propriedade que resulta da falta de informação sobre o ambiente para decidir se a afirmação é verdadeira ou falsa [4]. Para ilustrar a diferença entre a imprecisão e incerteza, considere os seguintes exemplos [4]:

1. *Maria tem pelo menos três filhos e estou certa disso.*

2. *Maria tem dois filhos, mas não estou certa sobre isso.* No caso 1, o número de crianças é impreciso, mas certo. No caso 2, o número de crianças é preciso, mas incerto [4].

A lógica *fuzzy* tipo-1, também conhecida como lógica nebulosa ou lógica difusa, é capaz de trabalhar com a incerteza relacionada ao significado das palavras utilizando funções de pertinência precisas [5]. Uma vez que as funções de pertinência tipo-1 são definidas, toda a incerteza

relacionada com o significado das palavras desaparece, porque as funções de pertinência tipo-1 são totalmente precisas [5].

A lógica *fuzzy* tipo-2, por outro lado, modela a incerteza oriunda do significado das palavras. Embora a função de pertinência tipo-2 também seja totalmente precisa, esta é composta por uma “mancha” de incerteza (FOU- *Footprint of uncertainty*) que permite que a incerteza seja trabalhada pelo sistema de inferência *fuzzy* (SIF) tipo-2 [5]. Se toda a incerteza do sistema desaparecer, o SIF tipo-2 é reduzido para o SIF tipo-1.

A lógica *fuzzy* tipo-1 teve seu início em 1965, quando Lotfi Zadeh introduziu o conceito de conjuntos *fuzzy*, capaz de tratar o aspecto vago da informação [6, 7, 8]. Em 1972, Michio Sugeno apresentou o conceito de medidas *fuzzy*. A primeira aplicação utilizando a lógica *fuzzy* ocorreu em 1974, quando Ebrahim Mamdani aplicou o conceito da lógica *fuzzy* para controlar um motor a vapor [7, 8]. Em 1975, Zadeh introduziu o conceito de conjuntos *fuzzy* tipo-2 [5, 9]. Em 1976, Mizumoto e Tanaka apresentaram estudos sobre as operações dos conjuntos *fuzzy* tipo-2 e suas funções de pertinências. E, em 1977, Niemien apresentou a estrutura algébrica dos conjuntos *fuzzy* tipo-2 com mais detalhes [5]. Nos anos seguintes não foram encontrados trabalhos relevantes envolvendo os conjuntos *fuzzy* tipo-2. Mas, por outro lado, a lógica *fuzzy* tipo-1 continuou a ser utilizada principalmente na indústria japonesa, que nos anos 80 e 90 produziu um grande número de eletrodomésticos e soluções industriais utilizando controladores *fuzzy* [7].

A lógica *fuzzy* tipo-2 voltou a ser abordada pela comunidade científica no final dos anos 90 com os trabalhos de Karnik e Mendel [5, 10, 11]. Nestes trabalhos, foi apresentada a teoria completa do Sistema de Inferência *Fuzzy* (SIF) tipo-2, incluindo: as operações, o tipo-redutor e os métodos de defuzzificação. Em 2000 Liang e Mendel desenvolveram a teoria do SIF tipo-2 intervalar e mostraram como o SIF tipo-2 intervalar pode ser projetado [12]. Além disso, apresentaram diversas aplicações mostrando a superioridade de desempenho do SIF tipo-2 intervalar e sua

capacidade de trabalhar com incerteza. Mas a execução do módulo tipo-redutor do SIF tipo-2 intervalar era o “gargalo” do sistema, por causa da grande carga computacional necessária para executá-lo. Para solucionar este problema, Wu e Mendel desenvolveram o método dos limites incertos [13], que permitiu a execução rápida do SIF tipo-2 e sua aplicação na área de controle, de sistemas de tempo real e na indústria. O SIF tipo-2 também é utilizado em aplicações na área de ciências da computação, diagnose médica, reconhecimento de padrões, matemática, entre outras [14].

O material apresentado nas próximas seções foi baseado principalmente nos livros de Jerry Mendel [5], que traz o material teórico denso sobre a lógica *fuzzy* tipo-1 e tipo-2 e sobre o Sistema de Inferência *Fuzzy* tipo-1 e tipo-2. E no livro de Oscar Castillo e Patricia Melin [2], que apresenta a teoria e aplicação da lógica *fuzzy* tipo-2.

Além das publicações anteriores, baseou-se o trabalho também nos seguintes artigos: *Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple*, escrito por Jerry Mendel, Robert John e F. Liu [15] e no artigo *Type-2 Fuzzy Sets and Systems* escrito por J. Mendel [16], que apresentam os conhecimentos fundamentais da lógica *fuzzy* tipo-2 intervalar. Nos artigos: *A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots*, escrito por H. Hagrais [17] e *Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design*, escrito por N. Liang e J. Mendel [12], que apresentam os conceitos sobre o sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 intervalar. O conceito sobre tipo-redutor e defuzificador do sistema *fuzzy* tipo-2 foi baseado no artigo *Type-2 Fuzzy Logic Systems: Type Reduction* escrito por Karnik e Mendel [11] e no artigo *Uncertainty bounds and their use in the design of interval type-2 fuzzy logic systems*, escrito por Wu e Mendel [13,18].

## II. CONJUNTO FUZZY TIPO-1

Na teoria de conjuntos clássicos (*crisp*), é possível dizer que um objeto pertence ou não pertence a um conjunto; e, por isso, possui apenas dois graus de pertinência em relação ao conjunto [0 ou 1] [19]. Os conjuntos *fuzzy* (tipo-1) possuem diferentes graus de pertinência de um dado objeto em relação ao conjunto que varia suavemente no intervalo de discurso dado por [0,1].

Seja, por exemplo, um conjunto de adultos com índice de massa corpórea (IMC) normal. Pode-se representar este conjunto tanto por conjuntos clássicos (*crisp*) quanto por conjuntos *fuzzy*. A função de pertinência  $\mu_N(x)$  do conjunto clássico N é dada por:

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 1 & x \in N \\ 0 & x \notin N \end{cases} \quad (1)$$

Nos conjuntos clássicos, o elemento  $x$  é membro do conjunto N quando  $\mu_N(x)=1$  ou não, quando  $\mu_N(x)=0$ . Graficamente, um exemplo de função de pertinência do conjunto clássico para o IMC normal é mostrado na Figura 1(a).

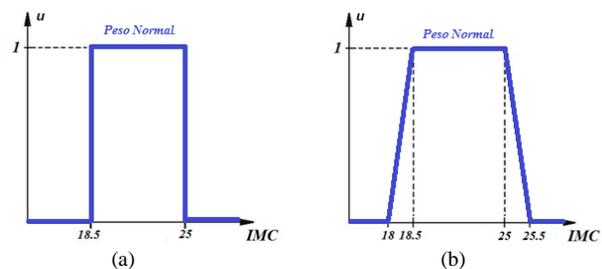


Figura 1. Conjunto representando IMC de pessoa adulta (a) *Crisp* e (b) *Fuzzy*.

Nos conjuntos *fuzzy*, a transição abrupta é substituída por uma função de pertinência suave [19]. O conjunto *fuzzy* de adultos com índice de massa corpórea (IMC) normal (Figura 1(b)), do universo de discurso IMC, é dado pela função de pertinência *fuzzy*  $\mu_N(x)$  [20].

$$\mu_N(x) = \begin{cases} 0 & x < 18 \\ 2x - 36 & 18 \leq x < 18,5 \\ 1 & 18,5 \leq x \leq 25 \\ 51 - 2x & 25 < x \leq 25,5 \\ 0 & x > 25,5 \end{cases} \quad (2)$$

Matematicamente, o conjunto *fuzzy* N (IMC normal), definido em um universo de discurso I (IMC) pode ser representado por:

$$N = \{(x, \mu_N(x)) \mid x \in I\} \quad (3)$$

Quando o universo de discurso é contínuo, o conjunto N pode ser representado pela equação (4).

$$N = \int_I \mu_N(x) / x \quad (4)$$

onde  $\int$  significa coleção de todos os pontos.

Entretanto, quando o universo de discurso é discreto, o conjunto N é representado pela equação (5).

$$N = \sum_{i=1}^n \mu_N(x_i) / x_i \quad (5)$$

A seguir, são apresentadas as principais propriedades dos conjuntos *fuzzy*, com base nas referências [1, 2, 5, 19].

**1. Suporte de um conjunto *fuzzy*:** O suporte de um conjunto *fuzzy* N é um conjunto *crisp* que contém todos os elementos  $x \in I$ , desde que  $\mu_N(x) > 0$ . Ou seja,

$$\text{sup}(N) = \{x \in I \mid \mu_N(x) > 0\} \quad (6)$$

**2. Altura do conjunto fuzzy:** A altura de um conjunto fuzzy N é o valor máximo da pertinência de x em I, sendo definida por:

$$hgt(N) = \sup_{x \in I} \mu_N(x) \quad (7)$$

onde sup denota a operação matemática *supremum* [21].

**3. Kernel:** O kernel de um conjunto fuzzy N consiste de todos os elementos x cujo grau de pertinência é 1:

$$ker(N) = \{x \in I \mid \mu_N(x) = 1\} \quad (8)$$

A Figura 2 apresenta a identificação da altura, kernel e suporte de um conjunto fuzzy.

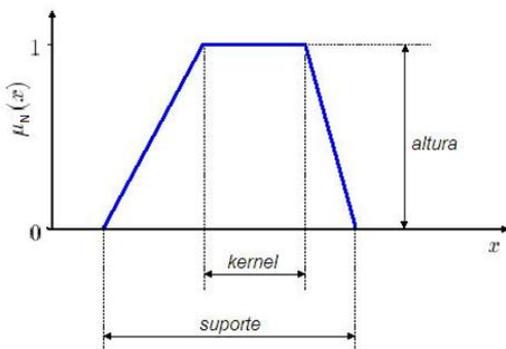


Figura 2. Altura, Kernel e Suporte de um conjunto fuzzy.

**4. Crossover point:** O elemento  $x \in I$ , no qual  $\mu_N(x) = 0,5$  é denominado ponto de *crossover*.

**5. Singleton:** Um conjunto N cujo suporte é um único ponto em I, com  $\mu_N(x) = 1$ , é denominado *singleton fuzzy*.

**6.  $\alpha$ -cut :** O  $\alpha$ -cut do conjunto fuzzy N é definido por:

$$\alpha\text{-cut}(N) = \{x \in I \mid \mu_N(x) \geq \alpha\} \quad (9)$$

**7. Variável lingüística:** As funções de pertinência fuzzy são representadas por variáveis lingüísticas que podem ser expressas por palavras ou sentenças usadas na língua [9]. Uma variável lingüística é definida por três elementos principais: (x, T(x), I), onde x é o nome da variável. T(x) é um conjunto de valores lingüísticos para os valores de x. No caso da variável lingüística índice de massa corpórea T(IMC) (Figura 3), tem-se:

$$T(IMC) = \{\text{Subnutrição, Saudável, Obeso}\}$$

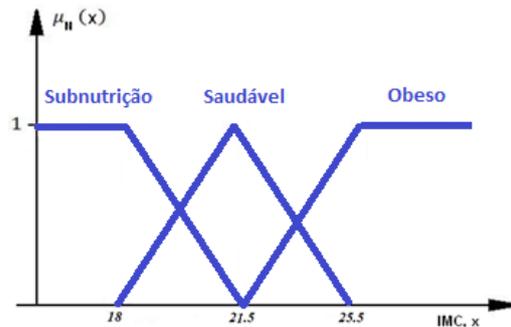


Figura 3. Variáveis lingüísticas.

Onde cada termo em T(IMC) é caracterizado por um conjunto fuzzy em um universo de discurso  $I = [10,40]$ .

A lógica fuzzy é capaz de trabalhar com a incerteza relacionada ao significado das palavras, ou seja: “As palavras podem ter diferentes significados para diferentes grupos de pessoas” [5]. Um conjunto fuzzy pessoas altas, do universo de discurso Altura, por exemplo, pode ter diferentes valores para cada população de acordo com o país que se está avaliando. Esta incerteza pode ser modelada com a função de pertinência tipo-2, que será apresentada na próxima seção. Pois possui uma “mancha” de incerteza associada à função de pertinência primária. Esta “mancha” de incerteza representa a incerteza associada aos diferentes valores de altura de cada população.

### III. CONJUNTO FUZZY TIPO-2

A função de pertinência fuzzy tipo-2 (Figura 4b) é obtida criando-se uma mancha de incerteza (FOU) ao redor da função de pertinência do fuzzy tipo-1 [5, 15]. No conjunto fuzzy tipo-1 para um dado valor de  $x = x_1$  é obtido um único valor para a função de pertinência, como apresentado na Figura 4a.

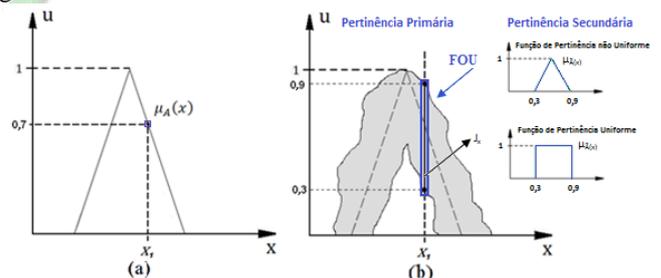


Figura 4. (a) Função de pertinência tipo-1 (b) Função de pertinência tipo-1 com mancha de incerteza.

Na função de pertinência tipo-2, para  $x = x_1$  são obtidos valores de pertinência no intervalo onde a linha vertical intercepta a mancha de incerteza (FOU – *footprint of uncertainty*), como mostra a Figura 4b. No conjunto fuzzy tipo-2 cada valor da função de pertinência primária, (dentro do intervalo 0,3 e 0,9, Figura 4b) tem um peso associado na terceira dimensão, chamada de função de pertinência secundária. A função de pertinência secundária do conjunto fuzzy tipo-2 pode ser uniforme ou não uniforme, como mostrado na Figura 4b. A função de pertinência secundária uniforme é chamada de função de pertinência fuzzy tipo-2 intervalar, e é obtida quando todos os valores são unitários.

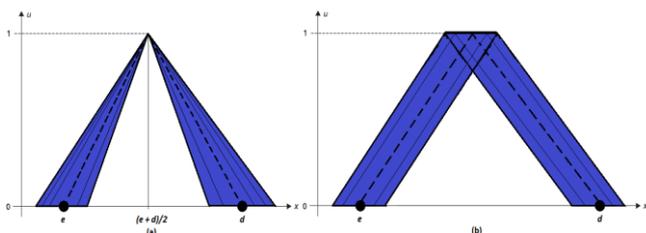


Figura 5. Função de pertinência fuzzy tipo-2 triangular cujos pontos médios possuem incerteza na: (a) largura (b) posição.

A “mancha” de incerteza (FOU) pode representar incerteza na posição [16], mantendo a inclinação da função de pertinência (fuzzy tipo-1) triangular constante (Figura 5b) e no formato, variando a inclinação da função de pertinência (fuzzy tipo-1) triangular [16], mantendo o vértice do triângulo constante (ponto  $(e + d)/2$ ), como mostrado na Figura 5a.

Usando os intervalos de incerteza (FOU), pode-se criar uma infinidade de funções de pertinência fuzzy tipo-1 triangulares.

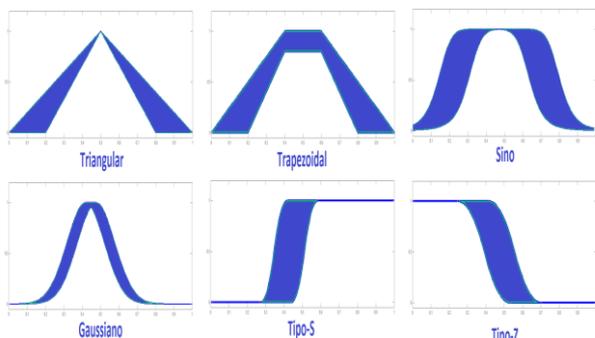


Figura 6. Diferentes tipos de função de pertinência.

Assim como a função de pertinência tipo-1, a seleção do formato da função de pertinência tipo-2 é subjetiva e depende da aplicação. Os diferentes tipos de funções são apresentadas na Figura 6:

A seguir, serão apresentadas as principais definições dos conjuntos fuzzy tipo-2 [5, 15]:

**1. Definição de conjuntos fuzzy tipo-2:** Um conjunto fuzzy tipo-2 ( $\tilde{A}$ ), é caracterizado por uma função de pertinência tipo-2  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ , onde  $x \in X$  e  $u \in J_x \subseteq [0,1]$ , ou seja:

$$\tilde{A} = \{((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) \mid \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0,1]\} \quad (10)$$

Onde  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ . O conjunto fuzzy tipo-2  $\tilde{A}$  também pode ser expresso na forma:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u), \text{ com } J_x \subseteq [0,1] \quad (11)$$

O símbolo  $\int$  representa a união para todos os  $x$  e  $u$  admissíveis. Para o universo de discurso discreto,  $\int$  é substituído por  $\sum$ . A Figura 7 mostra uma função de pertinência tipo-2, definida pela equação (11), com  $x$  e  $u$

discretos.

É importante observar que nas equações (10) e (11) existem duas restrições, a saber:

Primeira restrição:  $\forall u \in J_x \subseteq [0,1]$ , é consistente com a restrição do tipo-1,  $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$ ; Ou seja, quando desaparecerem as incertezas, a função de pertinência tipo-2 se transforma na função de pertinência tipo-1. Neste caso, a variável  $u$  passa a ser  $\mu_A(x)$ .

Segunda restrição:  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ , é consistente com o fato de que as amplitudes das funções de pertinência devem assumir valores no intervalo  $[0,1]$ .

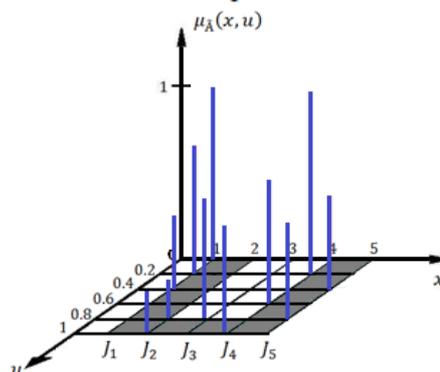


Figura 7. Função de pertinência fuzzy tipo-2.

## 2. Definição de conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares:

Quando todos os valores de  $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$  são unitários, ou seja,  $\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1$ , então ( $\tilde{A}$ ) é uma função de pertinência do tipo-2 intervalar [15]. Neste caso, a equação (11) pode ser reescrita como segue:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1 / (x, u), \text{ com } J_x \subseteq [0,1] \quad (12)$$

A Figura 8 apresenta a representação gráfica da função de pertinência tipo-2 intervalar, definida pela equação (12), com  $x$  e  $u$  discretos.

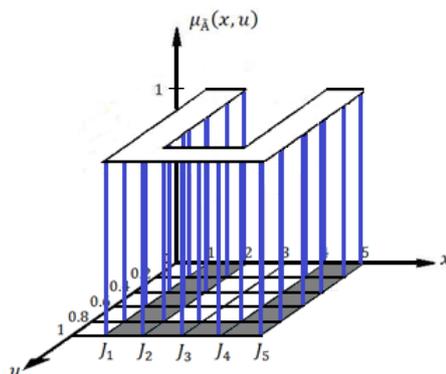


Figura 8. Função de pertinência fuzzy tipo-2 intervalar [15].

Devido ao fato de o grau secundário dos conjuntos fuzzy do tipo-2 intervalares ser sempre igual a 1, a terceira dimensão acaba não mostrando nenhuma informação adicional; desta forma, o conjunto tipo-2 intervalar pode ser representado apenas por sua FOU. A maioria dos trabalhos utiliza conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares e SIF tipo-2

intervalares [15], pois possuem menor complexidade computacional.

3. **Definição de corte vertical:** Define-se um corte vertical de  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , como sendo o plano bi-dimensional em um dado  $x =$ , cujos eixos são  $u$  e  $\mu_{\tilde{A}}(x')$ , [15]. A função de pertinência secundária é o corte vertical de  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , em um determinado valor de  $x =$ , isto é,  $\mu_{\tilde{A}}(x = x')$ , sendo  $x' \in X$  e  $\forall u \in J_{x'} \subseteq [0, 1]$ , representado na forma:

$$\mu_{\tilde{A}}(x = x', u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_{x'}} f_{x'}(u) / u \quad (13)$$

$$\text{onde } J_{x'} \subseteq [0, 1] \text{ e } 0 \leq f_{x'}(u) \leq 1$$

Para uma função de pertinência do tipo-2 intervalar,  $f_{x'}(u) = 1$ , a equação (13) é reescrita na forma:

$$\mu_{\tilde{A}}(x = x', u) \equiv \mu_{\tilde{A}}(x') = \int_{u \in J_{x'}} 1/u \quad (14)$$

A Figura 9 apresenta uma função de pertinência secundária intervalar para  $x = 2$ .

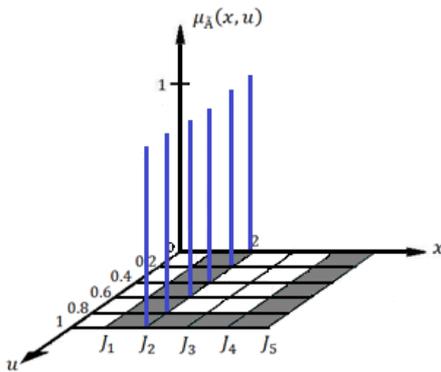


Figura 9. Função de pertinência secundária intervalar em  $x=2$  [15].

A partir do conceito de função de pertinência secundária, o corte vertical do conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar pode ser reescrito [15], como segue:

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | \forall x \in X\} \quad (15)$$

Ou na forma:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) / x = \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in J_x} 1/u \right] / x \quad (16)$$

Se  $X$  e  $J_x$  forem discretizados em  $N$  e  $M_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ), a equação (16) que representa uma função de pertinência tipo-2 intervalar ( $f_x(u)=1$ ) pode ser simplificada da seguinte forma [15]:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \sum_{x \in X} \left[ \sum_{u \in J_x} 1/u \right] / x \\ &= \left[ \sum_{k=1}^{M_1} 1/u_{1k} \right] / x_1 + \dots + \left[ \sum_{k=1}^{M_N} 1/u_{Nk} \right] / x_N \end{aligned} \quad (17)$$

Onde “+” na equação (17) significa união. Cada valor de  $x$  foi discretizado em  $N$  valores, e cada um destes valores foram discretizados em  $M_N$  valores.

4. **Definição de pertinência primária:** A pertinência primária de  $x$  ( $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ) é definida como o domínio da função de pertinência secundária para um valor de  $x$ , com  $J_x \subseteq [0, 1]$ , para  $\forall x \in X$ .

5. **Definição de grau secundário:** A amplitude de uma função de pertinência secundária é definida como grau secundário. O grau secundário ( $f_x(u)$ ) de uma função de pertinência tipo-2 intervalar é igual à  $f_x(u)=1$ .

6. **“Mancha” de incerteza (FOU – footprint of uncertainty):** A incerteza das funções de pertinências primárias de um conjunto *fuzzy* tipo-2 é representada pela “mancha” de incerteza ou FOU. Quando a incerteza desaparece, o conjunto *fuzzy* tipo-2 se torna um conjunto *fuzzy* tipo-1. A “mancha” de incerteza (FOU) é definida como a união de todas as pertinências primárias.

$$FOU(\tilde{A}) = \bigcup_{x \in X} J_x \quad (18)$$

7. **Função de pertinência superior e inferior:** A FOU de um conjunto *fuzzy* do tipo-2 é delimitada por uma função de pertinência do tipo-1 superior e uma inferior [15]. A função de pertinência superior é representada na forma  $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ , para  $\forall x \in X$ , e a função de pertinência inferior é a função mais interna que limita a FOU( $\tilde{A}$ ), e é representada na forma de  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$ , para  $\forall x \in X$ . A Figura 10 apresenta o exemplo de uma FOU com suas funções de pertinência inferior (verde) e superior (azul). A FOU pode representar incerteza na posição (Figura 10a) e no formato, como mostrado na Figura 10b.

$$\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \overline{FOU(\tilde{A})} = \bigcup_{x \in X} \bar{J}_x \quad (19)$$

$$\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \underline{FOU(\tilde{A})} = \bigcup_{x \in X} \underline{J}_x \quad (20)$$

O conjunto *fuzzy* tipo-2 pode ser representado pelas suas funções de pertinência superior e inferior, da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \tilde{A} &= \mu_{\tilde{A}}(x, u) = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) / x = \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in J_x} f_x(u) / u \right] / x \\ &= \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in [\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x), \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)]} f_x(u) / u \right] / x \end{aligned} \quad (21)$$

E para o caso de o conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar, tem-se:

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in J_x} 1/u \right] / x = \int_{x \in X} \left[ \int_{u \in [\underline{\mu}_f(x), \overline{\mu}_f(x)]} 1/u \right] / x \quad (22)$$

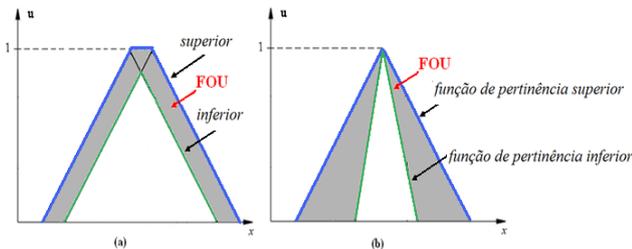


Figura 10. Conjunto *fuzzy* tipo-2 com incerteza na: (a) posição (b) largura.

### 8. Conjunto *fuzzy* tipo-2 e tipo-1 intrínsecos:

Sejam os universos de discurso  $X$  e  $U$  contínuos [15], o conjunto *fuzzy* tipo-2 intrínseco ( $\tilde{A}_e$ ), é definido por:

$$\tilde{A}_e = \int_{x \in X} [f_x(\theta) / \theta] / x \quad \theta \in J_x \subseteq U = [0,1] \quad (23)$$

Para o caso do conjunto *fuzzy* tipo-2 intervalar, tem-se:

$$\tilde{A}_e = \int_{x \in X} [1/\theta] / x \quad \theta \in J_x \subseteq U = [0,1] \quad (24)$$

O conjunto  $\tilde{A}_e$  é intrínseco no conjunto  $\tilde{A}$ , e existem infinitos números de conjuntos *fuzzy* tipo-2 intrínsecos. Para um universo de discurso discreto,  $\int$  é substituído por  $\sum$ .

O conjunto *fuzzy* tipo-1 intrínseco ( $A_e$ ) é definido por:

$$A_e = \int_{x \in X} \theta / x \quad \theta \in J_x \subseteq U = [0,1] \quad (25)$$

O conjunto  $A_e$  é a união de todas as funções de pertinências primárias do conjunto  $\tilde{A}_e$ , e existem incontáveis números de  $A_e$ . A Figura 11 apresenta um exemplo de conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínseco na FOU do conjunto *fuzzy* tipo-2.

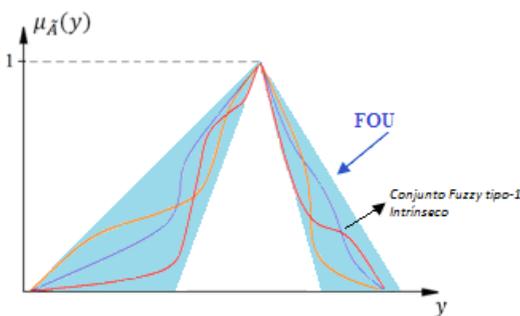


Figura 11. Exemplo de conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínsecos em um conjunto *fuzzy* tipo-2.

## IV. PRINCIPAIS OPERAÇÕES DOS CONJUNTOS FUZZY

### A. Operações básicas para conjuntos *fuzzy* tipo-1

Dados dois conjuntos *fuzzy* tipo-1,  $F_1$  e  $F_2$  [5, 19], representados nas equações (26) e (27):

$$F_1 = \int_{y \in Y} \mu_{F_1}(y) / y \quad (26)$$

$$F_2 = \int_{y \in Y} \mu_{F_2}(y) / y \quad (27)$$

Pode-se representar a união de conjuntos *fuzzy* tipo-1  $F_1$  e  $F_2$  através do operador *t-conorma*, sendo mais utilizado o operador máximo para realizar essa operação, na forma:

$$\mu_{F_1 \cup F_2} = \max [\mu_{F_1}(y), \mu_{F_2}(y)] \quad \forall y \in Y \quad (28)$$

A intersecção entre os conjuntos *fuzzy* tipo-1 ( $F_1$  e  $F_2$ ), apresentada nas equações (29) e (30), dá-se através da *t-norma*, sendo mais utilizados os operadores mínimo ou produto respectivamente:

$$\mu_{F_1 \cap F_2} = \min [\mu_{F_1}(y), \mu_{F_2}(y)] \quad \forall y \in Y \quad (29)$$

$$\mu_{F_1 \cap F_2} = \mu_{F_1}(y) \times \mu_{F_2}(y) \quad \forall y \in Y \quad (30)$$

O complemento do conjunto *fuzzy* tipo-1 ( $F_1$ ) é dado por:

$$\mu_{F_1^c} = 1 - \mu_{F_1}(y) \quad \forall y \in Y \quad (31)$$

Como  $F_1$  e  $F_2$  são conjuntos *fuzzy* tipo-1, as suas funções de pertinência  $\mu_{F_1}(y)$ ,  $\mu_{F_2}(y)$  e seus operadores  $\mu_{F_1 \cup F_2}$ ,  $\mu_{F_1 \cap F_2}$  e  $\mu_{F_1^c}$  são valores *crisp* (reais) para cada  $y \in Y$ .

Para calcular a união, intersecção e complemento dos conjuntos *fuzzy* tipo-2 é necessário realizar extensão destes operadores, usando o princípio de extensão proposto por Zadeh [9].

### B. Princípio da extensão

O princípio da extensão [5, 22] é um conceito da teoria dos conjuntos *fuzzy* que fornece um procedimento para estender expressões matemáticas do domínio real (*crisp*)  $f(x)$  para o domínio *fuzzy*  $f(A)$ , sendo  $A$  os conjuntos *fuzzy* tipo-1. Este procedimento generaliza um mapeamento ponto a ponto comum de uma função  $f(\cdot)$  a um mapeamento entre conjuntos *fuzzy*. Mais especificamente, suponha que  $f$  é uma função de  $X$  para  $Y$  e  $A$  é um conjunto *fuzzy* definido como:

$$A = \sum_{i=1}^n \mu_A(x_i) / x_i$$

$$= \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n \quad (32)$$

O princípio da extensão diz que a imagem do conjunto *fuzzy* A no mapeamento  $f(\cdot)$  pode ser expresso como o conjunto *fuzzy* B:

$$B = f(A) = f\left(\sum_{i=1}^n \mu_A(x_i)/x_i\right)$$

$$= \mu_A(x_1)/y_1 + \mu_A(x_2)/y_2 + \dots + \mu_A(x_n)/y_n \quad (33)$$

Onde  $y_i=f(x_i)$ ,  $i=1, \dots, n$ . Desde que  $x=f^{-1}(y)$ , sendo  $f^{-1}(y)$  é o inverso do  $f$ , ou seja  $f[f^{-1}(y)]=y$ , outra forma de expressar B é por:

$$\mu_B(y) = \mu_A[f^{-1}(y)], \forall y \in V \quad (34)$$

A versão do Princípio da Extensão dado na equação (33) é válido somente se o mapeamento entre  $y$  e  $f(x)$  for de um para um. Se o mapeamento  $f(\cdot)$  for de muitos valores para um, a equação (34) precisa ser modificada. Seja  $x_1$  e  $x_2 \in X$ , com  $x_1 \neq x_2$ ,  $f(x_1)=f(x_2)=y$  e  $\mu_A(x_1) \neq \mu_A(x_2)$ .

Neste caso, o grau de pertinência B é dado pelo máximo do grau de pertinência em A com  $x = x_1$  e  $x = x_2$ . Desta forma, a equação (34) é dada por:

$$\mu_B(y) = \max_{x \in f^{-1}(y)} \mu_A(x) \quad y \in V \quad (35)$$

onde  $f^{-1}(y)$ , é o conjunto de todos os pontos  $x \in U$  tal que  $f(x) = y$ .

Suponha que a função seja de duas variáveis  $x_1$  e  $x_2$ ,  $y=f(x_1, x_2)$ , onde  $x_1 \in X_1$  e  $x_2 \in X_2$ , sendo  $X_1$  e  $X_2$  universos de discurso discreto. O mapeamento da função de duas variáveis  $y=f(x_1, x_2)$  é feito conforme a equação (35). Desta forma, o princípio da extensão é dado por:

$$\mu_{f(A_1, A_2)}(y) \equiv \mu_B(y) = \begin{cases} \sup \min \{ \mu_{A_1}(x_1), \mu_{A_2}(x_2) \} \\ 0 \quad \text{se } f^{-1}(y) = \emptyset \end{cases} \quad (36)$$

onde  $f^{-1}(y)$ , é o conjunto de todos os pontos  $x_1 \in X_1$  e  $x_2 \in X_2$  tal que  $f(x_1, x_2) = y$ .

Se a função for de múltiplas variáveis em um universo de discurso discreto, o princípio da extensão é necessário estender a operação da forma  $f(x_1, \dots, x_r)$  para  $f(A_1, A_2, \dots, A_r)$ , conforme apresentado abaixo:

$$f(A_1, \dots, A_r) = \int_{x_1 \in X_1} \dots \int_{x_r \in X_r} \mu_{A_1}(x_1) \star \dots \star \mu_{A_r}(x_r) / f(x_1, \dots, x_r) \quad (37)$$

Onde  $\star$  é o operador *t-norma* e  $\int \int$  indica a união de todos os  $x$  admissíveis.

Seja, por exemplo, a função  $f(x_1, x_2) = \frac{x_1+x_2}{x_1-x_2}$ . Para obter  $f(A_1, A_2)$ , deve-se utilizar a equação (37):

$$f(A_1, A_2) = \int_{x_1 \in X_1} \int_{x_2 \in X_2} \mu_{A_1}(x_1) \star \mu_{A_2}(x_2) / \frac{x_1+x_2}{x_1-x_2} \quad (38)$$

### C. Operações básicas para conjuntos fuzzy tipo-2

Dados dois conjuntos *fuzzy* tipo-2,  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  [5, 15], representados da seguinte forma:

$$\tilde{A} = \int_X \mu_{\tilde{A}}(x)/x = \int_X \left[ \int_{J_x^u} f_x(u)/u \right] / x \quad (39)$$

$$\tilde{B} = \int_X \mu_{\tilde{B}}(x)/x = \int_X \left[ \int_{J_x^w} g_x(w)/w \right] / x \quad (40)$$

O cálculo da união, interseção e complemento para o conjunto *fuzzy* tipo-2  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , serão realizados conforme abaixo:

#### 1. União

Tem-se para a união entre  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ :

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x, v) = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x)/x$$

$$\mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x, v) = \int_{x \in X} \left[ f \left( \int_{J_x^u} f_x(u)/u, \int_{J_x^w} g_x(w)/w \right) \right] / x \quad (41)$$

$$f \left( \int_{J_x^u} f_x(u)/u, \int_{J_x^w} g_x(w)/w \right) = \int_{u \in J_x^u} \int_{w \in J_x^w} f_x(u) \star g_x(w) / f(u, w) \quad (42)$$

Onde  $f \circ$  é o operador de *t-conorma* máximo  $\vee$ . Aplicando-se a equação (28) na (42), tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) &= \int_{v \in J_x^v \subseteq [0,1]} h_x(v) / v \\ &= \int_{u \in J_x^u} \int_{w \in J_x^w} f_x(u) \star g_x(w) / (u \vee w) \end{aligned} \quad (43)$$

sendo  $\star$  o operador *t-norma* mínimo ou produto. O símbolo  $\int \int$  indica a união de todos os  $u$  e  $w$  admissíveis.

A equação (43) pode ser representada pelo **operador join** ( $\sqcup$ ), entre as funções de pertinências secundárias dos conjuntos  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$  [5]. Assim, tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) &= \int_{u \in J_x^u} \int_{w \in J_x^w} f_x(u) \star g_x(w) / u \vee w \\ &= \mu_{\tilde{A}}(x) \sqcup \mu_{\tilde{B}}(x) \end{aligned} \quad (44)$$

Sendo que o máximo entre as funções de pertinência primária  $u \vee w$  deve ser realizado para todas as combinações possíveis de  $u \in J_x^u$  e  $w \in J_x^w$ , fazendo-se esses cálculos para todos os  $x \in X$ .

União entre conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares

O operador *join* entre conjuntos fuzzy tipo-1 intervalares [15], representado por  $\sqcup_{i=1}^n F_i$ , caracterizado pelos domínios  $[\underline{\mu}_1(x), \bar{\mu}_1(x)]$ , ...,  $[\underline{\mu}_n(x), \bar{\mu}_n(x)]$ , resulta em um conjunto intervalar com domínio  $[(\underline{\mu}_A(x) \vee \underline{\mu}_B(x)), (\bar{\mu}_A(x) \vee \bar{\mu}_B(x))]$ , onde  $\vee$  é o operador *t-conorma*, representado pelo operador máximo. A união entre dois conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , é dado por:

$$\tilde{A} \cup \tilde{B} = 1/[(\underline{\mu}_A(x) \vee \underline{\mu}_B(x)), (\bar{\mu}_A(x) \vee \bar{\mu}_B(x))] \tag{45}$$

Sendo  $\vee$  o operador *t-conorma*, representado pelo operador máximo.

2. Intersecção

A intersecção entre os conjuntos fuzzy tipo-2  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , é feita da mesma forma:

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x, v) = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) / x \tag{46}$$

Onde  $f()$ , da equação (42), é o operador de *t-norma* mínimo  $\wedge$ . Aplicando-se a equação (29) na (42), tem-se:

$$\mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x, v) = \int_{u \in J_x^u} \int_{w \in J_x^w} f_x(u) \star g_x(w) / (u \wedge w) \tag{47}$$

sendo  $\star$  o operador *t-norma* mínimo ou produto.

A equação (47) pode ser representada pelo **operador meet** ( $\Pi$ ) [5], entre as funções de pertinências secundárias dos conjuntos  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ .

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) &= \int_{u \in J_x^u} \int_{w \in J_x^w} f_x(u) \star g_x(w) / u \wedge w \\ &= \mu_A(x) \Pi \mu_B(x) \end{aligned} \tag{48}$$

Sendo que o mínimo entre as funções de pertinência primária  $u \wedge w$  deve ser realizada para todas as combinações possíveis de  $u \in J_x^u$  e  $w \in J_x^w$ , fazendo-se esses cálculos para todos os  $x \in X$ .

Intersecção entre conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares

O operador *meet* entre conjuntos fuzzy tipo-1 intervalares [15], representado por  $\prod_{i=1}^n F_i$ , caracterizado pelos domínios  $[\underline{\mu}_1(x), \bar{\mu}_1(x)]$ ,  $[\underline{\mu}_2(x), \bar{\mu}_2(x)]$ , ...,  $[\underline{\mu}_n(x), \bar{\mu}_n(x)]$ , resulta em um conjunto intervalar com domínio  $[(\underline{\mu}_A(x) \wedge \underline{\mu}_B(x)), (\bar{\mu}_A(x) \wedge \bar{\mu}_B(x))]$ , onde  $\wedge$  é o operador *t-norma*, que pode ser representado tanto pelo operador mínimo quanto produto. A intersecção entre dois conjuntos fuzzy tipo-2 intervalares  $\tilde{A}$  e  $\tilde{B}$ , é dada por:

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = 1/[(\underline{\mu}_A(x) \wedge \underline{\mu}_B(x)), (\bar{\mu}_A(x) \wedge \bar{\mu}_B(x))] \tag{49}$$

Onde  $\wedge$  é o operador *t-norma*, que pode ser representado pelo operador mínimo ou produto.

3. Complemento

O complemento de um conjunto fuzzy tipo-2  $\tilde{A}$  é dado por:

$$\tilde{A} \Leftrightarrow \mu_{\tilde{A}}(x, v) = \int_{x \in X} \mu_{\tilde{A}}(x) / x \tag{50}$$

Como  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  é uma função para um dado  $x$ , e não apenas um único valor *crisp*, a equação (50) pode ser reescrita da forma:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \int_{u \in J_x^u} f_x(u) / (1 - u) \equiv \neg \mu_A(x) \tag{51}$$

Sendo a notação  $\neg$  o operador negação, segundo Mizumoto e Tanaka [5]. O complemento do conjunto fuzzy tipo-2 intervalar  $\tilde{A}$ , é dado por:

$$\tilde{\tilde{A}} = 1/[1 - \bar{\mu}_A(x), 1 - \underline{\mu}_A(x)] \tag{52}$$

V. SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY TIPO-1

O diagrama em blocos do Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) tipo-1, também denominado de controlador fuzzy, é apresentado na Figura 12. Como mostrado na Figura 12, este sistema é composto por quatro blocos [1, 5, 15]: o fuzzificador, a inferência, a base de regras e o defuzzificador, apresentados a seguir:

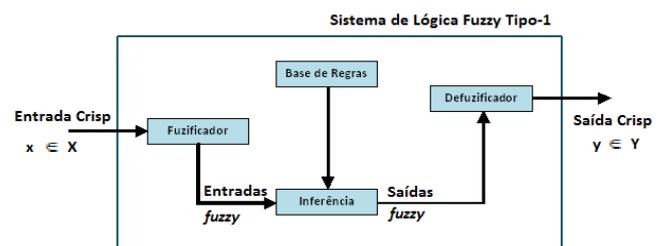


Figura 12. Sistema de Inferência Fuzzy tipo-1.

A. Fuzificador

O bloco fuzzificador mapeia uma entrada *crisp*  $x = (x_1, x_2, \dots, x_p)^T$  presente no domínio  $X$ , dado pelo produto cartesiano  $X_1 \times X_2 \times \dots \times X_p$ , em um conjunto fuzzy. O fuzzificador pode ser *singleton* e não-*singleton*. O fuzzificador *singleton* gera, a partir de uma entrada *crisp* (Figura 13a), um conjunto fuzzy *singleton* (Figura 13b). Neste artigo será apresentado o sistema de inferência fuzzy tipo-1 *singleton*, pois o mesmo é mais utilizado que o não-*singleton*.

## B. Base de Regras

A base de regras é composta por  $M$  regras condicionais do tipo SE-ENTÃO;  $p$  entradas, sendo  $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ , e uma saída  $y \in Y$ . A  $l$ -ésima regra é representada na forma:

$$R^l: \text{SE } x_1 \text{ é } F_1^l \text{ e } \dots \text{ e } x_p \text{ é } F_p^l, \text{ ENTÃO} \quad (53)$$

sendo, com  $l = 1, 2, \dots, M$ .

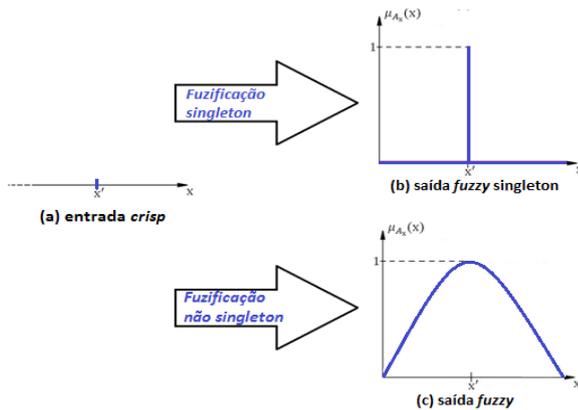


Figura 13. Fuzzificação (b) Singleton (c) Não-Singleton.

## C. Bloco de Inferência

O bloco de inferência realiza o cálculo de todo o sistema *fuzzy*, de acordo com a base de regras. Seja  $F_1^l \times \dots \times F_p^l = A^l$ , com  $l = 1, 2, \dots, M$ , pode-se representar a equação (53) na forma:

$$R^l: F_1^l \times \dots \times F_p^l \rightarrow G^l \quad (54)$$

A regra  $R^l$  é descrita pela função de pertinência  $\mu_{R^l}(x, y)$ , onde:

$$\mu_{R^l}(x, y) = \mu_{A^l \rightarrow G^l}(x, y) = \mu_{R^l}(x_1, \dots, x_p, y) \quad (55)$$

A equação (55) pode ser reescrita na forma:

$$\begin{aligned} \mu_{R^l}(x, y) &= \mu_{A^l \rightarrow G^l}(x, y) = \mu_{F_1^l \times \dots \times F_p^l \rightarrow G^l}(x_1, \dots, x_p, y) \\ &= \mu_{F_1^l \times \dots \times F_p^l}(x) \star \mu_{G^l}(y) \\ &= \mu_{F_1^l}(x_1) \star \dots \star \mu_{F_p^l}(x_p) \star \mu_{G^l}(y) \\ &= [T_{m=1}^p \mu_{F_m^l}(x_m)] \star \mu_{G^l}(y) \end{aligned} \quad (56)$$

Onde  $T$  e  $\star$  são a representação do operador *t-norma* que podem ser mínimo ou produto. A entrada da  $R^l$  é dada pelo conjunto *fuzzy*  $A_x$  cuja função de pertinência é dada por:

$$\mu_{A_x}(x) = \mu_{X_1}(x_1) \star \dots \star \mu_{X_p}(x_p) = T_{m=1}^p \mu_{X_m}(x_m) \quad (57)$$

Cada regra  $R^l$  determina o conjunto *fuzzy* dado por  $B^l = A_x \circ R^l$  pertencente ao espaço  $Y$ . Utilizando-se a composição *sup-star* proposta por Zadeh [5], tem-se:

$$\mu_{B^l}(y) = \mu_{A_x \circ R^l}(y) = \sup_{x \in X} [\mu_{A_x}(x) \star \mu_{A^l \rightarrow G^l}(x, y)] \quad (58)$$

Substituindo as equações (56) e (57) na equação (58), tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{B^l}(y) &= \sup_{x \in X} [\mu_{A_x}(x) \star \mu_{A^l \rightarrow G^l}(x, y)] \\ &= \sup_{x \in X} \{ [T_{m=1}^p \mu_{X_m}(x_m) \star \mu_{F_m^l}(x_m)] \star \mu_{G^l}(y) \} \\ &= \mu_{G^l}(y) \star [ \sup_{x \in X} \mu_{X_1}(x_1) \star \mu_{F_1^l}(x_1) \star \dots \\ &\quad \dots \star [ \sup_{x \in X} \mu_{X_p}(x_p) \star \mu_{F_p^l}(x_p) ] ] \end{aligned} \quad (59)$$

Para fuzzificação *singleton*, a equação (59) é reescrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \mu_{B^l}(y) &= \mu_{G^l}(y) \star [ \sup_{x \in X} \mu_{X_1}(x_1) \star \mu_{F_1^l}(x_1) ] \star \dots \\ &\quad \star [ \sup_{x \in X} \mu_{X_p}(x_p) \star \mu_{F_p^l}(x_p) ] \\ &= \mu_{G^l}(y) \star \{ [ 1 \star \mu_{F_1^l}(x_1') ] \star \dots \star [ 1 \star \mu_{F_p^l}(x_p') ] \} \\ &= \mu_{G^l}(y) \star [ \mu_{F_1^l}(x_1') \star \dots \star \mu_{F_p^l}(x_p') ] \end{aligned} \quad (60)$$

Onde  $\star$  é o operador *t-norma*, que pode ser mínimo (Mamdani) ou produto (Larsen).

Este trabalho apresenta somente os métodos de inferência proposto por Mamdani e Larsen. Entretanto, existem outros métodos de inferência, tais como: o Tsukamoto e Takagi-Sugeno, que podem ser encontrado nas seguintes referências [5, 19]

## Exemplo

A seguir, será apresentado um exemplo do cálculo de um sistema de lógica *fuzzy* composto de duas regras ( $l_1$  e  $l_2$ ), com dois antecedentes e um conseqüente cada um, realizado de acordo com a equação (60).

Primeiro é feito o cálculo do grau de ativação da regra ( $\mu^l$ ): O operador *t-norma*  $\star$  entre a entrada fuzzificada e os antecedentes da regra  $[ \mu_{F_1^l}(x_1') \star \dots \star \mu_{F_p^l}(x_p') ]$ . O operador *t-norma* pode ser mínimo também conhecido por Mamdani (equação 61), ou produto também conhecido por Larsen (equação 62):

$$\mu^l = \mu_{F_1^l}(x_1') \star \mu_{F_2^l}(x_2') = \min [ \mu_{F_1^l}(x_1'), \mu_{F_2^l}(x_2') ] \quad (61)$$

$$\mu^l = \mu_{F_1^l}(x_1') \star \mu_{F_2^l}(x_2') = \mu_{F_1^l}(x_1') \times \mu_{F_2^l}(x_2') \quad (62)$$

Em seguida, é feito o cálculo de  $\mu_{B^l}(y)$  utilizando o operador *t-norma*  $\star$  entre grau de ativação resultante da regra ( $\mu^l$ ) e a pertinência do conseqüente da mesma regra  $\mu_{G^l}(y)$ ,  $[\mu_{G^l}(y) \star [\mu_{F_1^l}(x'_1) \star \dots \star \mu_{F_p^l}(x'_p)]]$ , para todos os  $y \in Y$ . Obtendo-se, assim, para  $\mu_{B^l}(y)$  uma função de pertinência ceifada, quando o operador de *t-norma* mínimo for utilizado (Figura 14), ou uma função de pertinência minimizada, quando o operador de *t-norma* produto é utilizado (Figura 15). A função resultante é obtida utilizando o operador *t-conorma*  $\vee$  (máximo), representado pela equação (63).

$$B = B^1 \vee B^2 \vee \dots \vee B^M = \bigcup_{l=1}^M B^l \quad (63)$$

#### D. Bloco defuzificador

O bloco defuzificador gera a saída *crisp* (real) a partir da saída do bloco de inferência. Existem vários métodos de

defuzificação [23], dentre os quais serão citados os métodos mais utilizados.

O método de defuzificação centro de área (Figura 15), também conhecido como centróide, é o método de defuzificação mais conhecido [23]. No caso discreto, o resultado é obtido pela equação (64).

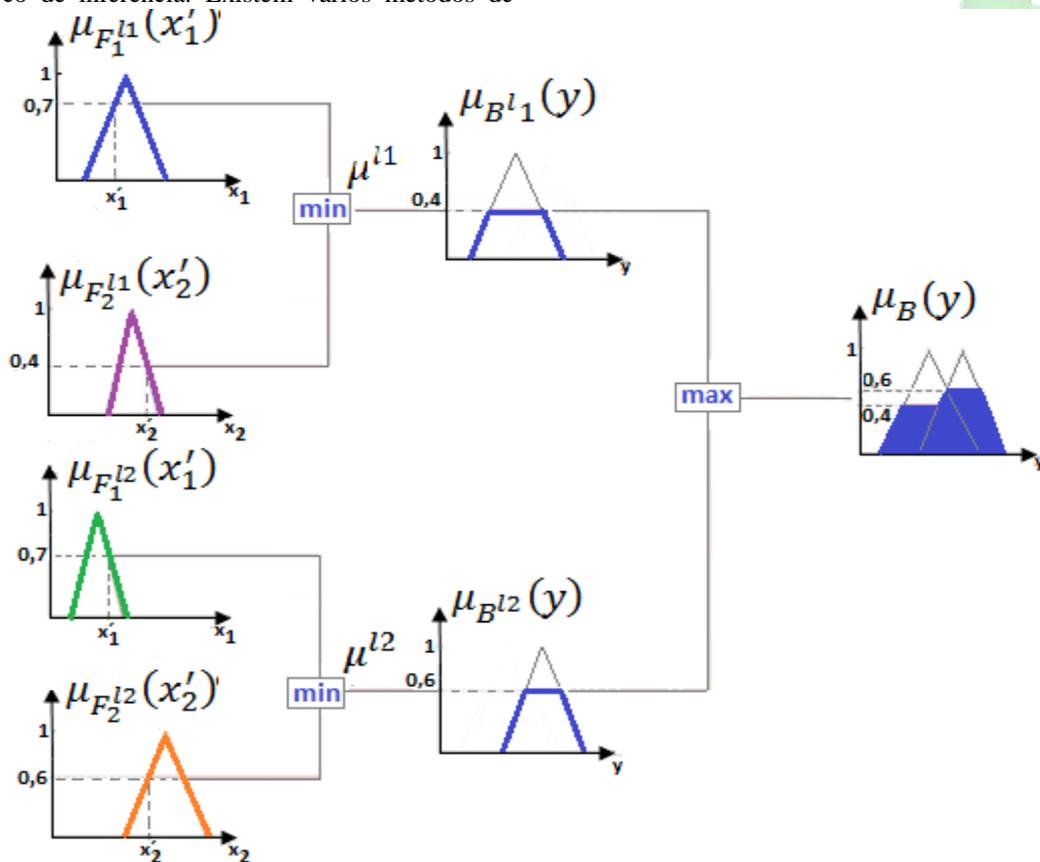


Figura 14. Sistema de Inferência Fuzzy Mamdani .

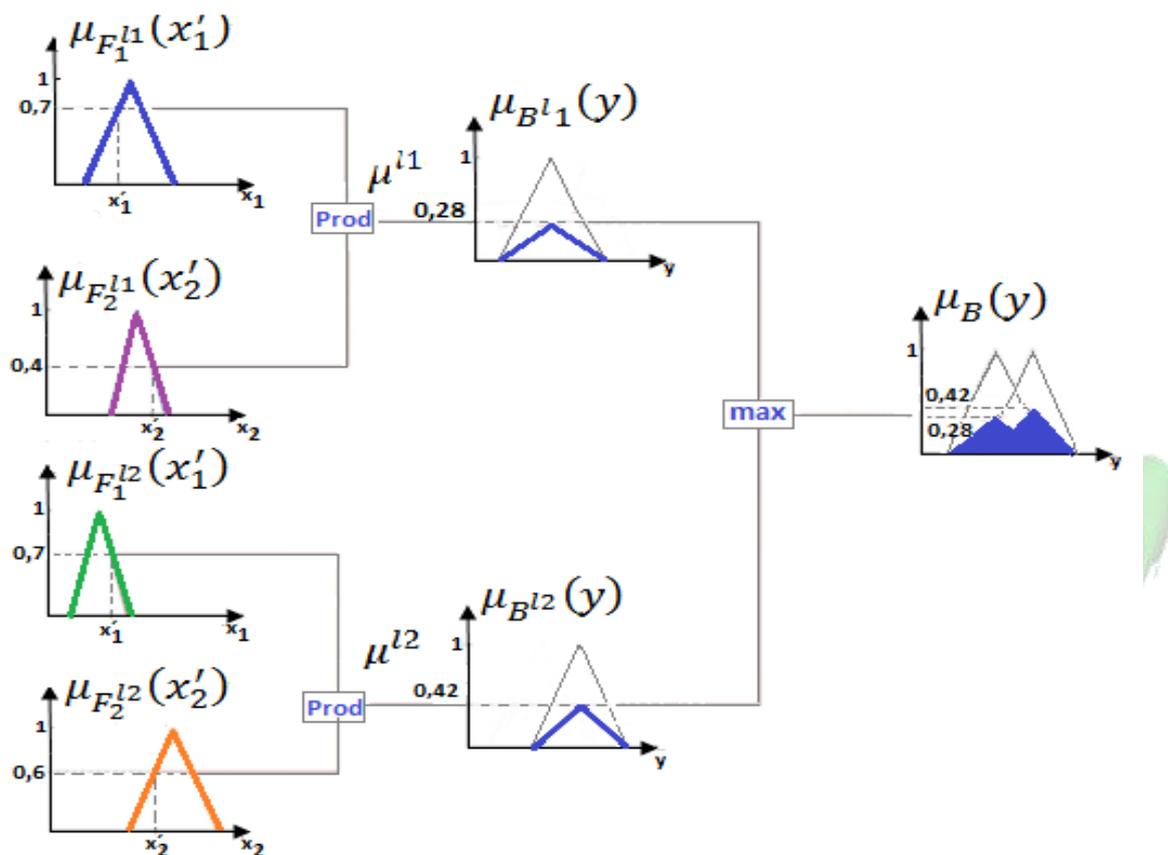


Figura 15. Sistema de Inferência Fuzzy Larsen.

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \mu_U(u_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_U(u_i)} \quad (64)$$

Onde  $N$  é o número de pontos. No caso contínuo, obtém-se:

$$u^* = \frac{\int_u u \cdot \mu_U(u) du}{\int_u \mu_U(u) du} \quad (65)$$

Onde  $u$  é grau de ativação da regra fuzzy e  $\mu_U$  é a união da área das funções de pertinência de saída.

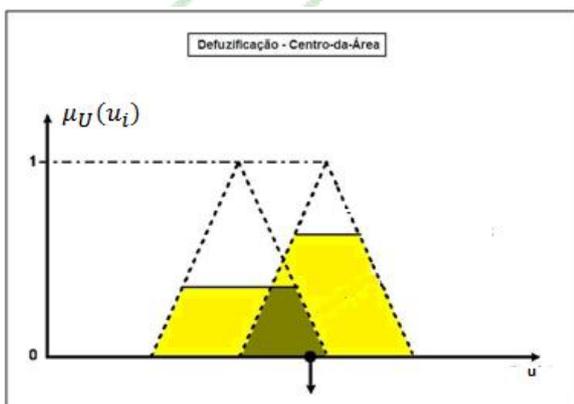


Figura 15. Método de defuzzificação centro de área [23].

O critério de defuzzificação denominado método da altura [21] utiliza a soma ponderada do valor máximo (altura) de todas as funções de pertinência associadas com os termos das conclusões das regras, conforme ilustra a Figura 16. Neste método, nem a base nem o formato da função de pertinência são considerados para o cálculo do valor final defuzzificado. Seja  $c^{(i)}$  a posição da altura máxima da função de pertinência associada à conclusão,  $f_i$  o valor máximo desta função e  $m$  o número de funções de pertinência [23], pode-se representar matematicamente o método de defuzzificação altura na seguinte forma:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^M c^{(i)} f_i}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (66)$$

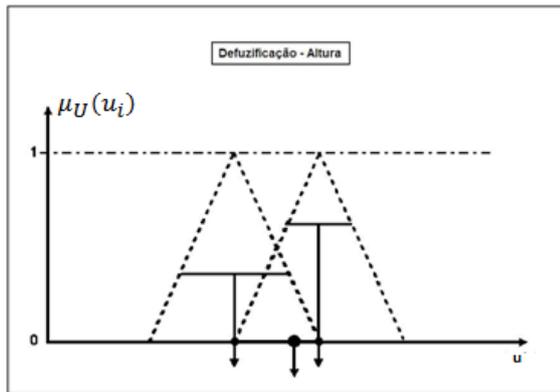


Figura 16. Método de defuzzificação da altura [23].

O método de defuzzificação denominado centro da soma utiliza a soma de todas as funções de pertinência associadas com os termos das conclusões das regras para obter o valor defuzzificado. Neste método, a área de cada função de pertinência resultante é considerada individualmente no processo. A Figura 17 apresenta o método centro da soma na forma gráfica. No caso discreto o método centro de soma é formalmente dado por:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^l u_i \sum_{k=1}^N \mu_{u(k)}(u_i)}{\sum_{i=1}^l \sum_{k=1}^N \mu_{u(k)}(u_i)} \quad (67)$$

No caso contínuo, obtém-se:

$$u^* = \frac{\int u_i \sum_{k=1}^N \mu_{u(k)}(u) du}{\int \sum_{k=1}^N \mu_{u(k)}(u) du} \quad (68)$$

Onde  $\mu_{u(k)}$  é a área de cada da função de pertinência de saída e  $u_i$  é o grau de ativação da respectiva regra fuzzy armazenada na base de regras existente no sistema.

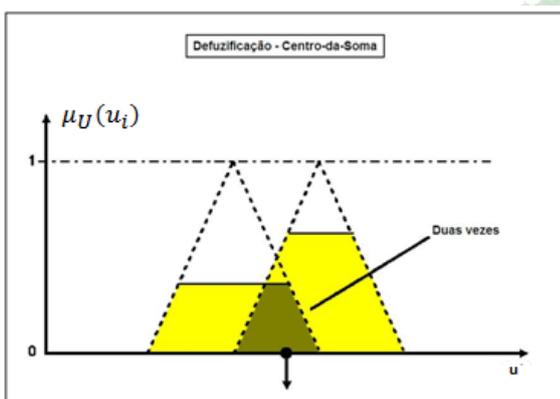


Figura 17. Método de defuzzificação centro da soma [23].

No método de defuzzificação centro-dos-conjuntos, apresentado na Figura 18 [11], o conseqüente de cada regra é substituído por um singleton situado no seu centróide. Em seguida, o centróide do conjunto de tipo-1, composto por destes singletons, é encontrado. A equação (69) apresenta o cálculo do centróide:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^M c^i T_{i=1}^P \mu_{U_i}(x_i)}{\sum_{i=1}^M T_{i=1}^P \mu_{U_i}(x_i)} \quad (69)$$

Onde, T indica o t-norma escolhido,  $c^i$  é o centróide dos l conjuntos conseqüentes e  $\mu^i$  = grau de ativação de cada uma das M regras.

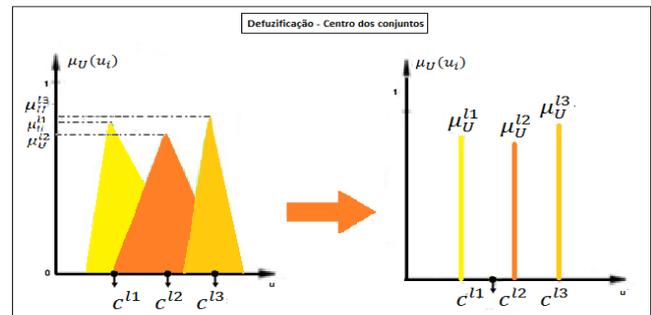


Figura 18. Método de defuzzificação centro dos conjuntos.

## VI. SISTEMA DE INFERÊNCIA FUZZY TIPO-2

O diagrama em blocos do sistema de inferência fuzzy tipo-2, também denominado de controlador fuzzy tipo-2, é apresentado na Figura 19. O Sistema de Inferência Fuzzy (SIF) tipo-2 é composto por cinco componentes [5, 15, 24]: fuzzificador, inferência, base de regras, tipo-reductor e defuzzificador. Este sistema é composto por, no mínimo, um conjunto fuzzy tipo-2 presente em um dos antecedentes ou no conseqüente que compõem uma das M regras que formam o sistema. A descrição de cada bloco do sistema fuzzy tipo-2 é apresentada a seguir:

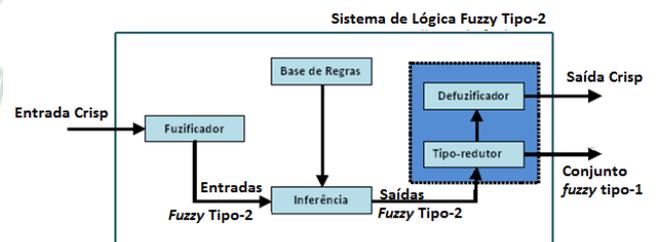


Figura 19. Sistema de Inferência fuzzy tipo-2.

### A. Fuzzificador

O bloco fuzzificador transforma as entradas crisp  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_p)$  do SIF tipo-2 em conjuntos fuzzy tipo-2 [5], presente no universo  $\mathbf{X} \equiv X_1 \times X_2 \times \dots \times X_p$ . Assim como no controlador fuzzy tipo-1, o fuzzificador pode ser singleton (Figura 13b) e não-singleton (Figura 13c). Neste trabalho, será apresentado o SIF tipo-2 singleton, pois é mais utilizado que o não-singleton. Quando  $X$  é um conjunto fuzzy tipo-2 singleton, a função de pertinência  $\mu_{\tilde{X}}(x)$  é dada por:  $\mu_{\tilde{X}}(x) = 1/1$  para  $x = x'$  e  $\mu_{\tilde{X}}(x) = 1/0$  para  $x \neq x'$ .

### B. Base de Regras

A base de regras do sistema de inferência fuzzy tipo-2 permanece a mesma do tipo-1. A diferença entre o SIF tipo-

1 e tipo-2 está na natureza das funções de pertinência. Para o SIF tipo-2 é feita a mesma consideração dos SIF tipo-1.

A base de regras é composta por  $M$  regras,  $p$  entradas, sendo  $x_1 \in X_1, \dots, x_p \in X_p$ , e uma saída  $y \in Y$ . A  $l$ -ésima regra é representada a seguir:

$$R^l: SE x_1 \in \tilde{F}_1^l e \dots e x_p \in \tilde{F}_p^l, ENTÃO y \in \tilde{G}^l \quad (70)$$

onde  $l = 1, 2, \dots, M$ .

### C. Inferência

O bloco de inferência realiza o cálculo do sistema *fuzzy* tipo-2 com base no bloco de regras, a partir de conjuntos *fuzzy* tipo-2 nos antecedentes e consequentes. Seja  $\tilde{F}_1^l \times \tilde{F}_2^l \times \dots \times \tilde{F}_p^l = \tilde{A}^l$ , com  $l = 1, 2, \dots, M$ , pode-se representar a equação (70) na forma:

$$R^l: \tilde{F}_1^l \times \tilde{F}_2^l \times \dots \times \tilde{F}_p^l \rightarrow \tilde{G}^l = \tilde{A}^l \rightarrow \tilde{B}^l \quad (71)$$

A função de pertinência  $\mu_{R^l}(x)$ , pode ser representada na forma:

$$\mu_{R^l}(x, y) = \mu_{R^l}(x_1, x_2, \dots, x_p, y) = \mu_{\tilde{A}^l \rightarrow \tilde{G}^l}(x, y) \quad (72)$$

De acordo com Mendel [5], tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{R^l}(x, y) &= \mu_{\tilde{F}_1^l \times \tilde{F}_2^l \times \dots \times \tilde{F}_p^l \rightarrow \tilde{G}^l}(x, y) \\ &= \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_2^l}(x_2) \cap \dots \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \cap \mu_{\tilde{G}^l}(y) \\ &= \left[ \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{F}_i^l}(x_i) \right] \cap \mu_{\tilde{G}^l}(y) \end{aligned} \quad (73)$$

Onde  $\cap$  é o operador *meet* (podendo-se utilizar o operador *t-norma* mínimo ou produto) e  $p$  o número de variáveis de entrada.

A função de pertinência do conjunto *fuzzy* tipo-2  $\tilde{B}^l$ , dada pela entrada *p-dimensional* da regra  $R^l$ , é representada por:

$$\mu_{\tilde{A}^l}(x) = \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \cap \dots \cap \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) = \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{X}_i}(x_i) \quad (74)$$

Onde  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_p$  representam os conjuntos *fuzzy* tipo-2 das entradas  $x_1, x_2, \dots, x_p$ , respectivamente.

Cada regra  $R^l$  determina o conjunto *fuzzy* tipo-2 dado por  $\tilde{B}^l = \tilde{A}^l \circ R^l$ . Desta forma, para o SIF tipo-2, a função de pertinência  $\mu_{\tilde{B}^l}(y)$  é dada por:

$$\mu_{\tilde{B}^l}(y) = \mu_{\tilde{A}^l \circ R^l}(y) = \sqcup_{x \in X} [\mu_{\tilde{A}^l}(x) \cap \mu_{R^l}(x, y)] \quad (75)$$

Onde  $\sqcup$  é o operador *join* (podendo utilizar o operador *t-conorma* máximo) e  $\cap$  é o operador *meet* (podendo utilizar o operador *t-norma* mínimo ou produto)

Substituindo as equações (73) e (74) na equação (75), tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \sqcup_{x \in X} [\mu_{\tilde{A}^l}(x) \cap \mu_{R^l}(x, y)] \\ &= \sqcup_{x \in X} \left\{ \left[ \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{X}_i}(x_i) \right] \cap \left[ \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{F}_i^l}(x_i) \right] \cap \mu_{\tilde{G}^l}(y) \right\} \\ &= \sqcup_{x \in X} \left\{ \left[ \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{X}_i}(x_i) \cap \mu_{\tilde{F}_i^l}(x_i) \right] \cap \mu_{\tilde{G}^l}(y) \right\} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \left[ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \cap \dots \right. \\ &\quad \left. \dots \cap \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] \right\} \end{aligned} \quad (76)$$

- Sistema de Inferência Fuzzy tipo-2 Singleton

Quando  $\tilde{X}_i$  é um conjunto *fuzzy* tipo-2 *singleton*, a equação (75) é simplificada, pois  $\mu_{\tilde{X}_i}(x_i)$  é zero em todo o seu domínio ( $\mu_{\tilde{X}_i}(x_i) = 1/0$ , exceto no ponto  $x_i = x'_i$  onde a função de pertinência é dada por  $\mu_{\tilde{X}_i}(x'_i) = 1/1$ . Desta forma, tem-se:

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}^l}(y) &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \left[ \sqcup_{x_1 \in X_1} \mu_{\tilde{X}_1}(x_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x_1) \right] \cap \dots \right. \\ &\quad \left. \dots \cap \left[ \sqcup_{x_p \in X_p} \mu_{\tilde{X}_p}(x_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x_p) \right] \right\} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \left[ \mu_{\tilde{X}_1}(x'_1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \right] \cap \dots \right. \\ &\quad \left. \dots \cap \left[ \mu_{\tilde{X}_p}(x'_p) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \right] \right\} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \left[ (1/1) \cap \mu_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \right] \cap \dots \right. \\ &\quad \left. \dots \cap \left[ (1/1) \cap \mu_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \right] \right\} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left\{ \left[ \mu_{\tilde{F}_1^l}(x'_1) \right] \cap \dots \cap \left[ \mu_{\tilde{F}_p^l}(x'_p) \right] \right\} \\ &= \mu_{\tilde{G}^l}(y) \cap \left[ \prod_{i=1}^p \mu_{\tilde{F}_i^l}(x'_i) \right] \end{aligned} \quad (77)$$

Onde  $\cap$  é o operador *meet* (que pode utilizar tanto o operador *t-norma* mínimo quanto o produto).

Este trabalho apresenta somente os métodos de inferência tipo-2 proposto por Mamdani e Larsen. Entretanto, existem outros métodos de inferência, que podem ser encontrado na seguinte referência [5].

A implementação do sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 requer grande complexidade computacional, pois a operação *meet* é executada a cada regra ativa. Além disso, a execução do processo tipo-reductor é bastante complexo computacionalmente [25].

A complexidade computacional pode ser reduzida significativamente quando os sistemas de inferência *fuzzy* tipo-2 intervalares são utilizados, pois o grau de pertinência secundário do SIF tipo-2 intervalar é uniforme. Desta forma, o cálculo das operações *meet*, *join* e a operação tipo-reductor são simplificados.

- Sistema de Inferência Fuzzy tipo-2 Intervalar

No sistema de inferência fuzzy tipo-2 intervalar com entradas singleton, o resultado das operações de entrada e dos antecedentes é um conjunto fuzzy tipo-1 intervalar contido no conjunto ativado [5, 25], dado por:

$$\prod_{i=1}^p \mu_{\mu_i^l}(x_i') \equiv F^l(x') = [f^l(x'), \bar{f}^l(x')] \equiv [f^l, \bar{f}^l] \quad (78)$$

Onde  $f^l$  e  $\bar{f}^l$  são representados por:

$$f^l(x') = \mu_{\mu_1^l}(x_1') \star \mu_{\mu_2^l}(x_2') \star \dots \star \mu_{\mu_p^l}(x_p') \quad (79)$$

$$\bar{f}^l(x') = \bar{\mu}_{\mu_1^l}(x_1') \star \bar{\mu}_{\mu_2^l}(x_2') \star \dots \star \bar{\mu}_{\mu_p^l}(x_p') \quad (80)$$

Onde  $\star$  é o operador *t-norma*, que pode ser mínimo (Mamdani) ou produto (Larsen),  $F^l(x)$  é o conjunto intervalar ativado,  $f^l(x)$  é grau de ativação inferior resultante da operação de entrada e antecedente da regra,  $\bar{f}^l(x)$  é grau de ativação superior resultante da operação de entrada e antecedente da regra,  $\mu_{\mu_i^l}(x)$  é o grau de pertinência de  $x$  na função de pertinência inferior e  $\bar{\mu}_{\mu_i^l}(x)$  é o grau de pertinência de  $x$  na função de pertinência superior.

O conjunto conseqüente de saída referente a *l-ésima* regra ativada  $\mu_{\mu^l}$  das equações (22) e (77), é um conjunto fuzzy tipo-1 intervalar dado por:

$$\mu_{\mu^l}(y) = \int_{b^l \in [f^l \star \mu_{\mu^l}(y), \bar{f}^l \star \mu_{\mu^l}(y)]} 1/b^l \quad (81)$$

Onde:

$\bar{\mu}_{\mu^l}(y)$  representa o grau de pertinência superior de  $\mu_{\mu^l}(y)$ ,

$\mu_{\mu^l}(y)$  representa o grau de pertinência inferior de  $\mu_{\mu^l}(y)$ ,

$$b^l = f^l \star \mu_{\mu^l}(y),$$

$$\bar{b}^l = \bar{f}^l \star \mu_{\mu^l}(y).$$

Admitindo que  $N$  das  $M$  regras presentes em um SIF tipo-2 intervalar estão ativas, com  $N \leq M$ , e que os conjuntos fuzzy tipo-1 intervalares de saída  $\mu_{\mu^l}(y)$  são obtidos combinando os conjuntos de saída conseqüente ativos  $\mu_{\mu^l}(y)$ , com  $y \in Y$ , é dado por:

$$\mu_{\mu^l}(y) = \bigvee_{i=1}^N \mu_{\mu^l}(y) \quad (82)$$

$$\bar{\mu}_{\mu^l}(y) = \int_{b^l \in [f^l \star \mu_{\mu^l}(y), \bar{f}^l \star \mu_{\mu^l}(y)]} 1/b^l$$

Onde,  $\bigvee$  é o operador *t-conorma* máximo, e  $\star$  é o operador *t-norma* mínimo ou produto.

A prova da equação (82) será apresentada a seguir. De acordo com as equações (77) e (78), tem-se:

$$\mu_{\mu^l}(y) = \mu_{\mu^l}(y) \cap [f^l, \bar{f}^l] \equiv [b^l, \bar{b}^l] \quad (83)$$

onde:  $f^l(x') = \mu_{\mu_1^l}(x_1') \star \dots \star \mu_{\mu_p^l}(x_p')$ ,

$$\bar{f}^l(x') = \bar{\mu}_{\mu_1^l}(x_1') \star \dots \star \bar{\mu}_{\mu_p^l}(x_p'),$$

$$b^l = f^l \star \mu_{\mu^l}(y) \text{ e}$$

$$\bar{b}^l = \bar{f}^l \star \mu_{\mu^l}(y).$$

Utilizando as equações (82) e (83), tem-se:

$$\mu_{\mu^l}(y) = \bigvee_{i=1}^N \mu_{\mu^l}(y) = \bigvee_{i=1}^N [b^l(y), \bar{b}^l(y)] \quad (84)$$

$$\mu_{\mu^l}(y) \equiv [b(y), \bar{b}(y)]$$

Onde:  $b(y) = b^1(y) \vee b^2(y) \vee \dots \vee b^N(y)$  e

$$\bar{b}(y) = \bar{b}^1(y) \vee \bar{b}^2(y) \vee \dots \vee \bar{b}^N(y).$$

### Exemplo

As Figuras 20 e 21 apresentam um exemplo de operação do SIF tipo-2 intervalar com entradas singleton para os operadores de *t-norma* mínimo e produto, respectivamente. A operação do SIF tipo-2 intervalar é composta de duas regras (  $l_1$  e  $l_2$  ), com dois antecedentes e um conseqüente cada uma é realizada de acordo com as equações (82), (83) e (84).

Primeiro é feito o cálculo do grau de ativação superior e inferior da regra (  $l_1$  e  $l_2$  ). A função de pertinência superior (  $\bar{\mu}_{\mu_1^l}(x)$  ) e inferior (  $\mu_{\mu_1^l}(x)$  ) em  $x_1'$  são obtidas por meio da interseção entre a linha vertical do antecedente  $x_1'$  com a função de pertinência superior  $\bar{\mu}_{\mu_1^l}(x)$  e inferior  $\mu_{\mu_1^l}(x)$ , respectivamente. As funções de pertinência de  $x_2$  e da regra são obtidas da mesma forma. Os graus de ativação superior e inferior da regra (  $l_1$  e  $l_2$  ) são obtidos com o operador *t-norma* entre a entrada fuzificada e os antecedentes da regra superior  $\bar{f}^l(x') = \bar{\mu}_{\mu_1^l}(x_1') \star \bar{\mu}_{\mu_2^l}(x_2)$  e inferior  $f^l(x') = \mu_{\mu_1^l}(x_1') \star \mu_{\mu_2^l}(x_2)$ . O operador *t-norma* pode ser mínimo (também conhecido por Mamdani), como pode ser visto nas equações (85) e (86) para o grau de ativação inferior e superior, respectivamente:

$$f^l(x') = \mu_{\mu_1^l}(x_1') \star \mu_{\mu_2^l}(x_2) = \min [\mu_{\mu_1^l}(x_1'), \mu_{\mu_2^l}(x_2)] \quad (85)$$

$$\bar{f}^l(x') = \bar{\mu}_{\mu_1^l}(x_1') \star \bar{\mu}_{\mu_2^l}(x_2) = \min [\bar{\mu}_{\mu_1^l}(x_1'), \bar{\mu}_{\mu_2^l}(x_2)] \quad (86)$$

Entretanto, o operador *t-norma* produto, também conhecido por Larsen, como pode ser visto nas equações (87) e (88), para o grau de ativação inferior e superior, respectivamente:

$$\underline{f}^i(x') = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) \star \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x'_2) = \underline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) \times \underline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x'_2) \quad (87)$$

$$\overline{f}^i(x') = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) \star \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x'_2) = \overline{\mu}_{\tilde{F}_1^i}(x'_1) \times \overline{\mu}_{\tilde{F}_2^i}(x'_2) \quad (88)$$

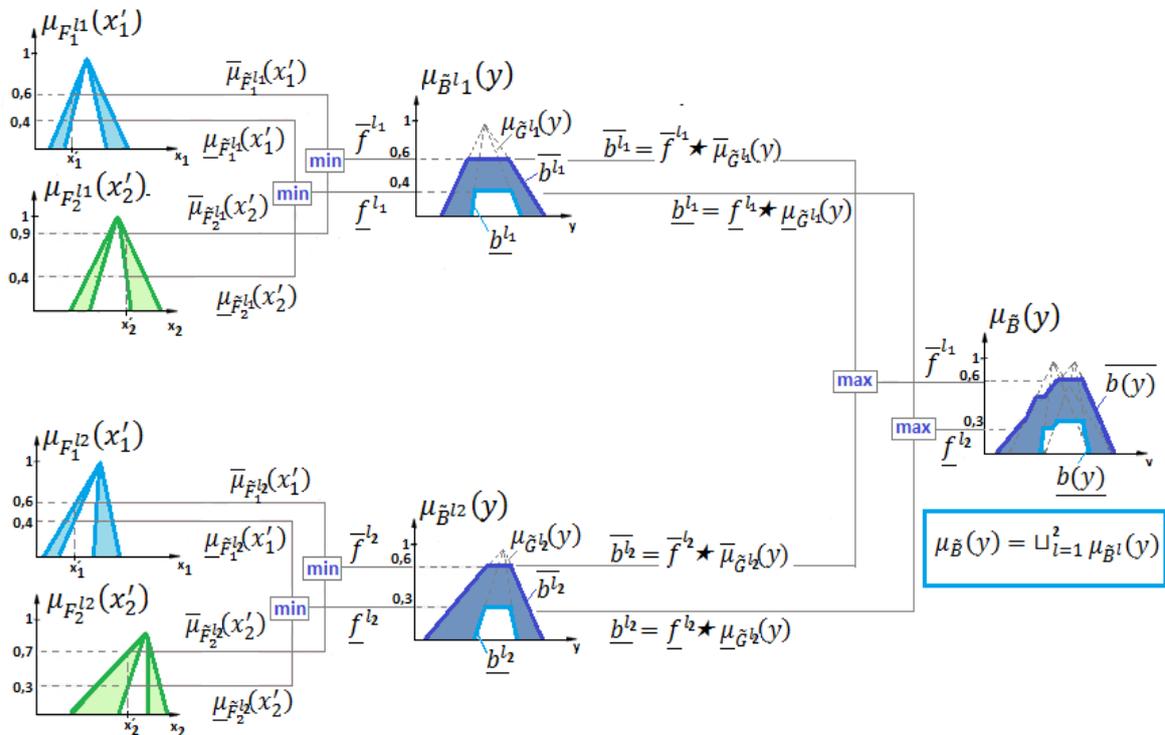


Figura 20. SIF tipo-2 intervalar utilizando o operador *t-norma* mínimo (Mamdani).

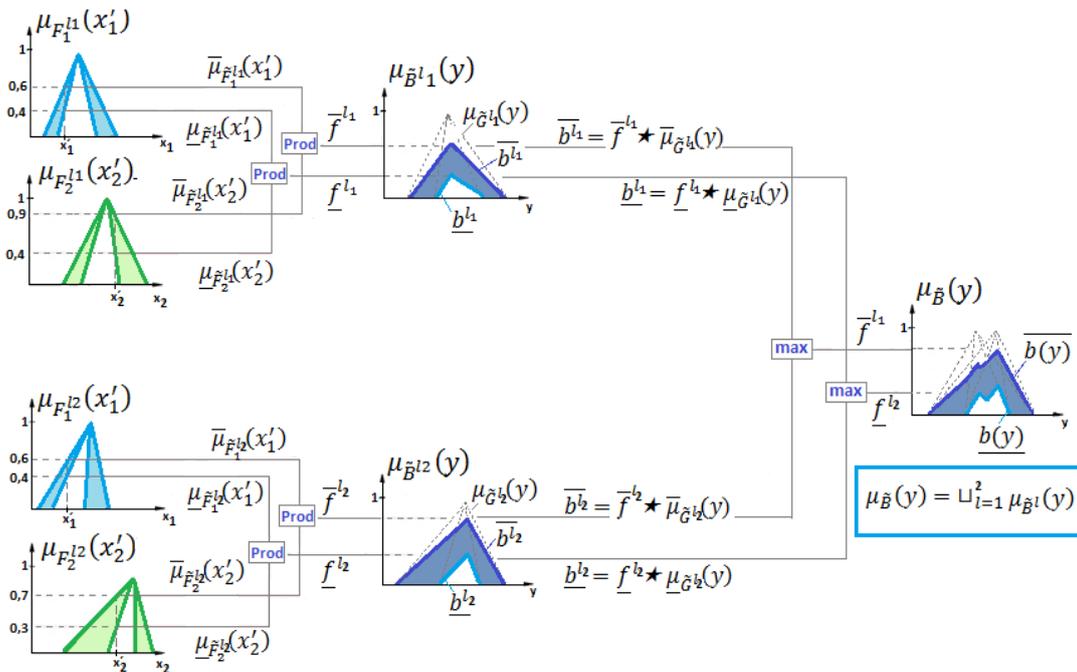


Figura 21. SIF tipo-2 intervalar utilizando o operador *t-norma* produto (Larsen).

Em seguida, é feito o cálculo de  $\mu_{\tilde{B}}^l$  utilizando o operador *t-norma* entre grau de ativação superior resultantes da regra (  $\tilde{y}$  ) e a função de pertinência do superior do conseqüente da mesma regra  $\overline{\mu_{\tilde{B}}^l}$ , [  $\overline{b^l} = \overline{f^l} \star \overline{\mu_{\tilde{B}}^l}$  ], para todos os  $y \in Y$ .

E o cálculo da curva inferior é obtido da mesma forma, utilizando o operador *t-norma* entre grau de ativação inferior (  $f^l(x')$  e a função de pertinência inferior do conseqüente da regra  $\mu_{\tilde{B}}^l$ , [  $b^l = f^l \star \mu_{\tilde{B}}^l$  ], para todos os  $y \in Y$ . Obtendo-se assim, para  $\mu_{\tilde{B}}^l$  funções de pertinência superior e inferior ceifadas, quando o operador de *t-norma* mínimo é utilizado (Figura 20), ou uma funções de pertinência superior e inferior minimizadas, quando o operador de *t-norma* produto é utilizado (Figura 21). A função resultante é obtida, utilizando o operador *t-conorma*  $\vee$  (máximo), representado pela equação (89).

$$\begin{aligned} \mu_{\tilde{B}}(y) &= \sqcup_{i=1}^N [b^i(y), \overline{b^i}(y)] \\ &\equiv [b(y), \overline{b}(y)] \\ &= [b^1(y) \vee b^2(y), \overline{b^1}(y) \vee \overline{b^2}(y)] \quad (89) \end{aligned}$$

#### D. Tipo-redutor

O bloco tipo-redutor tem função de transformar um conjunto *fuzzy* tipo-2 em conjunto *fuzzy* tipo-1 [5, 10, 11, 26]; ou seja, procura o melhor conjunto *fuzzy* tipo-1 que representa o conjunto *fuzzy* tipo-2 e que deve satisfazer a seguinte premissa:

*Quando toda a incerteza desaparecer, o resultado do sistema de lógica fuzzy tipo-2 é reduzido em um sistema de lógica fuzzy tipo-1 [5].*

O tipo-redutor é obtido, aplicando-se o princípio da extensão proposto por Zadeh na defuzificação dos conjuntos tipo-1. Desta forma, existe um método de tipo-redutor equivalente para cada método de defuzificação. Neste trabalho foram apresentados os principais métodos de tipo-redutor: centróide, centro dos conjuntos e altura.

O cálculo do tipo-redutor centro de área (centróide) é obtido estendendo a operação de defuzificação centróide, dada pela equação (64), a partir do princípio da extensão dado pela equação (37). O tipo-redutor centro de área

$Y_{CA}$ , calcula o centro de área do conjunto *fuzzy* tipo-2, e pode ser representado na forma:

$$Y_{CA}(x) = [y_l, y_r] = \int_{y_1 \in D_1} \dots \int_{y_N \in D_N} [\mu_{D_1}(y_1) \star \dots \star \mu_{D_N}(y_N)] / \frac{\sum_{i=1}^N f_i y_i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (90)$$

onde  $D_i = \mu_{\tilde{B}}(y)$  e  $f_i \in \mu_{\tilde{B}}(y)$  com  $i = 1, 2, \dots, N$ .

Para conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares com entradas *singleton*, o cálculo do tipo-redutor apresentado na equação (89) é simplificada, pois o grau de pertinência secundário é

unitário.

$$Y_{CA}(x) = [y_l, y_r] = \int_{y_1 \in D_1} \dots \int_{y_N \in D_N} 1 / \frac{\sum_{i=1}^N f_i y_i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (91)$$

Onde  $\mu_{\tilde{B}}^i$  com  $i = 1, 2, \dots$ , e são os graus de pertinência superior e inferior e  $y_l$  e  $y_r$  são os pontos esquerdo e direito do centróide do conseqüente da regra.

O método tipo-redutor da Altura é obtido estendendo a equação (66) a partir do princípio da extensão. A expressão para o tipo-redutor Altura  $Y_h$  pode ser calculada da seguinte forma:

$$Y_h(x) = \int_{y_1 \in D_1} \dots \int_{y_N \in D_N} [\mu_{D_1}(y_1) \star \dots \star \mu_{D_N}(y_N)] / \frac{\sum_{i=1}^N f_i \overline{y^i}}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (92)$$

onde  $D_i = \mu_{\tilde{B}}(y)$  e  $\overline{y^i} \in \mu_{\tilde{B}}(y)$  com  $i = 1, 2, \dots$ .

Para conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares com entradas *singleton*, a equação (92) pode ser simplificada:

$$Y_h(x) = [y_l, y_r] = \int_{y_1 \in D_1} \dots \int_{y_N \in D_N} 1 / \frac{\sum_{i=1}^N f_i \overline{y^i}}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (93)$$

onde  $\mu_{\tilde{B}}^i$  com  $i = 1, 2, \dots$ . E  $y_l$  e  $y_r$  são os graus de ativação superior e inferior. e  $y_l$  e  $y_r$  são os pontos esquerdo e direito do centróide do conseqüente da regra.

No método tipo-redutor Centro dos conjuntos, captura-se o valor do centróide de cada um dos conseqüentes, representado pelo conjunto *fuzzy* tipo-1  $C$ , e o nível de ativação dado pelo conjunto *fuzzy* tipo-1  $\prod_{i=1}^p \mu_{F_i}(y)$ . O cálculo do tipo-redutor Centro dos conjuntos é obtido estendendo a equação (67) a partir do princípio de extensão:

$$Y_{COS}(x)$$

$$\int_{y_1 \in C_1} \dots \int_{y_M \in C_M} \int_{f_1 \in F_1} \dots \int_{f_N \in F_N} [\prod_{i=1}^p \mu_{F_i}(y) \star \prod_{i=1}^M \mu_{C_i}(f_i)] / \frac{\sum_{i=1}^M f_i y_i}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (94)$$

Para conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares com entradas *singleton* o conjunto tipo-reduzido é um conjunto intervalar dado por  $[y_l, y_r]$ . A saída do processo de redução de tipo centro dos conjuntos  $Y_{cos}$ , é dada por:

$$\begin{aligned} Y_{COS}(x) &= [y_l, y_r] = \\ &= \int_{y_1 \in D_1} \dots \int_{y_M \in D_M} \int_{f_1 \in [f_1^l, f_1^r]} \dots \int_{f_M \in [f_M^l, f_M^r]} 1 / \frac{\sum_{i=1}^M f_i y_i}{\sum_{i=1}^M f_i} \quad (95) \end{aligned}$$

onde  $y_l$  e  $y_r$  são a soma do grau de pertinência superior e inferior e  $y_l$  e  $y_r$  são os pontos esquerdo e direito do centróide do conseqüente da regra.

Em geral, não existe uma forma fechada para determinar  $y_l$  e  $y_r$  [18]. Entretanto, Karnik e Mendel desenvolveram dois algoritmos para calcular exatamente os valores de  $y_l$  e  $y_r$

. Estes algoritmos podem ser executados em paralelo e são monotonicamente e exponencialmente convergentes [18].

*-Algoritmo KM*

Os valores de  $y_l$  e  $y_r$  podem ser calculados utilizando o método iterativo proposto por Karnik e Mendel [5, 11, 26], conhecido como *Algoritmo KM* ou *método iterativo KM*. Este algoritmo é utilizado em todos os métodos de tipo-redutores com conjuntos *fuzzy* tipo-2 intervalares. A seguir, são apresentados os algoritmos KM para determinar  $y_l$  e  $y_r$ :

*Algoritmo KM para  $y_l$ :*

$$y_l = \min_{\theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l), \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l)]} \frac{\sum_{i=1}^N y_i^i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \quad (96)$$

1° passo: Inicialize cada  $\theta_i$  com:  $[\underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) + \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i)]/2$ ;

2° passo: Calcule  $c' = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$ ;

3° passo: Encontre o valor de  $k$  ( $k=1, \dots, N-1$ ), tal que  $y_k \leq c' \leq y_{k+1}$ ;

4° passo: Conjunto  $\theta_i = \begin{cases} \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) & i \leq k \\ \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) & i \geq k + 1 \end{cases}$

5° passo: Atribuir  $c'' \equiv c'$  no Passo 2 utilizando o valor de  $\theta_i$  do passo 4;

6° passo: Se  $c'' = c'$  então FIM, atribuir o valor  $c'' = L$ . Se não ir para o passo 7;

7° passo: Se  $c' = c''$ , ir para o passo 3.

*Algoritmo KM para  $y_r$ :*

$$y_r = \max_{\theta \in [\underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r), \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r)]} \frac{\sum_{i=1}^N y_i^i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i} \quad (97)$$

1° passo: Inicialize cada  $\theta_i$  como:  $[\underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) + \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i)]/2$ ;

2° passo: Calcule  $c' = \frac{\sum_{i=1}^N y_i^i \theta_i}{\sum_{i=1}^N \theta_i}$ ;

3° passo: Encontre o valor de  $k$  ( $k=1, \dots, N-1$ ), tal que  $y_k \leq c' \leq y_{k+1}$ ;

4° passo: Conjunto  $\theta_i = \begin{cases} \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) & i \geq k + 1 \\ \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_i) & i \leq k \end{cases}$

5° passo: Atribuir  $c'' \equiv c'$  no Passo 2 utilizando o valor de  $\theta_i$  do passo 4;

6° passo: Se  $c'' = c'$  FIM, atribuir o valor de  $c'' = R$ . Se não ir para o passo 7;

7° passo: Se  $c' = c''$ , ir para o passo 3.

Os algoritmos KM determinam os pontos de chaveamento da função de pertinência resultante  $\mu_{\tilde{B}}(y)$ , esquerda  $L$  e direita  $R$ . Uma vez determinados estes pontos, é possível determinar os valores de  $y_l$  e  $y_r$ .

$$y_l = y_l(L) = \frac{\sum_{i=1}^L y_i \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l) + \sum_{i=L+1}^N y_i \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l)}{\sum_{i=1}^L \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l) + \sum_{i=L+1}^N \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_l)} \quad (98)$$

$$y_r = y_r(R) = \frac{\sum_{i=1}^R y_i \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r) + \sum_{i=R+1}^N y_i \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r)}{\sum_{i=1}^R \overline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r) + \sum_{i=R+1}^N \underline{\mu}_{\tilde{B}}(\tilde{B}/y_r)} \quad (99)$$

O método iterativo KM calcula a redução do tipo exata; ou seja, determina o conjunto *fuzzy* tipo-1 exato.

Em 2002, Wu e Mendel apresentaram um método para aproximar o cálculo do tipo-reductor utilizando limites incertos, também conhecido como método WM dos limites incertos. Neste método o cálculo é realizado por meio de diversas expressões fechadas [13, 18, 26]. E desta forma, evita a complexidade computacional associada com o cálculo exato da redução de tipo, e, obtém saídas muito semelhantes aos SIF tipo-2 Intervalar usando o método KM para o cálculo do tipo-reductor, como mostrado em [27]. A seguir, será apresentado o método WM de limites incertos.

*-Método WM de limites incertos*

A Figura 22 apresenta um conjunto tipo-reduzido e seus limites internos e externos obtidos através do método WM de limites incertos. Os quatro limites incertos ( $\underline{y}_l(x) \leq y_l(x) \leq \overline{y}_l(x)$  e  $\underline{y}_r(x) \leq y_r(x) \leq \overline{y}_r(x)$ ) são obtidos a partir do cálculo do centro de área dos conjuntos *fuzzy* tipo-1 intrínsecos, utilizando as seguintes fórmulas:

$$y_l^{(0)}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y_l^i f^i}{\sum_{i=1}^M f^i} \quad (100)$$

$$y_r^{(M)}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y_r^i \overline{f}^i}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i} \quad (101)$$

$$\overline{y}_l^{(M)}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y_l^i \overline{f}^i}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i} \quad (102)$$

$$y_r^{(0)}(x) = \frac{\sum_{i=1}^M y_r^i \underline{f}^i}{\sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \quad (103)$$

O cálculo dos limites internos são apresentados, a seguir:

$$\overline{y}_l(x) = \min\{y_l^{(0)}(x), y_l^{(M)}(x)\} \quad (104)$$

$$\underline{y}_r(x) = \max\{y_r^{(0)}(x), y_r^{(M)}(x)\} \quad (105)$$

Os limites externos são calculados como segue:

$$\underline{y}_l(x) = \overline{y}_l(x) - \left[ \frac{\sum_{i=1}^M (\overline{f}^i - f^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i \sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \times \frac{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_l^i) \sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^M - y_l^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_l^i) + \sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_r^M - y_l^i)} \right] \quad (106)$$

$$\overline{y}_r(x) = \underline{y}_r(x) + \left[ \frac{\sum_{i=1}^M (\overline{f}^i - f^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i \sum_{i=1}^M \underline{f}^i} \times \frac{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_l^i) \sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_r^M - y_l^i)}{\sum_{i=1}^M \overline{f}^i (y_r^i - y_l^i) + \sum_{i=1}^M \underline{f}^i (y_r^M - y_l^i)} \right] \quad (107)$$

O resultado do cálculo do método WM de limites incertos pertence aos intervalos  $[ \underline{y}_r ]$  e  $[ \underline{y}_l ]$ . Os valores de  $\tilde{y}_l$  e  $\tilde{y}_r$  são obtidos a partir das seguintes aproximações:

$$\tilde{y}_l = \frac{y_l + \bar{y}_l}{2} \quad (108)$$

$$\tilde{y}_r = \frac{y_r + \bar{y}_r}{2} \quad (109)$$

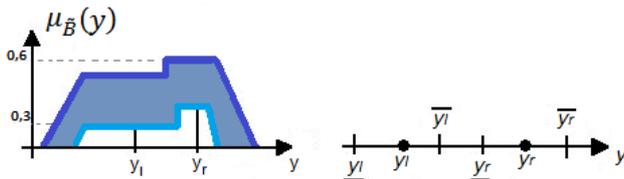


Figura 22. Conjunto tipo-reduzido utilizando o método WM de limites incertos.

### E. Defuzificador

O bloco defuzificador obtém a partir de um conjunto *fuzzy* tipo-1, um número *crisp*. No sistema *fuzzy* tipo-2 a entrada do bloco defuzificador é o conjunto *fuzzy* tipo-1, resultante do tipo-reduzido. A saída defuzificada do sistema *fuzzy* tipo-2 intervalar *singleton* é dada pela média dos pontos limites  $\tilde{y}_l$  e  $\tilde{y}_r$ .

$$y(x) = \frac{\tilde{y}_l + \tilde{y}_r}{2} \quad (110)$$

## VII. CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta os principais fundamentos teóricos sobre a lógica *fuzzy* tipo-2 e do sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 Intervalar. O sistema de inferência *fuzzy* tipo-2 pode ser utilizado para construção de sistemas baseados em conhecimento para controle de processos, também chamados de controladores *fuzzy* tipo-2 intervalares.

O sistema de controle baseados na lógica *fuzzy* tipo-2 são capazes de trabalhar com incerteza e quando comparados aos sistemas de controle *fuzzy* tipo-1, apresentam as seguintes vantagens [28]:

- A função de pertinência *fuzzy* tipo-2 contém a “mancha” de incerteza (FOU), que é capaz de trabalhar com incertezas nas entradas e saídas do controlador *fuzzy*;
- A utilização de funções de pertinência *fuzzy* tipo-2 na entrada de controladores *fuzzy* pode resultar na diminuição do número de regras da base de regras quando comparado com sistema *fuzzy* tipo-1;
- O controlador *fuzzy* tipo-2 é capaz de responder a sistemas que não podiam ser controlados pelo sistema *fuzzy* tipo-1 com o mesmo número de funções de pertinência [29].

Em suma, o controlador *fuzzy* tipo-2 é utilizado nos seguintes casos [25]:

- Em aplicações onde existe incerteza na

determinação exata do grau de pertinência, como por exemplo, em casos de dados ruidosos.

- Em aplicações onde não existe alta confiança no modelo ou quando é difícil determinar o modelo adequado em função da não linearidade, não estacionariedade ou variância no tempo.

Existem ferramentas computacionais para o MATLAB para criação de um sistema de controle baseado na lógica *fuzzy* tipo-2, tais como:

O *Toolbox Type-2 Fuzzy Logic*, desenvolvido pelo Prof. Dr. Oscar Castillo e sua equipe do grupo de pesquisa do Instituto de Tecnologia de Tijuana (Tijuana Institute of Technology, Mexico) [2, 30].

E o programa *Type-2 Fuzzy Logic* desenvolvido pelo Prof. Dr. Jerry Mendel e também por: N Karnik, Q. Liang, F. Liu, D. Wu e J. Joo, da USC - *University of Southern California*. Este programa foi desenvolvido em arquivo (*M-Files*) para MATLAB. E está disponível on-line na pagina: <http://sipi.usc.edu/~mendel/software/>.

## VIII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [26] G. J. Klir J. M. Wierman, *Uncertainty-Based Information*, Physica-Verlag, Heidelberg, Germany, 1998.
- [27] O. Castillo, P. Melin, *Type-2 fuzzy logic: Theory and applications*, Springer, ISBN: 978-3-540-76283-6, 2008.
- [28] H. Hagaras, "A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 12, pp. 524-539, 2004.
- [29] P. Smets, "Imperfect information: Imprecision-uncertainty," *UMIS - Var Unc.* p.1-35, 1999.
- [30] J. M. Mendel, *Uncertain Rule-Based Fuzzy Logic Systems: Introduction and New Directions*, Prentice-Hall, Upper-Saddle River, NJ, 2001.
- [31] S. Sandri and C. Correa, "Lógica Nebulosa," in *Proc. V Escola de Redes Neurais*, pp.c073-c090, 1999.
- [32] C. Dualibe, M. Verleysen, P. Jespers, *Design of Analog Fuzzy Logic controllers in CMOS Technologies: Implementation, Test and Application*, Kluwer Academic Publishers, New York, 2003.
- [33] K. Tanaka, *An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications*, Springer, 1996.
- [34] L. A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning - I," *Information Science*, vol. 8, n. 3, pp. 199-249, 1975.
- [35] N. Karnik and J. Mendel, "Introduction to Type-2 Fuzzy Logic Systems," in *Proc.: IEEE-FUZZ CONFERENCE. Proceedings of IEEE-FUZZ Conference*, p. 915-920, Maio, 1998.
- [36] N. Karnik and J. Mendel, "Type-2 Fuzzy Logic Systems: Type Reduction," in *Proc. of Conference on Systems, Man and Cybernetics*, p. 2046-2051, Outubro, 1998.
- [37] Q. Liang, J. Mendel, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems: Theory and Design," *IEEE Transaction on Fuzzy Systems*, vol. 8, pp. 535-550, 2000.
- [38] H. Wu, J. Mendel, "Uncertainty bounds and their use in the design of interval type-2 fuzzy logic systems," *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, v. 10, 2002.
- [39] T. Dereli, A. Baykasoglu, K. Altun, A. Durmusoglu, B. Tüksen, "Industrial applications of type-2 fuzzy sets and systems: A concise review," *Journal Computers in Industry*, v. 62, p. 125-137, 2011.
- [40] J. Mendel, R. Jonh, F. T. Liu, "Interval type-2 Fuzzy Logic Systems Made Simple," *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, v. 14, n. 6, 2006.
- [41] J. Mendel, "Type-2 Fuzzy Sets and Systems: an overview," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 2007.
- [42] H. Hagaras, "A hierarchical type-2 fuzzy logic control architecture for autonomous mobile robots," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2004.

- [43] J. Mendel, H. Hagra, R. Jonh " Standard backgrounds material about interval type-2 fuzzy logic systems that can be used by all authors," <http://iee-cis.org/files/standards.t2.win.pdf>.
- [44] E. M. El-Hawary, Electric Power Applications of Fuzzy Systems, IEEE Press Series on Power Engineering, ISBN:0-7803-1197-3, 1998.
- [45] W. Pedrycz, F. Gomide, An introduction to fuzzy sets: analysis and design, MIT Press, ISBN: 0-262-16171-0, 1998.
- [46] D. Driankov, H. Hellendoorn, M. Reinfrank, An Introduction to Fuzzy Control, Second Edition, Springer, ISBN: 3-540-60691-2, 1996.
- [47] J. Jang, C. Sun, E. Mizytani, Neuro-fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, Prentice-Hall, ISBN: 0-13-261066-3, 1997.
- [48] H. Hellendoorn, C. Thomas, "Defuzzification in fuzzy controllers," Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, v. 1, p.109-123, 1993.
- [49] S. Coupland, J. Wheeler, M. Gongora, " A generalized type-2 fuzzy logic system embedded board and integrated development environment," in Proceedings of FUZZ-IEEE Conference, p. 681–687, 2008.
- [50] R. J. Conteras, Modelos Neuro-Fuzzy Hierárquicos BSP do Tipo-2, Tese de Doutorado apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC RIO, 2007.
- [51] M. Melgarejo, C. Peña-Reyes, , " Hardware Architecture and FPGA implementation of type-2 fuzzy systems," in Proceedings of GLVLSI'04 ACM, p. 458–461, Abril, 2004.
- [52] C. Lynch, H. Hagra, M. Callaghan, " Embedded type-2 FLC for real-time speed control of marina and traction diesel engines," Proceedings of IEEE-FUZZ Conference 2005, p. 347-332, Reno, USA, Maio, 2005.
- [53] H. Hagra, "Type-2 fuzzy logic controllers: Towards a new approach for handling uncertainties in real word". IEEE expert now transcript ([http://www.ieee.org/education\\_careers/education/expert\\_now/index.html](http://www.ieee.org/education_careers/education/expert_now/index.html)), Setembro, 2008.
- [54] D. Wu, W. Tan, "Type-2 FLS modeling capability analysis". Proceedings of IEEE International Conference on Fuzzy Systems, p. 242–253, 2005.
- [55] J. R. Castro, O. Castillo, L. G. Martínez, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Toolbox". Engineering Letters, 15:1, August, 2007.

## IX. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo material incluído no artigo.