

# A lógica Fuzzi na operacionalização de conhecimentos em interação de tarefas Humano-Computador em máquinas complexas: a aprendizagem em conjuntos de significância

Edgard Thomas Martins, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
Isnard Thomas Martins, Universidade Estácio de Sá, Brasil

**Abstract:** *As duas máquinas: Ser Humano e Computador, uma biológica e outra mecânico/eletrônica precisam utilizar e operacionalizar suas lógicas naturais computacionais no compartilhamento das tarefas de controle de máquinas complexas. Os dois componentes (Ser Humano e Computador) encarregados do controle e do funcionamento de máquinas complexas precisam aprender suas tarefas cada qual a seu modo. Podemos formular os questionamentos que sugerem toda diferença nos resultados operacionais: O formato do treinamento, os objetos de aprendizagem e o processo de capacitação estão corretos? A operacionalização dos conhecimentos se mostra satisfatória? Este artigo faz uma análise crítica dos processos de aprendizagem e da operacionalização do trabalho conjunto destes dois componentes, onde supostamente a simbiose na distribuição de tarefas se propõe a extrair as maiores vantagens de cada um. O grande diferencial do homem em relação ao computador se apresenta na grande capacidade de reconhecimento e processamento de informações qualitativas do humano, muitas vezes não previstas nos sistemas computadorizados, diferentemente do computador com sua grande capacidade de processar uma grande quantidade de dados muito rápido e precisa.*

**Palavras-chave:** *aprendizagem, subjunçores, cognição distribuída, conjuntos de significância e lógica fuzzy*

**Abstract:** *The Two machines: The Human and the Computer, one biological and other mechanical/electronics that use and implement their natural computational logic in sharing the tasks for controlling complex machines. Both components (Human and Computer) in charge of the control and operation of complex machines need to learn their tasks each in its own way. But questions arise: The format of the training, learning objects and the training process are correct? The operationalization of the knowledge showed satisfactory? This article presents a critical analysis of learning processes and the operation for the joint work of these two components, where supposedly the symbiosis in the distribution of tasks is proposed to extract the greatest advantages of each process. The great advantage of man associated with the computer appears as a large capacity for recognition and processing qualitative information, that is often not covered in computer systems with their great ability to process a large amount of data very fast and accurate.*

**Keywords:** *Fuzzy logic, New Technologies, Automation, Human Error*

## Introdução

Como acontece a distribuição de tarefas nas aeronaves automatizadas? As tarefas de pilotagem de aeronaves altamente automatizadas são efetivamente distribuídas entre os pilotos e os computadores de bordo. E cada um destes componentes de controle deve ser preparado para suas tarefas. Conhecimentos prévios no ser humano operacionalizam ações distribuídas apoiadas por computadores de bordo na tomada de decisão, inclusive em momentos críticos no campo da aviação em aeronaves automatizadas. As ações do Humano são ancoradas em subsunçores<sup>1</sup> e as ações promovidas pelos computadores se apoiam também em “conhecimentos” convertidos em procedimentos formais, que são os programas implantados nos computadores. Uma parte desta programação serve para auxiliar os pilotos a controlar estas aeronaves e que também tem a origem de seus procedimentos referenciados por um repertório de alternativas procedurais implantadas em bancos de informações que poderíamos fazer uma analogia com “subsunçores” ancorados em situações histó-

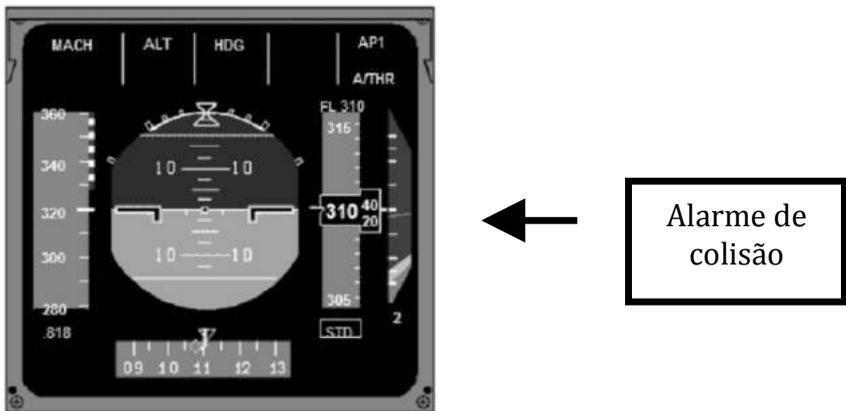


ricas que refletem melhores técnicas de pilotagem. Mas também contempla conhecimentos prévios de situações de risco que, quando acontecem, são avaliadas pelos computadores, “defendendo” e bloqueando a aeronave de procedimentos não planejados executados pelos pilotos e que podem conduzir a acidentes, que são procedimentos para corrigir situações de perigo.

Por exemplo os sistemas de controle de colisão e aproximação não planejada de aeronaves em vôo chamados TCAS (Traffic Alert and Collision System)<sup>1</sup>. A lógica normalmente utilizada na construção e programação destes computadores é a lógica cuja característica é booleana, binária, cartesiana, univalente, mutuamente exclusiva e unirelacional. Isto estabelece avaliações precisas e únicas nos resultados apresentados por estas máquinas .

(1) O TCAS faz parte do Airbone Colision Avoidance System (ACAS) - Sistema Anticolisão de bordo. Este sistema detecta a proximidade de outras aeronaves através de antenas instaladas na própria aeronave. Por meio de um transmissor/receptor cria uma comunicação entre es as aeronaves questionando suas respectivas altitudes e posições relativas entre elas, analisando as possíveis ameaças e alertando via vídeo e gravação de voz os perigos e as ações recomendadas. Um aviso de alerta ou Aviso de Resolução (RA), auditivo é implementado via autofalantes na cabine de comando (cockpit) para emitir os sinais de alerta. A figura 1 abaixo apresenta o vídeo (display) do ACAS.

Figura 1: Implementação do ACAS (*Airbone Colision Avoidance System*) com um RA (aviso de resolução) dentro de um instrumento de vôo (PDF – Primary director Flight ).-mostrador de vôo primário



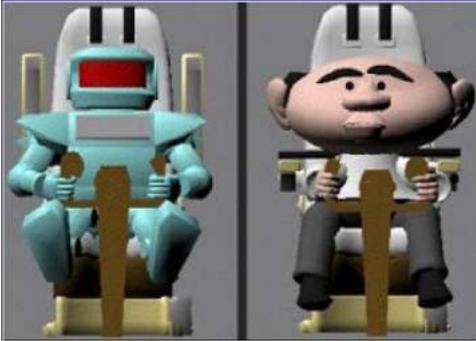
Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Este exemplo é um dos modos possíveis de “ensinar” a computadores a auxiliar os pilotos na pilotagem em situação de perigo. O da figura 2 acima mostra um aviso de resolução exibido por uma área trapezoidal vermelha que indica ao piloto valores de altitude de vôo que precisam ser evitados. Isto orienta diretamente as ações do piloto na tarefa de pilotagem. A apresentação da figura 1 não inclui nenhum vôo na área verde, que indica ao piloto a velocidade vertical requerida e limita as distâncias autorizadas pelas (ATC- Air Traffic Control) Sistemas de Controle de Vôo de terra.

- Mas o ser humano aprende como pilotar a aeronave e operacionaliza estes conhecimentos da mesma forma que o computador buscando cartesianamente dos subsunçores<sup>1</sup> para transformar em ação as estruturas mentais previamente existentes?
- O conceito que estabelece o binômio de controle em sistema de ergonomia distribuída Humano-computador esgota as possibilidades de ações apropriadas para evitar alguns raros, mas existentes acidentes e prevê todas as situações críticas se tornando à prova de falhas?
- Operacionaliza-se as ações do piloto enquanto auxiliado por computadores, e estas máquinas “admitem” eventualmente cometerem erros que podem ser rapidamente corrigidos pelo ser humano ( cobertura recíproca)?

A figura 2 simboliza a combinação do ser humano e do computador no controle de aeronaves.

Figura 2: O piloto e o computador pilotando uma aeronave altamente automatizada (Fly-by-Wire)



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Sabemos pela história recente de acidentes na aviação que a resposta é um NÃO. E o problema sempre recai, por diversas razões, inclusive comodidade e pela falta de um culpado, na falha humana. Formulamos uma hipótese através desta pergunta:

- A lógica *fuzzy*<sup>1</sup> aplicada no “aprendizado” dos computadores de bordo de aeronaves traduzida em sua programação poderia ser uma boa solução para atenuar esta situação?

Se considerarmos as três citações a seguir, podemos tecer um cenário duvidoso que permite falhas na harmonia de comportamentos no trabalho conjunto humano e computadores. Estas declarações abaixo começam a estabelecer similaridades e diferenças da mente humana relacionada com os computadores e reforçam a necessidade de uma possível mudança no cenário de aprendizado dos dois. Contribuem também com alguns subsídios para instrumentar a nossa hipótese sobre utilização de lógica fuzzy na elaboração de procedimentos dos computadores presentes no estado da arte na aviação:

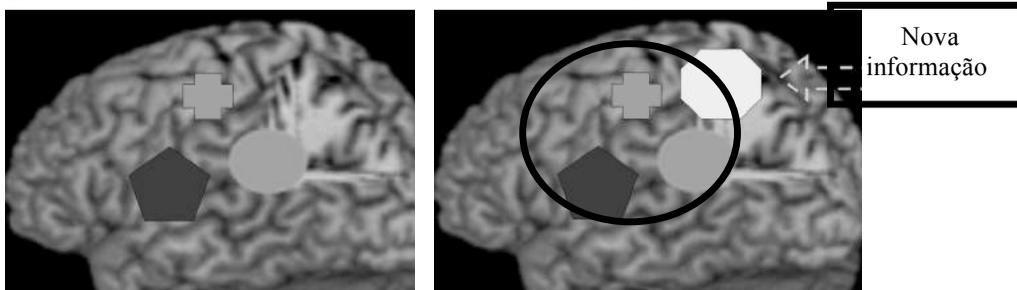
- Se a mente humana fosse simples o suficiente para ser entendida, nós seríamos simples o suficiente para entendê-la. (Pugh, 2001) A mente é um sistema de órgãos de computação, projetados pela seleção natural para resolver os tipos de problemas que nossos ancestrais enfrentavam em sua vida de coletores de alimentos, em especial entender e superar em estratégias os objetos, animais, plantas e outras pessoas. A mente é o que o cérebro faz; especificamente, o cérebro processa informações, e pensar é um tipo de computação. (Pinker, 2000)
- Um computador é apenas um tolo de alta velocidade. (Jacob, IBM, 1966)

O subsunçor é uma estrutura específica ao qual uma nova informação pode se integrar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual que armazena experiências prévias do aprendiz. É um conceito, uma idéia, uma proposição já existente na estrutura cognitiva do aprendiz que serve de ‘ancoradouro’ a uma nova informação, permitindo ao indivíduo atribuir-lhe significado. “A aprendizagem significativa caracteriza-se por uma interação (não uma simples associação), entre aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva e as novas informações, através da qual estas adquirem significado e são integradas à estrutura cognitiva de maneira não arbitrária e não literal, contribuindo para a diferenciação, elaboração e estabilidade dos subsunçores pré-existentes e, conseqüentemente, da própria estrutura cognitiva.” (Ausubel, 1978). Para que o aluno possa aprender significativamente o material instrucional, é necessário haver em sua estrutura cognitiva um conjunto de conceitos relevantes que possibilitem a sua conexão com a nova informação a ser aprendida. Ao conjunto destes conceitos básicos é dado nome de subsunçor, originado da palavra subsumer. Um subsunçor é, portanto, um conceito, idéia, ou proposição já existente na estrutura cogni-

<sup>1</sup> A Lógica Fuzzy é uma modalidade da Lógica capaz de tratar conceitos vagos, imprecisos ou ambíguos – em geral descritas na linguagem natural humana – e convertê-los para um formato numérico, de fácil processamento computacional (Shaw e Simões, 1999).

tiva do aluno, capaz de servir de “ancoradouro” para uma nova informação de modo que ela adquira assim um significado para o individuo conforme simulado na figura 3. (Moreira, 1983)

Figura 3: Um novo conhecimento é ancorado em um subsunçor existente



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Um avanço já concretizado no metier científico é a utilização da lógica fuzzy. A vantagem desta ferramenta é tornar possível a utilização de valores intermediários contínuos entre 0 e 1 (ou falso e verdadeiro). De certa forma, com a lógica fuzzy já é possível conceber uma computação mais flexível, mais próxima da realidade da mente humana, e isso consiste certamente em um grande avanço. Mesmo assim, ainda não se pode computar contradições, embora essa lógica permita operações que envolvem ambigüidades, vaguides, imprecisões, ruídos e inputs incompletos.

### ***O processo de distribuição de tarefas entre os agentes responsáveis pelo controle em uma aeronave automatizada - A cognição distribuída e a emergência da comunicação***

A cognição distribuída pode ser entendida como distribuída na comunidade de agentes em interação com o meio ambiente onde esta tarefa é desenvolvida, ao longo do tempo.

A criação de sentido na comunicação é uma atividade negociada, fruto da construção que nasce da interação entre sujeitos. Ou seja, o sentido não é imanente à relação entre as palavras, sinais e símbolos que surge de uma negociação necessária e incontornável. Assim como as concepções de sentido como representações estáticas e discretas implicam uma noção de computação clássica e uma concepção de sistema cognitivo correspondente, as concepções de sentido como construção situada e partilhada entre agentes implica noções de computação e cognição diferentes.

Vários esforços têm sido desenvolvidos para responder a essas demandas. Entre eles temos o Conexionismo (também conhecido como Redes Neurais; ver Elman et al. 1996 e Bechtel & Abrahamsen 2002), a Vida Artificial (*ALife*; ver Langton 1995) e as abordagens baseadas em Sistemas Dinâmicos (Port & van Gelder 1995). A figura 4 apresenta uma harmonização na distribuição e sequenciação de tarefas onde cada parte deve ter perfeita sincronia e competência para exercer suas tarefas.

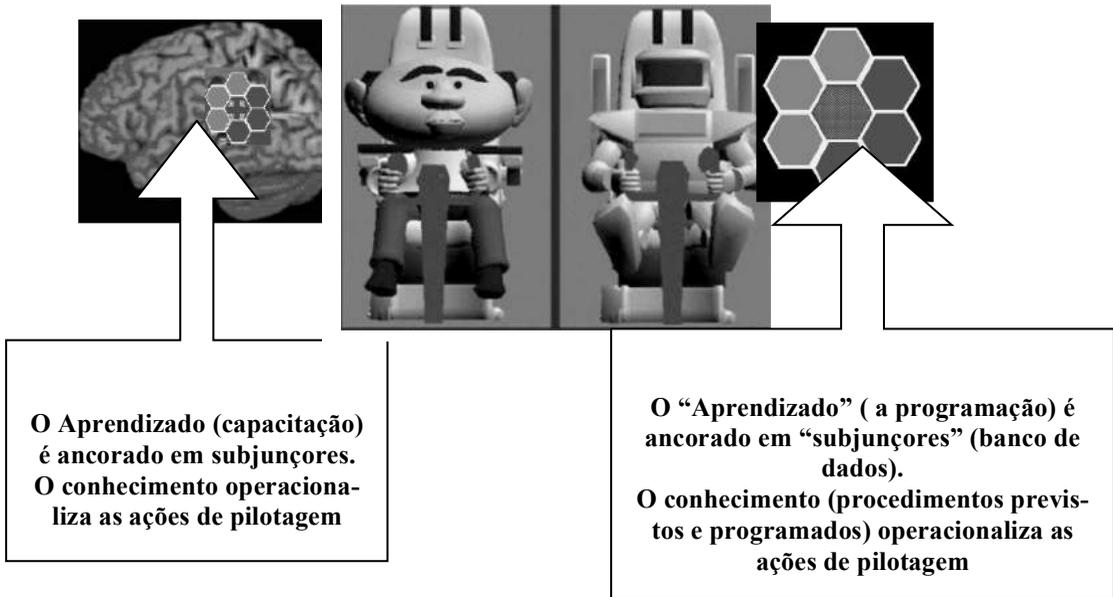
Figura 4: A passagem do bastão figurando trabalho distribuido



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.



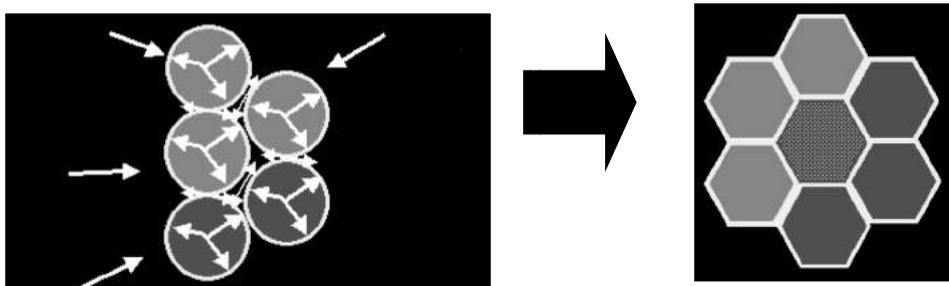
Figura 6: Os subjuncões que ancoram o aprendizado e a operacionalização de ações distribuídas aos Humanos e aos Computadores nos cockpits de aeronaves altamente automatizadas



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

As figuras 7.a e 7.b simulam a geração do hexágono na construção de uma colméia.

Fig. 7.a e 7.b: Aparecimento do hexágono na construção de uma colméia. Cada abelha tenta maximizar a área do favo levando ao tentar construir uma forma circular



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Faremos uma importante analogia com este processo. Os seres humanos e os computadores são instruídos a agirem em alguns casos de falha do “parceiro” no comando da aeronave.

O piloto aprendeu a controlar aeronaves sem qualquer auxílio de computadores. Isto faz uma grande diferença na operacionalização de conhecimentos. Embora o computador tenha sido instruído via programação (um programa é composto de instruções) a analisar cada vez mais em detalhes as atitudes do piloto nas novas gerações de aeronaves, este processo tende a exigir mais demandas cognitivas do piloto, pois este precisa aprender como, quando e de que forma estes dispositivos computacionais vão agir.

Nos anos 60 ocorreram as mudanças iniciais no tipo de vôo que se baseava no controle pleno da aeronave por parte da tripulação, para um vôo onde as atividades da tripulação seguem aspectos de supervisão dos seus sistemas de operação, pois contam com o apoio de computadores na maior parte destes sistemas. Isto nos leva a crer que um avião hoje poderia ser mais fácil de operar que os de

gerações anteriores, mas apenas sob a ótica de níveis menores de fadiga muscular. As novas aeronaves produzidas hoje contam com sistemas eletrônicos de apoio ao vôo (que facilitam a navegação, por exemplo) e não precisam do esforço físico para efetuar manobras na aeronave.

Os cockpits mais recentes retiram do piloto uma carga de trabalho repetitiva e quantitativa, como:

- Monitoramento dos parâmetros de cada motor
- Monitoramento dos parâmetros de vôo (altitude, rumo e velocidade)
- Correção da rota através da potência dos motores e compensadores

Assim a tripulação pode atuar somente quando a capacidade e decisão do ser humano se tornam necessárias, sendo ainda auxiliados pelos computadores que recebem todos os estímulos (ambiente e comportamento da aeronave) e interpretam, classificam e apresentam os resultados de acordo com sua prioridade e/ou eventualmente programação destes instrumentos. Mas na medida em que esta automação libera a tripulação de atividades repetitivas (e fatigantes), que aumentam a segurança de vôo, os deixam num estado de menor atenção e distantes dos mecanismos de vôo, podendo os levar a decisões errôneas em um momento de pane (falha de qualquer componente fundamental de vôo em quaisquer circunstâncias). Antes da automação, só havia um responsável pelo controle da aeronave: a tripulação. É ela que recebia as informações de natureza diversas como resultado das interações da aeronave com o ambiente. Naquela época, o aprendizado capacitava a tripulação a tratar todas as informações oriundas dos instrumentos, do meio externo e da própria aeronave que fluíam para o piloto e tomava as medidas através da aplicação de comandos na aeronave.

Nas aeronaves automatizadas, se um novo componente é instalado, o computador correspondente aos sensores solidários e ou semânticos estabelece uma nova rede de interrelacionamento entre tripulação e ambiente da aeronave (Santos, 2001). As decisões de comandos são, então, redistribuídas entre homem e máquina (computador / aeronave). Desta forma temos uma simbiose entre capacidades diferentes e complementares no processamento de informações e comando da aeronave.

Dentro desta nova situação de automatismo, as informações que chegam à tripulação requerem um tratamento diferente do que foi apresentado no modelo antigo não apoiado por computadores.

As informações que implicam em atuação de comandos da aeronave já não precisam ser classificadas, pois os computadores assumem esta tarefa e tem sua leitura facilitada pelo uso de mostradores ou displays, cabendo à tripulação sua leitura e interpretação, diminuindo o tempo de reação por requerer menor processamento e reação.

Muitas destas informações não influem tanto na tripulação por estarem sendo processadas pelos computadores.

A tripulação compartilha com o computador as responsabilidades inerentes ao vôo. Os sistemas automatizados recebem os dados oriundos de todos os sistemas da aeronave, informam à tripulação e enviam outros dados processados referentes ao processo de vôo para todos os sistemas de controle. O esforço muscular por parte das tripulações para comando de partes mecânicas agora são servo-assistidos por sistemas elétricos, hidráulicos e pneumáticos. Apesar de parecer uma solução perfeita, de ter solucionado muitos problemas de operação e aumentado a segurança de vôo como um todo, a automação gerou outros problemas.

O caminho do fluxo de informações nas aeronaves automatizadas estabelece uma distância cada vez maior entre a tripulação e o tratamento das informações que integram o controle da aeronave. Tal distância acarreta riscos à segurança, pois além da tripulação existe agora mais um componente capaz de influir no complexo processo de vôo: o próprio computador. Êle é uma grande solução mas também pode ser um grande problema. Seu gerenciamento requer novos procedimentos para controlá-lo.

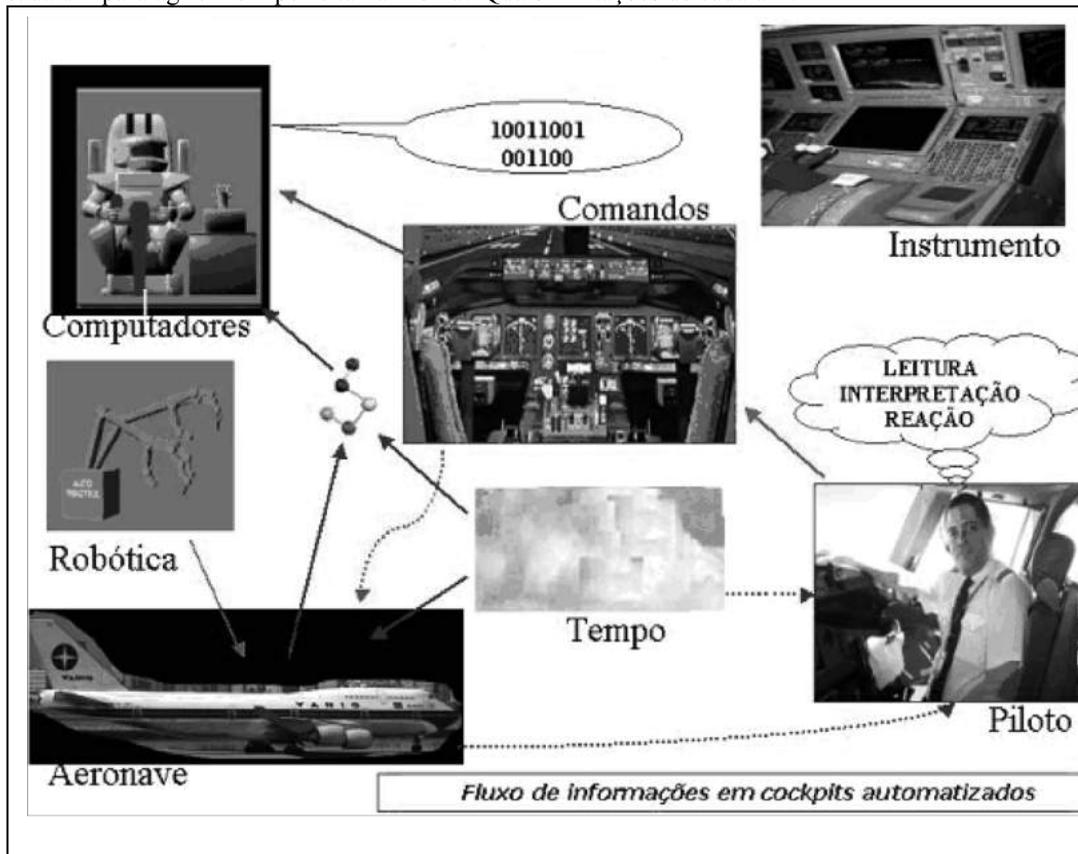
Com a quantidade de recursos disponíveis para toda a tripulação, em situação de vôo cruzeiro, tende-se a deixá-lo em um estado de menor vigilância e atenção. Quando ocorre alguma pane (alguma falha de sistema de controle e informação de vôo) o computador avisa e tende a tomar as próprias decisões, já que foi programado para isto. A tripulação que estava em um nível baixo de atenção, agora precisa conhecer a natureza do problema, se comunicar e tomar decisões, no instante em que os computadores já estão agindo e tomando suas ações, nem sempre as mais corretas ou apropriadas para o momento do vôo.

As interações que ocorrem nos modernos cockpits dotados de computadores, entre outros sistemas de apoio à tripulação, tudo passa pelos computadores antes dos comandos da aeronave serem acionados. As ações de comando dos pilotos são avaliadas pelos parâmetros programados para certificação de que estes foram corretamente aplicados. Inclusive, as “defesas em profundidade” impedem uma ação “errada” do piloto.

Se não houver perfeita interação entre as tripulações com os computadores de bordo, o sistema complexo de voo e controle da aeronave poderá ficar seriamente comprometido. É necessário que os pilotos tenham conhecimento exato o que os computadores estão fazendo

A figura 8 mostra como se processa o fluxo de informações nestas aeronaves altamente automatizadas também chamadas de *Fly-by-wire* (vôo por fios) ou *Glass-cockpits* (*cockpits de vidro*).

Figura 8: Fluxo de informações e as tarefas distribuídas por Humano e Computador – Como ensinar cada um para agirem em perfeita harmonia? Quais limitações de cada um?



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

É importante também analisar o fenômeno no nível mais alto, isto é, compreender a atribuição de sentido como uma atividade conjunta e distribuída. Nas abordagens tradicionais o sentido localiza-se na *mente* de cada agente cognitivo. Entretanto, numa concepção que privilegie o caráter plástico e negociado do sentido, este pode ser entendido como distribuído na comunidade de agentes em interação com o meio ambiente onde esta tarefa é desenvolvida, ao longo do tempo. É importante compreender a atribuição de sentido como uma atividade conjunta e distribuída.

Nas abordagens tradicionais o sentido localiza-se na *mente* de cada agente cognitivo. Numa concepção negociado do sentido pode ser entendido como distribuído entre os agentes em interação onde esta tarefa é desenvolvida.

Cientistas estudam a interação entre humanos e computadores desenvolvem formas radicalmente novas de pensar a interação entre pilotos e os instrumentos da cabine de comando. Eles afirmam que a cognição é distribuída entre os seres humanos que constituem a equipe de vôo no cockpit que se manifestam no conjunto de instrumentos e ações apropriadas destinadas a controlar o vôo. Ao estudar tais situações cooperativas estes cientistas lançam luz sobre características da cognição que estão presentes em muitas outras situações.

## **Fundamentação**

### ***O funcionamento previsto para ser exercido por dois componentes, o ser humano e o computador no controle das aeronaves automatizadas – Como atua cada componente ?***

Mas o computador atuará sempre de acordo com situações previstas nos programas. Estes programas determinam, em instância final, as decisões do computador transpostas para os comandos automatizados da aeronave. A teoria diz que as duas capacidades diferentes se complementam no processamento das informações. A literatura sobre o estado da arte na aviação aponta para a expectativa dos responsáveis por automatizar aeronaves se traduzindo em combinar as capacidades do humano e do computador para integrar “uma perfeita simbiose para conduzir aeronaves”.

Por um lado, afirma Santos (2001), o homem se apresenta com sua inigualável capacidade de reconhecimento de padrões e situações com base em suas experiências e know-how utilizando seu pensamento predominantemente qualitativo. Por outro lado, o computador atua com sua imensa capacidade de leitura e processamento eminentemente quantitativo de dados, fornecendo em curto tempo respostas precisas.

Nas aeronaves automatizadas, se um novo componente é instalado, o computador correspondente aos sensores solidários e ou semânticos estabelece uma nova rede de interrelacionamento entre tripulação e ambiente da aeronave. As decisões de comandos são, então, redistribuídas entre homem e máquina (computador / aeronave) . Desta forma temos uma simbiose entre capacidades diferentes e complementares no processamento de informações e comando da aeronave.

Mas analisando esta operacionalização de trabalho conjunto e citaremos alguns erros graves, referenciando casos de acidentes onde este tipo de distribuição de tarefas falhou. Inicialmente precisamos entender o funcionamento de cada “componente” – o ser humano e o computador.

### ***Lógica clássica, processamentos seqüencial e paralelo e a inteligência artificial***

Existem algumas teorias sobre o funcionamento da mente mas não se pode provar que a automação e a computação eletrônica são similares à natureza dos fenômenos mentais. Mesmo a Ciência Cognitiva, sedimentada no viés do computacionalismo clássico não estabelece as similaridades necessárias para consolidar esta teoria . O computador digital desenvolvido por Von Neuman foi derivado principalmente da máquina chamada Colossus, projetada por Allan Turing durante a Segunda Grande Guerra. E esta, por sua vez, está sedimentada na função lógica. O domínio da computação mono-processador, no campo de utilização de linguagens procedurais se fundamentam na lógica clássica e apresenta as características típicas de um sistema lógico/seqüencial.

A técnica chamada de processamento paralelo em uma única CPU , que ainda é insipiente e engatinha atualmente na área de aplicativos comerciais (se não considerarmos as aplicações de processamento distribuído implantada em redes de computadores), e poderíamos ter uma leve correspondência com a mente humana. A possível similaridade com seres humanos foi implementada por John Von Newman (1946-1952) na máquina chamada IAS<sup>4</sup> . O projeto de Newman tem um valor inestimável em projetos computacionais e foi um grande avanço científico no pós-guerra. Promoveu toda esta cientificidade eletrônica apoiada por atuadores eletrônicos representada hoje pela microinformática e micro-computadores pessoais. Mas é uma máquina seqüencial cuja lógica é binária, cartesiana, booleana. Estes computadores são perfeitos e notáveis pela precisão mas inúteis para estabelecer similaridades absolutas com o funcionamento da mente diante de situações nebulosas,

não precisas, não claras, não perfeitas, não visíveis ou onde se exige processar informações não planejadas ou insuficientes para estabelecer tomadas de decisão em situações críticas ou que representem perigo real e imediato.

A grande capacidade do computador em auxiliar o ser humano em quase todas as áreas da ciência obliterou a sua visão das verdadeiras diferenças processuais da mente dos humanos na operacionalização de estruturas de conhecimento em confronto com as aplicações formais, rápidas e precisas que os computadores promovem. O homem, impressionado com as altas possibilidades amplas de processamento dos computadores é levado a realizar uma engenharia reversa com a mente do humano, comparando-a e estabelecendo um paralelo de funcionamento, com muita propriedade e competência, como cita Pinker (2000) em suas teorias. Este cientista escreve como se fizesse o trabalho inverso de John Von Newman (quando desenvolveu o projeto de seu computador a partir de características do ser humano). Pinker apresenta as características computacionais da mente apontando, muito apropriadamente, para programações e estruturas biológicas similares aos computadores eletrônicos. Mas o ramo da inteligência artificial se depara com severas críticas e linhas de trabalho exatamente porque a mente é um cofre fechado com seus segredos de seu funcionamento. As várias linhas de interpretação e teorias do funcionamento da mente foram elaboradas por muitos pensadores desde os tempos de Descartes até hoje com Pinker passando por Piaget, Vygotsky e Vygotsky dentre muitos notáveis e obstinados cientistas que se devotaram ao estudo da mente, da inteligência, do conhecimento e da formação dos sentidos e de linguagem.

O que focaremos neste ensaio será, principalmente, a operacionalização destes conhecimentos no formato de ações próprias e objetivas enquanto humano e computador controlando máquinas complexas em situações críticas e inesperadas.

(4) projeto e construção do computador do Instituto de Estudos Avançados (IAS) de Princeton por John Von Neumann e seus colaboradores em 1946-1952.

### *Como cada componente (humano e computador) “aprende” suas tarefas*

A lógica clássica possui uma relação muito próxima com a linguagem natural. No entanto, algumas características da linguagem natural não se adequam a um procedimento formal. Por exemplo, a linguagem natural é permeada de contradições. Por essa razão Frege, fundador da lógica moderna, buscou a elaboração de uma linguagem artificial mais econômica e exata (sem ambigüidades) (Wadler, 2000). Segundo Feitosa e Paulovich (2001), um sistema formal deve apresentar:

- (1) um conjunto qualquer de símbolos, ou alfabeto;
- (2) um conjunto de expressões “bem formadas”;
- (3) um conjunto de axiomas;
- (4) um conjunto finito de regras.

Além disso, a lógica clássica (LC), a princípio, trabalha com dois valores: verdade e falsidade. Desse modo, um predicado pode ser verdadeiro ou falso, mas nunca simultaneamente verdadeiro e falso. Na LC não se está preocupado com o fato de uma expressão ser realmente uma verdade ou não para a ciência ou filosofia. Seus procedimentos funcionam independente desta

veracidade. Em outras palavras, o que está sob o domínio dessa lógica são procedimentos formais que permitem partir de premissas e alcançar um resultado. A correspondência entre este resultado e algo externo à própria lógica não é uma questão que a LC se proponha. A IA normalmente se baseia na LC para gerar um modelo do funcionamento da mente, e nesse sentido a Máquina de Allan Turing e Tommy Flowers (Colossus) é um modelo lógico abstrato da mente. Mas é possível perguntar até que ponto esse modelo é realmente adequado. Ou, ainda, quais aspectos da mente humana são evidenciados através deste modelo. A resposta a essas perguntas envolve não somente aspectos filosóficos, mas também computacionais e, nesse caso, lógicos.

### *A diferença entre humanos e máquinas no processo de “aprendizagem”*

Como o ser humano e o computador aprendem ?

No ato de aprendizagem do Humano, estão envolvidos o aprendiz, o professor, o currículo, a avaliação e a governança. O fator mais importante onde depende a aprendizagem do piloto é a sua estrutura cognitiva prévia (Ausubel, 1978). A estrutura cognitiva de cada ser humano é idiossincrática e o resultado de pensamentos, sentimentos e ações se combinam para formar o significado pessoal da experiência. Segundo o paradigma construtivista, cada ser humano vai estruturando e reestruturando o seu próprio conhecimento. O construtivismo humano é uma visão humanista da construção do conhecimento, considerando cada ser humano como um todo transdimensional. Possui dimensões cognitivas lógico-matemática, linguística, cinestésica, afetivas: emocional, sentimental, volitiva e axiológicas: as que dizem respeito aos mais variados valores. (Novak, 1996). O computador é uma máquina eletrônica que, para “aprender”, requer a instalação de uma programação, que é uma série lógica de operações, hoje desenvolvida e instalada pelo Humano. O Humano, que por sua vez, requer teoricamente que ocorra uma série de conexões e a junção de *subsunções* (Ausubel, 1978). O fato é que o é que os computadores requerem o exercício de um pensamento particular, que conduz aos comandos que se pode fornecer à máquina através de um conjunto de instruções codificadas chamadas de programa que fica “armazenado” dentro da máquina, onde esta pode interpretar formalmente. Computadores obedecem. Computadores não “compreendem”. Seltzer (1997) registra que, quando fornecemos comandos a qualquer software somos forçados a pensar de tal modo, que os pensamentos possam ser introduzidos na máquina. Em particular, qualquer programa é programado dessa maneira. Denominamos esse tipo de pensamento de “Pensamento Maquinal”. Quando se o exerce, reduz-se o espaço mental àquele definido e aceito pela máquina. Obviamente, isso tem uma influência na maneira como a pessoa pensa, pois os seres humanos incorporam todas as vivências: a tendência é de pensar de uma maneira lógica, não ambígua, e esperar que tudo no mundo seja uma abstração, seja determinístico e previsível como o são os computadores.

Segundo Pinker (2000), o objeto do aprendizado se traduz em informações e sinais formatados em símbolos que são novamente configurados em bits (binary digit)<sup>5</sup> de matéria (neurônios), que é transmitidos na forma de padrões de conexão e em atividades dos neurônios. Desta forma a informação não se perde quando migra de suporte físico, como por exemplo uma informação oral, que se formata em padrões sonoros, transmitidos pelo ar até o sistema auditivo onde muda novamente de suporte físico. Acaba retornando ao processamento do cérebro, através da atividade neuronal.

Os símbolos formados por esse mesmo cérebro-mente não são apenas o resultado de uma inscrição/representação interna, a partir dos sentidos. São símbolos que podem conter, além da informação representacional, propriedades causais, o que significa que contém informações e simultaneamente fazem parte de uma cadeia de eventos físicos, ou seja, podem gerar informações e/ou ações. Então, os bits de informação processados pelo cérebro-mente humano podem acionar outros bits componentes de símbolo, produzindo *sentido*: validação ou não de informações (verdadeiras ou falsas, que vão formar o conjunto de crenças do indivíduo); ou podem acionar bits conectados com músculos, resultando em *movimento*. Assim, a computação mental é complexa e viabiliza a combinação de processamentos, envolvendo, por exemplo, que um símbolo processado, sob determinado conjunto de regras, acione um evento mecânico (ou eletrônico, como acontece com um computador real, ou com um autômato programável para executar funções, ou, como pensava Alan Turing, em 1937, aconteceria com um processador de símbolos capaz de ler símbolos e operar a partir de um conjunto fixo de regras).

Se um sistema artificial for baseado no computacionalismo clássico que opera a partir da lógica clássica, é possível ordenar a tal sistema a realização de uma determinada tarefa. Por exemplo, determinar o tempo que falta para finalizar um voo em uma aeronave, considerando vento, velocidade do avião e outros condicionantes. Segundo Oliveira (2003), tal proposta envolve sutilezas as quais, talvez, uma máquina ainda não possa computar. A princípio, a máquina calcularia a distância percorrida de maneira mais rápida e exata que um ser humano para ir de carro de São Paulo a Tokyo.. Por

outro lado, um ser humano poderia responder que não é possível ir de carro de São Paulo a Tóquio. Este exemplo, apesar de banal, nos mostra algumas divergências interessantes na forma de tratamento dos problemas por humanos e por máquinas. Seres humanos costumam levar em conta a veracidade das premissas com que trabalham. Não que isso impeça a realização de um procedimento puramente formal, mas a verificação ou não da veracidade das premissas pode mudar significativamente a relação entre indivíduo e problema.

E prossegue Oliveira (2003) que segundo a perspectiva de Vygotsky, comprovada empiricamente por Luria, existem distintas etapas para a solução de problemas por seres humanos (Frawley, 2000). Em primeiro lugar, existe a localização do problema perante o universo histórico-social do indivíduo. O indivíduo cria uma estrutura conceitual (*frame*) que permite tratar os dados em questão, normalmente utilizando a linguagem como ferramenta de controle. É uma “questão de como o raciocínio não-monotônico, como a adição de informações influencia a situação comprobatória das conclusões, é capaz de inibir ou descartar opções inferências” (Frawley, 2000, p.38-39). Em segundo lugar, o indivíduo realiza as atividades computacionais propriamente ditas. Ele faz o cálculo em questão através de um procedimento formal. A importância dessa descrição vygotskiana é colocar o contexto (externo) sócio-histórico na perspectiva da resolução do problema, e isto significa que antes de qualquer computação formal e lógica o indivíduo provavelmente irá verificar a pertinência e a veracidade das premissas apresentadas.

No caso de sistemas artificiais, como ocorre na IA, existe apenas a computação lógica. Um sistema artificial não está, a princípio, apto a estabelecer relações sócio-históricas<sup>1</sup>. Ou seja, ele não tem a possibilidade de situar o problema em um contexto histórico-social individual. Mesmo assim, um sistema poderia até concluir que não é possível viajar de carro de São Paulo a Tóquio, mas tal solução seria o resultado de uma programação computacional mais completa, e não da verificação da pertinência das premissas.

É possível que um sistema artificial possa até simular, e de maneira eficiente, os procedimentos realizados por humanos. Porém isso não parece ser suficiente para explicar o funcionamento da mente, já que o computador continua realizando apenas operações sintáticas, sem verificação da pertinência de suas premissas e conclusões. Esse modelo é, sim, uma boa ferramenta para a melhor compreensão da natureza dos processos mentais, um artefato que permite testar empiricamente hipóteses e teorias sobre a mente e que reproduz certas partes do seu funcionamento, em particular seu raciocínio lógico-formal, seu modo de funcionamento dedutivo. Mas, por outro lado, é difícil sustentar que este modelo seja possuidor de uma mente tal qual a mente humana devido aos limites da lógica clássica e da não consideração de outros tipos de raciocínio possíveis de serem realizados.

Enfim, por um lado a diferença consiste no fato de humanos verificarem a pertinência das premissas com que a lógica trabalha, sua relação com respeito ao que é exterior a ela mesma. Por outro lado, o problema é interno à própria lógica, limitada a uma lógica formal que não permite contradições nem ambigüidades. Nesse sentido, a utilização de uma lógica que permita uma maior proximidade com a mente humana e sua linguagem natural tem grande interesse. Em particular uma lógica que permita estados intermediários entre o verdadeiro e o falso, e mesmo que permita o aparecimento de contradições.

Um avanço já concretizado no meio científico é a utilização da lógica *fuzzy*. A vantagem desta ferramenta é tornar possível a utilização de valores intermediários contínuos entre 0 e 1 (ou falso e verdadeiro). De certa forma, com a lógica *fuzzy* já é possível conceber uma computação mais flexível, mais próxima da realidade da mente humana, e isso consiste certamente em um grande avanço. Mesmo assim, ainda não se pode computar contradições, embora essa lógica permita operações que envolvem ambigüidades, vaguides, imprecisões, ruídos e *inputs* incompletos.

Pinker (2000) registra que trata-se de um paradigma estruturado sobre a chamada Teoria Computacional da Mente, que supõe para o funcionamento da mente humana as naturezas do processo computacional de informações na forma de símbolos. Este processo computacional está associado à capacidade do cérebro humano de representação mental do conhecimento (representação visual, fonológica, gramatical e em uma linguagem mental interna do ser humano), em camadas complexas e inter-relacionadas de redes associativas de significados. Esse sistema biológico-informacional peculiar

da espécie humana também está equipado com sistemas de regras para processamento, que seriam infinitamente mais flexíveis do que aquelas regras que compõem qualquer tipo de programação computacional convencional, e que viabilizam não apenas categorizações do conhecimento precisas e/ou probabilísticas (Fuzzy), mas também lógicas abstratas como, por exemplo, a que permite ao ser humano reconhecer um rosto ou mesmo a noção de individualidade. Esse poderoso software geneticamente aperfeiçoado também funciona de forma a conservar, na representação mental, as relações preservadoras de verdade exatas ou probabilísticas que formaram a suposta relação verdadeira observada na realidade, da primeira vez que o cérebro operou sobre aquele símbolo.

Esses eventos constituem uma computação, pois o mecanismo foi arquitetado de modo que, se a interpretação dos símbolos que acionam a máquina for uma afirmação verdadeira, a interpretação dos símbolos criados pela máquina também será uma afirmação verdadeira. (Pinker,2000)

(5) BIT ou Binary Digit é a menor unidade de informação armazenada e/ou tratada em computadores

Esta questão a seguir aponta para nossa hipótese que visa “harmonizar ações e comportamentos” dos dois componentes no controle de aeronaves :

A lógica fuzzy pode ser aplicada na programação dos computadores de bordo em aeronaves ?

### ***Características da Lógica Fuzzy ou Difusa:- A linguística e a operacionalização de conhecimentos e a aplicabilidade da Lógica fuzzy***

Usamos, no cotidiano, conceitos subjetivos para classificar ou considerar certas situações tais como:

- Siga em frente “alguns metros”.
- O dia está “parcialmente” nublado.
- Preciso perder “alguns” quilos para ficar “bem”.
- Estamos com uma moeda “estável”.

ou ainda :

- A classificação de certos objetos como “largo”, “sujo”...
- A classificação de pessoas pela idade tal como “velho”, “jovem”...
- A descrição de características humanas como “saudável”, “alto”...

Nos exemplos acima, os termos entre aspas são *fuzzy* no sentido que envolvem imprecisão e são conceitos vagos. O conceito *fuzzy* pode ser entendido como uma situação onde não podemos responder simplesmente “Sim” ou “Não”. Mesmo conhecendo as informações necessárias sobre a situação, dizer algo **entre** “sim” e “não” como por exemplo “talvez”, “quase”... se torna mais apropriado.

Considere, por exemplo, informações como “homens altos”, “dias quentes” ou “vento forte”. Nada existe que determine exatamente qual a “altura”, “temperatura” ou “velocidade” que podemos considerar como limites para tais informações. Se considerarmos como alto todos os homens com mais de 1,90m, então um homem com 1,88m não seria “alto” e sim “quase alto”. Na teoria dos conjuntos *fuzzy* existe um grau de pertinência de cada elemento a um determinado conjunto. Por exemplo considere os conjuntos abaixo:

- Conjunto das pessoas com alta renda.
- Conjunto das pessoas altas.

Podemos verificar que não existe uma fronteira bem definida para decidirmos quando um elemento pertence ou não ao respectivo conjunto nos exemplos acima.

Com os conjuntos fuzzy podemos definir critérios e graus de pertinência para tais situações.

A Lógica Difusa está baseada em palavras e não em números, ou seja, os valores verdadeiros são expressos linguisticamente. Por exemplo: quente, muito frio, verdade, longe, perto, rápido, vagaroso, médio, etc. Possui vários modificadores de predicado como por exemplo: muito, mais ou menos, pouco, bastante, médio, etc. Possui também um amplo conjunto de quantificadores, como por exemplo: poucos, vários, em torno de, usualmente. Faz uso das probabilidades linguísticas, como por

exemplo: provável, improvável, que são interpretados como números *fuzzy* e manipulados pela sua aritmética. Manuseia todos os valores entre 0 e 1, tomando estes, como um limite apenas.

A ciência que se preocupa com os princípios formais do *raciocínio aproximado*. Procura modelar os modos imprecisos do raciocínio que têm um papel fundamental na habilidade humana de tomar decisões. Uma solução é a Lógica Fuzzy

Esta é uma modalidade da Lógica capaz de tratar conceitos vagos, imprecisos ou ambíguos, em geral descritas na linguagem natural humana – e convertê-los para um formato numérico, de fácil processamento computacional (Shaw *et al.* 1999).

Nesta lógica, existe a possibilidade de um elemento pertencer a mais de um conjunto, e em graus diversos, diferentemente dos conjuntos tradicionais. A pertinência de um elemento num conjunto fuzzy não é uma questão de afirmação ou negação, mas uma questão de grau [Klir e Yuan 1995]. Este grau representa um nível de compatibilidade do elemento sobre o conjunto, na qual o valor zero significa não participação, o valor um significa participação plena e demais valores entre zero e um significam participação parcial.

Os graus de pertinência são obtidos através de funções denominadas *funções de pertinência*, que podem ser representadas por formas geométricas diversas. As principais são: triangular, trapezoidal e gaussiana. O formato da função de pertinência é inerente à relação dos dados com o que eles representam. Os responsáveis por modelá-las devem escolher uma representação que se aproxima melhor do comportamento das variáveis lingüísticas relacionadas (Cox, 1994).

Um tópico importante na lógica fuzzy está na definição de variável lingüística. “Uma variável lingüística é uma variável cujos valores são palavras ou sentenças na forma de linguagens naturais” (Silva, 2001). Ela é usada para representar a semântica de seus conjuntos. Por exemplo: velocidade, temperatura, peso, altura, aceleração, beleza, satisfação, etc.

As variáveis lingüísticas são compostas por termos lingüísticos – que representam conjuntos fuzzy. Por exemplo, a variável lingüística temperatura pode ser composta pelos termos lingüísticos: “muito quente”, “quente”, “morno”, “frio” e “muito frio”. O termo lingüístico “quente”, por exemplo, comporta elementos cujo grau de pertinência está associado a esta semântica.

Fornece os fundamentos para efetuar o raciocínio aproximado, com proposições imprecisas, utilizando a teoria de conjuntos nebulosos como ferramenta principal.

### Histórico da lógica fuzzy

Aristóteles (384-322 a.C.) foi o primeiro estudioso a fazer uma representação do processo do pensamento, através da sistematização do raciocínio lógico.

- *Bivalência* é Desde Aristóteles, a Lógica Clássica se baseia em bivalência  $V, F$  – (Lei da Não-Contradição :

$$A \cap \sim A = \emptyset$$

- *Multivalência* é Desenvolvida por Lukasiewicz para lidar com o Princípio da Incerteza na Mecânica Quântica  $V, F, IN$  – 1920 - 3 valores/1930 - n valores
- *Lógica Fuzzy* é Desenvolvida por Lofti Zadeh (1965 - Fuzzy Sets) onde os elementos pertencem a um certo conjunto com diferentes graus (*grau de pertinência*).

A lógica aristotélica permaneceu como Aristóteles a estruturou durante vários séculos até o surgimento das lógicas não clássicas no século XIX com A. De Morgan (1806-1871), Boole (1815-1864), G. Frege (1848-1925) e Bertrand Russell (1872-1970). G. Leibniz (1646-1716), Saccheri (1667-1733) e J. H. Lambert (1728-1777) fizeram tentativas de matematizar a lógica, mas foi George Boole que estruturou a lógica matemática.

As primeiras noções da lógica dos conceitos "vagos" foi desenvolvida por um lógico polonês Jan Lukasiewicz (1878-1956) em 1920 que introduziu conjuntos com graus de pertinência sendo 0,  $\frac{1}{2}$  e 1 e, mais tarde, expandiu para um número infinito de valores entre 0 e 1. A primeira publicação sobre lógica fuzzy data de 1965, quando recebeu este nome. Seu autor foi Lotfi Asker Zadeh (Zah-

da), professor em Berkeley, Universidade da Califórnia. Zadeh criou a lógica fuzzy combinando os conceitos da lógica clássica e os conjuntos de Lukasiewicz, definindo graus de pertinência.

Entre 1970 e 1980 as aplicações industriais da lógica fuzzy aconteceram com maior importância na Europa e após 1980, o Japão iniciou seu uso com aplicações na indústria. Algumas das primeiras aplicações foram em um tratamento de água feito pela Fuji Electric em 1983 e pela Hitachi em um sistema de metrô inaugurado em 1987. Por volta de 1990 é que a lógica fuzzy despertou um maior interesse em empresas dos Estados Unidos.

Devido ao desenvolvimento e as inúmeras possibilidades práticas dos sistemas fuzzy e o grande sucesso comercial de suas aplicações, a lógica fuzzy é considerada hoje uma técnica "standard" e tem uma ampla aceitação na área de controle de processos industriais

A Lógica Nebulosa cresceu no mercado comercial devido à resistência dos cientistas, para então se desenvolver nas universidades. Segundo Velasco (2006), a tabela 1 a seguir mostra a evolução de aplicações conhecidas e importantes nas áreas comerciais e industriais, no Japão, apresentando os seguintes números:

Tabela 1: Evolução das aplicações conhecidas e importantes nas áreas comerciais e industriais no Japão, que utilizam lógica FUZZY

Ano	Número de aplicações
1986	8
1987	15
1988	50
1989	100
1990	150
1991	300
1992	800
1993	1500

Fonte: Tese de doutorado, Edgard Martins, 2010.

As aplicações nas diversas áreas da sociedade tem as seguintes representações :

- Controle
  - Controle de Aeronave (Rockwell Corp.)
  - Operação do Metrô de Sendai (Hitachi)
  - Transmissão Automática (Nissan, Subaru)
  - Space Shuttle Docking (NASA)
- Otimização e Planejamento
  - Elevadores (Hitachi, Fujitech, Mitsubishi)
  - Análise do Mercado de Ações (Yamaichi)
- Análise de Sinais
  - Ajuste da Imagem de TV (Sony)
  - Autofocus para Câmera de Video (Canon)
  - Estabilizador de Imagens de Video (Panasonic)

Devido às suas propriedades, a lógica fuzzy tem sido utilizada em áreas como: Sistemas Especialistas, Computação com Palavras, Raciocínio Aproximado, Linguagem Natural, Controle de Processos, Robótica, Modelagem de Sistemas Parcialmente Abertos, Reconhecimento de Padrões, Processos de Tomada de Decisão (*Decision Making*), entre outras.

Sistemas especialistas são programas de computador de conhecimento intensivo, obtido pela perícia de especialistas em domínios limitados do conhecimento. Eles podem auxiliar na tomada de decisão levantando questões relevantes e explicando as razões para adotar certas ações.

Os programas tradicionais requerem precisão e certeza (também chamado de crisp): ligado ou desligado, sim ou não, certo ou errado. Porém isso não acontece no mundo real. Sabemos que 50oC

é quente e que  $-40^{\circ}\text{C}$  é gelado; mas  $23^{\circ}\text{C}$  é quente, morno, ameno ou frio? A resposta depende de fatores como o vento, umidade, a experiência pessoal e a roupa que cada um está usando.

Um Sistema não-linear de mapeamento de um vetor de entrada em uma saída escalar, capaz de incorporar tanto o conhecimento objetivo quanto o conhecimento subjetivo.

- Conhecimento Objetivo
  - Usado na formulação de problemas de engenharia e modelos matemáticos
- Conhecimento Subjetivo
  - Representa a informação lingüística que é geralmente impossível de quantificar usando matemática tradicional

Princípio da Incompatibilidade estudado por Lofti Zadeh

Conforme a complexidade de um sistema aumenta, a nossa habilidade de fazer declarações precisas e significativas sobre o comportamento do sistema diminui, até alcançar um limite além do qual precisão e relevância se tornam características mutuamente exclusivas

The closer one looks at a real world problem, the fuzzier becomes its solution. (Zadeh, 1965)

- Idéia Básica
  - Conjuntos Fuzzy são funções que mapeiam um valor escalar em um número entre 0 e 1, o qual indica o seu Grau de Pertinência a esse conjunto.

## Contextualização

***Porque utilizar a lógica fuzzy e não a lógica clássica? Em que situações isto pode auxiliar aos sistemas de controle internos de uma aeronave em situações críticas?***

A grande resposta a estas questões está sedimentada exatamente na história dos “comportamentos” do humano e da máquina em diversas situações, mesmos as não críticas e não relacionadas a perigo imediato que conduziram a acidentes fatais.

Os pressupostos utilizados (senso comum no campo na aviação) na capacitação e na tecnologia da aviação indicam que toda programação “ensinada” aos computadores e aos pilotos têm sido adequadas e corretas e ainda dentro de padrões internacionais e históricos. Mas porque acidentes acontecem, contrariando, muitas vezes, todo cenário técnico desenvolvido e instalado para funcionar com perfeição? É quase sempre “falha humana”? Porque os conceitos de capacitação (CRM, LOFS) não têm surgido efeito se tem sido aplicados há tanto tempo?

É necessário desconstruir estes padrões.

A mente humana abrange muito mais do que a memória. Nas funções mentais participam a percepção, o nível de alerta, a seleção do que queremos perceber, recordar ou aprender, a decisão sobre o que queremos fazer ou deixar de fazer, a vontade, a compreensão, os sentimentos, as emoções, os estados de ânimo e tudo aquilo que é englobado sob os conceitos de inteligência e consciência. Todas as funções mentais são fortemente influenciadas pelas memórias e vice-versa; mas são entidades separadas da mesma e com mecanismos próprios.

É claro que todos estes fenômenos por sua vez afetam a curto e a longo prazo a atividade nervosa e, dentro dela, as funções mentais, inclusive as referentes à memória. Há uma relação mente/corpo que é a base da atividade cotidiana de ambos, e também da patologia chamada psicossomática; que não só existe, como é uma das bases da Psiquiatria e da Medicina modernas. ***A mente humana*** O estresse repetido pode alterar alguns dos parâmetros fisiológicos (pressão arterial, frequência cardíaca, secreção gástrica) de forma permanente. Como prever, frente a uma determinada circunstância, se haverá algum cruzamento remoto de informações que nos fará reagir de alguma maneira inesperada? E podemos ainda apontar que o estresse repetido pode alterar alguns dos parâmetros fisiológicos (pressão arterial, frequência cardíaca, secreção gástrica) de forma permanente (Bonilla, 2004). Então levantamos um questionamento: Como prever, frente a uma determinada

circunstância, se haverá algum cruzamento remoto de informações que fará o Humano reagir de alguma maneira inesperada ? **A formulação da hipótese – aplicação ampla da lógica fuzzy**

### *Uma teoria -Os conjuntos diferenciais de significância*

Mas ao estudar a aprendizagem de um conceito isolado, deve-se analisar as alternativas de significado, conforme diferentes campos conceituais. Vergnaud (1990) diz que “O conhecimento se encontra organizado em campos conceituais, dos quais o sujeito se apropria ao longo do tempo.

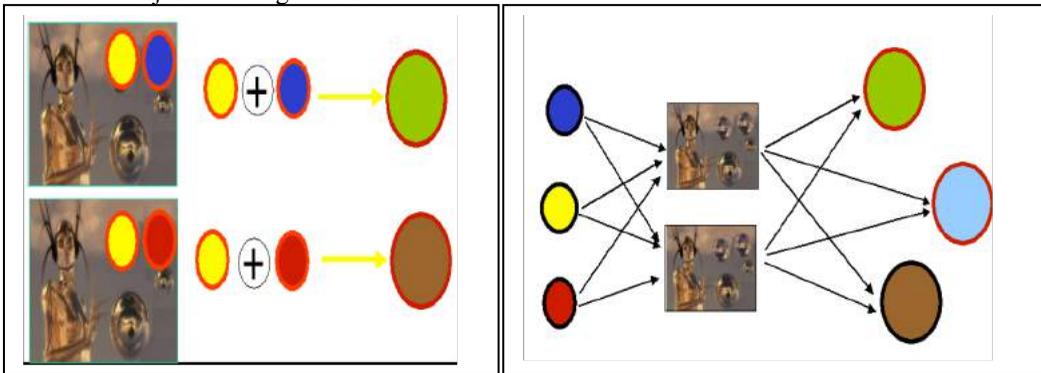
Um campo conceitual é um conjunto de situações cujo domínio requer uma variedade de conceitos, de procedimentos e de representações simbólicas em estreita conexão”.

Mas, podem existir diferenças de significado de conceitos combinados: Situações diferentes, situados no mesmo campo conceitual com significâncias diferentes para determinados conceitos ou modificações dos conceitos situações diferentes. Esta teoria chamamos de conjuntos diferenciais de significância. Esta teoria não invalida a teoria de Vergnaud mas a faz aplicar com diferenciação em situações que exigem significados diferentes aos conceitos aplicados.

Igualmente os subsunçores que apoiarão as decisões devem ser “coletados e organizados” de forma diferente para ancorar um cenário fora do planejado. Citamos o exemplo do acidente do Airbus A-320 em Congonhas em São Paulo. Houve efetivamente uma assincronia na avaliação do computador e do piloto. Podemos registrar este caso da seguinte forma: Um não “sabia” o que o outro estava fazendo.

Esta teoria não só promove oportunidade e quase necessidade para aplicação da lógica fuzzy na programação de computadores que apóiam controle de máquinas complexas que se enquadram neste caso, como também provoca uma longa reflexão nos processos de capacitação dos pilotos que pilotam máquinas complexas onde podem acontecer cenários diferenciados que provocam significados diferentes em diferentes situações estabelecidas em campos diferentes. A figura 9 seguir simboliza significados que conceitos podem assumir, dependendo de se situarem ou se combinarem com conjuntos ou situações diferentes:

Figura 9: Diferentes significados que os subsunçores podem assumir em diferentes situações- são diferentes conjuntos de significância



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Existem diferenças de significado de conceitos combinados: Situações diferentes, no mesmo campo conceitual – significâncias diferentes

- Situações diferentes, no mesmo campo conceitual – significâncias iguais Situações diferentes, em campos conceituais diferentes– significâncias iguais Situações diferentes, em campos conceituais diferentes – significâncias diferentes Situações

iguais, em campos conceituais diferentes– significâncias diferentesO conceito de atitude emergencial tem um significado no controle de máquinas combinadas com humanos. O conceito de atitude emergencial pode ter outro significado nas máquinas complexas com controle combinado de computadores e humanos. Ou mesmo pode acontecer outro significado em situações não previstas e emergenciais***Os problemas na operação Humano-Computador-A automação e as razões da desconstrução dos padrões:***

*1) O Humano pode falhar*

A mente humana é vulnerável a fenômenos que podem modificar o comportamento previsto em postos de trabalho, quebrando a estabilidade do processo “cognitivo” coletivo e proporcionando condições que podem conduzir a acidentes.

Em situações não normais de comportamento inesperado do Humano e muito mais perigosas e complexas o problema e a solução se agrava. A principal razão desta perspectiva é a variabilidade humana. Outra razão é o funcionamento irregular (vulnerável) da mente. Muitos atuadores de sustentação estão sendo cada vez mais automáticos tirando a sensibilidade do piloto para ações e reações para fazê-los operar. Isto significa desabilitação do piloto.

- Tirando as tarefas mais simples do piloto, a automação tende a tornar as tarefas mais complexas ainda mais difíceis porque:
  - A automação aumenta a carga cognitiva devido ao trabalho permanente de monitoração inerente de observar as mensagens apresentadas pelos computadores, de bordo que agora compartilham com os pilotos a tarefa de controlar a aeronave automatizada
  - Modificam o formato da tarefa de pilotar que o piloto estruturou em sua mente no aprendizado nas escolas de aviação e que não utilizam aviões automatizados
- Muitos projetistas de sistemas tratam o ser humano como não confiável ou ineficiente. Assim eles deixam para as pessoas tarefas que não puderam ser automatizadas, porque não puderam ser previstas no âmbito do projeto, isto é, as tarefas de maior nível de complexidade;
- Nos sistemas com elevado grau de automação, a tarefa do operador é monitorar o sistema para garantir o funcionamento adequado da automação. Mas é sabido que mesmo as pessoas mais motivadas para o trabalho têm dificuldade em manter um estado de vigilância por longos períodos de tempo. Sendo assim, elas ficam mais propensas a não perceber de imediato as raras falhas da automação.

Segundo o piloto Marco Antonio Rocha, piloto da Singapore Airlines, no treinamento do Boeing 777, doutrina-se o piloto a usar os seguros sistemas de apoio computadorizados, durante a execução de sua tarefa de pilotar a aeronave durante a maior parte do voo. Estes sistemas automatizados em aeronaves passam a exigir dos pilotos, conhecimentos e habilidades inerentes à operação com computadores. Vê-se na figura 10, o Comandante Rocha no posto de trabalho do piloto do Boeing 767 que mais aparenta uma mesa de operador de computadores.

Figura 10: O posto de trabalho de uma aeronave altamente automatizada. Um Piloto ou um operador de computadores?



*Fonte: Acervo de Edgar Thomas Martins, 2010 (com autorização dos pilotos da Sair).*

As habilidades precisam ser constantemente praticadas de modo a serem preservadas. Como sistemas automáticos falham muito raramente, o operador tem poucas chances de praticar as habilidades que serão exigidas durante uma emergência. Assim os operadores tendem a ficar inábeis justamente para realizar as tarefas que justificam sua existência. E como aponta Branco (1999) a ironia final é que os mais bem sucedidos sistemas automáticos, os que necessitam de raras intervenções dos operadores são aqueles necessitam de maior investimento para o treinamento.

Sob o ponto de vista da ergonomia, os modelos mentais destes usuários, se tornam muito diferentes com o avanço da tecnologia. Dogmas como :

...O piloto precisa “fazer parte “da aeronave !  
 ...O piloto “sente” o voo no “corpo”!

São progressivamente apagados ou atrofiados. A automação e perda da sensibilidade do “piloto” em relação ao avião. A troca: Novas tecnologias de segurança e automação versus sensibilidade da aeronave. O voo não precisa ser mais dependente integralmente do piloto durante todas as fases do voo. Os instrumentos multifuncionais de tecnologia computadorizada e a robótica implementam muitas de suas funções. Resta ao piloto “monitorar” os computadores.

## *2) O computador pode agir errado se não for programado adequadamente*

Em situações normais estas situações devem ser previstas e devem ser incorporadas aos computadores mesmo que fujam aos aspectos cartesianos e da lógica clássica, estabelecendo nebulosidade entre o verdadeiro e o falso, entre o certo e o errado, entre o zero e o um, entre o preto e o branco, porque na vida real acontece desta maneira. Isto se traduz na necessidade de utilização da lógica fuzzy.

A aviação de transporte apresenta índices de acidentes aeronáuticos acima da média mundial que, entretanto tem plenas condições de melhorar. O problema se agrava com as novas tecnologias, pois devido ao nosso poder econômico temos de conviver muito mais tempo com a obsolescência de aeronaves antigas, porém operacionais. E convê-se também com o estado da arte na aviação refletida pela tecnologia emergente imposta nos equipamentos.

É senso comum que os sistemas automáticos falham muito raramente. Os registros da FAA (1996) indicam que o piloto tem poucas chances de praticar as habilidades que serão exigidas durante uma emergência porque existe excesso de confiança geral nos novos equipamentos e porque os custos são muito altos para suprir uma falha que as empresas de aviação não acreditam que possa ocorrer, principalmente com aeronaves novas que integram modernas tecnologias . Assim os operadores tendem a ficar inábeis justamente para realizar as tarefas que justificam sua existência. Vê-se

nas figs. 62a e 62b cockpits de duas grandes aeronaves, o Boeing B-52 e o Boeing 777 apresentando profundas alterações na interface humano-máquina.

*3) O ser humano pode não saber se o computador está agindo para retirar a aeronave do perigo. Nem sempre o piloto sabe o que o computador está fazendo*

Os sistemas automatizados, algumas poucas vezes, têm deixado os pilotos em situação de risco por não saberem que atitudes os controles automáticos estão tomando em determinado momento. É importante tratar ergonomicamente o trabalho de tripulação de aeronaves. Segundo foi tratado em um simpósio sobre CRM versando sobre Gerenciamento de equipes na aviação, Jenkins (2004) reforça que são escassos os estudos deste tipo no campo da fisiologia do trabalho, de ergonomia e da usabilidade nas aeronaves em nosso País.

A aviação de transporte apresenta índices de acidentes aeronáuticos acima da média mundial que, entretanto tem plenas condições de melhorar. O problema se agrava com as novas tecnologias, pois devido ao nosso poder econômico temos de conviver muito mais tempo com a obsolescência de aeronaves antigas, porém operacionais. E convivê-se também com o estado da arte na aviação refletida pela tecnologia emergente imposta nos equipamentos

A assincronia no processo de “aprendizado” das máquinas e dos humanos são um fenômeno amplamente conhecido na aviação. Os registros oficiais de acidentes da NTSB (National Transportation Safety Board) mostram este problema. Podemos citar um caso claro de capacitação no acidente do Embraer Legacy com o Boeing da Gol no Brasil. Esta questão está até agora sem resposta: os jovens pilotos foram adequadamente treinados para acionar corretamente o equipamento chamado transponder cujo botão de acionamento/ desligamento se apresenta no painel da aeronave com muita similaridade e proximidade com outros? Um treinamento de cinco horas de vôo não simulado para uma aeronave altamente automatizada e complexa é suficiente para capacitá-los a realizar uma pilotagem longa como Campinas (Brasil) – Atlanta (Estados Unidos) ? Estes pilotos com um histórico que , apesar de jovens, tem uma folha de pilotagem sem mácula mas neste vôo cometem um erro que expôs perigosamente a aeronave que pilotavam ao acidente que vitimou 157 inocentes da outra aeronave e que por milagre não os vitimou também?

*4) O computador pode bloquear ações do piloto por não saber se o humano está agindo fora dos padrões mas na realidade está retirando efetivamente o avião do perigo. Pode ocorrer insuficiência destas ações em sua programação (a história mostra). Suas lógicas são diferentes (clássica para os computadores e fuzzy para o humano)*

Segundo Silva Filho (1999), Os computadores de bordo nos aviões automatizados podem ser operados manualmente e existem ocasiões onde é melhor não usar automatismos. O segredo está em reconhecer quando a automação está prejudicando e ter a capacidade de selecionar um modo de operação da aeronave mais adequado ou mesmo passar a vôo de forma manual”.

Prossegue o autor e piloto: “Os sistemas automatizados fornecem aos pilotos uma vasta gama de informações e possibilidades para as quais, os tripulantes têm que estar perfeitamente treinados, sob pena de serem superados e vencidos pelo sistema - uma situação que oferece o permanente risco de ser o elo da cadeia de um incidente ou acidente”

Promover avaliações do processo de capacitação de pilotos e da programação dos computadores, para assegurar:

Processo inicial: Ajustes no aprendizado para assegurar competências no desenvolvimento de uma rede de conhecimentos distribuídos Humano-computador que possa promover eventuais falhas em ações recíprocas. Hoje cada componente do controle Humano e Computador atua para suprir as falhas do “parceiro”. O sistema sendo corretamente planejado e “ensinado” não ocorrerão assincronias de comportamento. Esta situação precisa ser estável para evitar “invasões” de procedimentos de ambas as partes: Humano ou Computador. Esta é a situação mais frustrante de toda a aviação. O piloto faz seus últimos esforços para salvar uma aeronave e o computador atua com uma contra

medidas. Ou acontece o caso contrário., o humano agindo para bloquear as ações do computador. Isto acontece porque:

1. O computador não tem em sua programação, medidas não formais e cartesianas que foram adotadas imediatamente pelo piloto, pois sua lógica não é a booleana. O computador nesta situação avalia que o piloto está errando neste momento, pois foi “ensinado” a agir assim.
2. O Humano desconhece toda programação do computador e a que se refere.
3. Não existe uma capacitação que simula, avalie e promova correções necessárias. Casos de efetividade destas situações: Ambas em São Paulo no aeroporto de Congonhas, coincidentemente com a mesma empresa de aviação.

### **Conclusões: já foi realizada uma experiência importante na área de aviação utilizando lógica fuzzy**

Segundo Amorim(2007) tomadas de decisões são tarefas inerentes à profissão de controlador de tráfego aéreo. Os controladores de tráfego aéreo utilizam muitas informações precisas para tomar decisões, porém, também existem algumas que são imprecisas ou vagas como, por exemplo, uma autorização emitida a um helicóptero: “Taxie a *baixa altura* sobre a pista”.

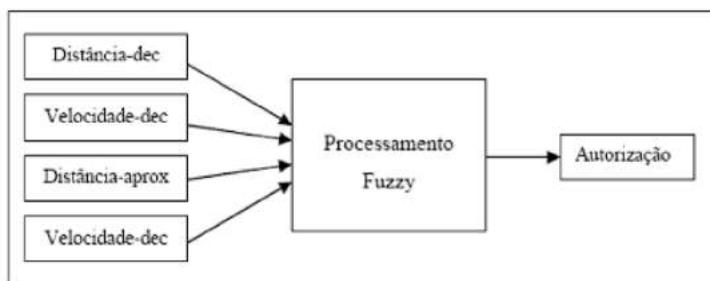
Através de uma pesquisa de campo realizada neste projeto com controladores de tráfego aéreo de Salvador e Brasília foi verificado que os controladores não têm uma definição precisa de velocidade de aeronaves em táxi, mas eles sabem que a aeronave está “lenta” ou “rápida” pela experiência que possuem. Eles também não sabem precisar a distância que uma aeronave está de um ponto de espera, mas tomam decisões através das posições em que ela se encontra: se ela está “perto” ou “longe” do ponto de espera. É importante salientar que muitas decisões em Controle de Tráfego Aéreo são tomadas baseadas nestas informações e na maioria dos casos são feitas de forma eficiente, mesmo não havendo precisão.

Após a análise dos questionários direcionados aos controladores especialistas, foi possível listar os itens mais relevantes na avaliação da tomada de decisão: tipo das aeronaves envolvidas, posição e velocidade da aeronave que está por decolar e posição e velocidade da aeronave que se aproxima para pouso.

As definições dos termos lingüísticos para cada variável lingüística foram obtidas a partir do grupo de especialistas, porém, os valores numéricos limites associados a estes termos foram obtidos através de equipamentos de visualização radar na Torre de Controle, mapas do aeroporto e perguntas dirigidas aos pilotos quando em operação.

Diante destas informações, foi possível modelar a estrutura do sistema fuzzy. Na Figura 11 é representado o esquema do sistema.

Figura 11: Esquema do sistema fuzzy



Fonte: Imagem de Edgard Thomas Martins, 2010.

Amorim(2007) aponta para a análise dos resultados deste modelo, afirmando que é possível criar ferramentas baseadas em lógica fuzzy para o auxílio à tomada de decisão em Controle de Tráfego Aéreo, desde que estas ferramentas possam ser amplamente testadas e validadas. Este modelo possui um índice de risco consideravelmente alto (6,7%) para os padrões de segurança em Controle de Tráfego Aéreo. Esta experiência robustece a hipótese de aplicar esta lógica em computadores de

bordo. O grupo de especialistas de tráfego aéreo envolvido na pesquisa e experiência de Amorim (op.cit) aprovou com ressalvas o uso da ferramenta, exigindo um aperfeiçoamento do modelo para que esta se torne plenamente operacional. Contudo, um ponto também a ser analisado está na dificuldade do ser humano em utilizar e confiar nestes tipos de ferramentas para ambientes altamente dinâmicos, complexos e de riscos.

A percepção adquirida foi que esta ferramenta não pode substituir o controlador de tráfego aéreo humano, devido aos diversos fatores ligados à experiência do ser humano e que atualmente não são suficientemente contemplados em ferramentas computacionais.

Neste trabalho foram realizadas somente sessenta análises da aplicabilidade do modelo, quantidade julgada como insuficiente para se ter um diagnóstico efetivo a respeito do modelo. Este requisito é corroborado por McNeill e Thro (1994, que indicam a necessidade de uma dedicação maior para as fases de teste, simulação e validação de sistemas fuzzy.

A principal limitação deste trabalho indica que apenas alguns tipos de aeronaves foram contempladas e que aplicações deste tipo de testes no ambiente operacional envolve um grande risco para as operações de Controle de Tráfego Aéreo.

E utilizando a experiência de Amorim (2007), é importante que se construa um modelo que utilize muitas variáveis de entrada e se analise o desempenho nos resultados do sistema, além da análise do custo computacional em relação ao modelo proposto. Algumas variáveis candidatas devem ser identificadas para serem previstas todas as alternativas do sistema como aspectos meteorológicos, condições adversas de vento, altura de nuvens, vários outros tipos de aeronaves, dentre outras, pois estes fatores também afetam o cenário de decisão.

Por fim, outra possibilidade seria a implementação de um modelo maduro e rigorosamente testado, uma vez que o modelo a ser considerado deve contemplar todas as variáveis possíveis utilizadas para tomada de decisão. Para um modelo mais completo e autônomo, é bem provável que sua implementação possa ser utilizada, já que as variáveis de entrada, possam ser coletadas por meio eletrônico através de sistemas de radares, sensores e informações de sistemas existentes em operação. Uma grande dificuldade para implementação deste modelo será a estrutura lógica dos simuladores de vôo de hoje que utilizam em quase na totalidade, a lógica clássica booleana. Desta forma, o treinamento de pilotos e a programação dos computadores de bordo só será realizado nos padrões da lógica fuzzy se houver um convencimento de grandes fabricante para, adotarem ainda que, lenta e gradualmente no processo de programação dos computadores de bordo. Mas conforme vimos, existe uma grande progressão nas aplicações nas diversas áreas da sociedade e mais cedo do que imaginamos esta poderá ser utilizada na aviação, a bordo da aeronaves..

Recomendamos, ainda que a médio e longo prazos:

1. Estabelecer os ajustes de competências no desenvolvimento na rede de conhecimentos distribuídos para implantar uma profunda avaliação e monitoração constante dos conhecimentos e uma realizando uma contínua avaliação da permanência destes conhecimentos na mente dos pilotos.
2. Estruturar e transformar a avaliação que os computadores realizam cartesianamente dos cenários e conceitos de perigo utilizando lógica fuzzy, avaliando de forma diferente, de forma mais ampla e menos exata e que trate todas possibilidades realizando uma análise CONJUNTA de elementos, que combinados de forma não linear e não booleana, possam representar uma nova situação, cujos subsunçores podem significar ações, procedimentos e saídas indicadas por estas máquinas para situações diferentes que representem perigo para o piloto da aeronave, para bens materiais e para a sociedade em geral.

## REFERÊNCIAS

- Amorim, C.A. & Pereira Lima, M. (2007). Proposta de um modelo fuzzy para apoio à tomada de decisão no Controle de Tráfego Aéreo do Aeroporto Internacional de Salvador-1 Departamento de Ciências Exatas e da Terra – Colegiado de Análise de Sistemas – Universidade do Estado da Bahia (UNEB).
- Ausubel, D. P. (1982). *A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes.
- (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Ausubel, D.P., Novak, J.D. & Hanesian, H. (1978). *Educational psychology*. New York: Holt.
- (1978). *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Rinehart and Winston.
- (1980). *Psicologia Educacional*. Rio De Janeiro: Ed. Interamericana.
- Babic, O. & Krstic, T. (1998). Airspace daily operational sectorization by fuzzy logic. *Fuzzy Sets and Systems*, 116(1), pp. 49-64.
- Bakhtin, M. (1995). *Marxismo e filosofia da linguagem*. São Paulo: Hucitec.
- Bechtel, W. & Abrahamsen, A. (2002). *Connectionism and the mind. Parallel processing, dynamics, and evolution in networks*. Oxford: Blackwell.
- Brasil. Ministério da Defesa (1999). IMA 100 -12: Regras do Ar e Serviços de Tráfego Aéreo. Brasília.
- (2002). Navegação Aérea. Escola de Especialistas de Aeronáutica, Guaratinguetá.
- Bruno et al. (2006, novembro). *Metodologia de desenvolvimento de objetos de aprendizagem com foco na aprendizagem significativa*. XVII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação, Brasília.
- Chafe, W. (1994). *Discourse, Consciousness, and Time*. Chicago: University of Chicago Press.
- Clark. H. (1992). *Arenas of Language Use*. Chicago: University of Chicago Press.
- Cox, E. (1994). *The Fuzzy Systems Handbook: a practitioner's guide to building, using, and maintaining fuzzy systems*. Londres: Academic.
- Dresner, E. (2000). Boolean algebra and natural language: a measurement theoretic approach. *Nordic Journal of Philosophical Logic*, 4(2), pp. 175–189.
- Feitosa, H. A. & Paulovich, L. (2001). *Um prelúdio à lógica*. Bauru.
- Frawley, W. (2000). *Vygotsky e a Ciência Cognitiva*. Porto Alegre: Artmed.
- Gershenson, C. (1998). *Lógica multidimensional: um modelo de lógica paraconsistente*. *Memorias del XI Congreso Nacional ANIEL*, pp. 132- 141.
- (1999). Modelling emotions with multidimensional logic. *Proceedings 18th International Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (NAFIPS'99)*, pp. 42-46.
- Gobara, S.T. e Moreira, M.A. (1986). Mapas conceituais no ensino de Física. *Ciência e Cultura*, 38(6), pp. 973-982.
- Gowin D. B. (1981). *Educating*. Ithaca: Cornell University Press.
- Hollan, J. D., Hutchins, E. & Kirsh, D. (1999). Distributed Cognition: A New Foundation for Human-Computer Interaction Research ... TOCHI Special Issue on Human- Computer Interaction in the New Millennium.
- Hu, X.-B. & Chen, W.-H. (2005). Receding Horizon Control for Aircraft Arrival Sequencing and Scheduling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 6(2).
- Hutchins, E. (1995). How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive Science*, 19, pp. 265-288.
- Infraero (2006). Movimento nos Aeroportos. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2006.
- Izquierdo, I. (ano). Centro de Memória do Instituto de Pesquisas Biomédicas da PUC-RS. Porto Alegre (RS), Brasil
- Karnik, N.N. e Mendel, J.M. (1998). Introduction to type-2 fuzzy logic systems. *Fuzzy Systems Proceedings, IEEE World Congress on Computational Intelligence. The 1998 IEEE International Conference. 2*, pp. 915-920.

- Kasabov, N. K. (1998). *Foundations of Neural Networks, Fuzzy Systems, and Knowledge Engineering*. Londres: Massachusetts Institute of Technology.
- Klir, G. J. e Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Londres: Prentice Hall.
- Kuchar, J. K. e Yang, L. C. (2000). A Review of Conflict Detection and Resolution Modeling Methods. In: *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1(4).
- Lima, M. P., Alves Amorim, C. (2005). Proposta de um modelo fuzzy para apoio à tomada de decisão no Controle de Tráfego Aéreo do Aeroporto Internacional de Salvador. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Marley, M.B.R. (2006). *A lógica nebulosa - ICA: Núcleo de Pesquisa em Inteligência Computacional Aplicada*. Rio: PUC.
- McNeill, F. M. & Thro, E. (1994). *Fuzzy Logic: a practical approach*. Londres: AP.
- Mendel, J. M. (1995). *Fuzzy Logic Systems for Engineerings: A Tutorial*. IEEE.
- (2001). *Uncertain rule-based fuzzy logic systems: introduction and new directions*. Londres: Prentice Hall.
- Minguet, P. A. (Org.). (1998). *A construção do conhecimento na educação*. Porto Alegre: Artmed.
- Mintzes, J., Wandersee, J. E Novak, J. (2000). *Ensinando A Ciência Para A Compreensão*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Moran, J. M. (1998). *Mudanças na comunicação pessoal: gerenciamento integrado da comunicação pessoal, social e tecnológica*. São Paulo: Paulinas.
- Moreira, M.A. (1983). *Uma abordagem cognitivista no ensino da Física*. Porto Alegre: Editora
- (1998). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Ed. da UnB.
- (1999). *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora da UnB.
- Moreira, M. e Buchweitz, B. (1993). *Novas Estratégias De Ensino E Aprendizagem*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Novak, J. (1992). *A Theory Of Education, Second Edition (Draft)*. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press.
- Novak, J.D. Gowin, D.B. (1996). *Aprender a aprender*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Oliveira, L. F. (ano). A Flexibilização da Lógica em Direção a uma Melhor Modelagem da Mente pela IA– Artigo- Programa de Pós-graduação em Filosofia, área de concentração em Ciência Cognitiva e Filosofia da Mente. Faculdade de Filosofia e Ciências UNESP.
- Piaget, J. (1997). *O diálogo com a criança e o desenvolvimento do raciocínio*. São Paulo: Scipione.
- Pierce, C. S. (2000). *Semiótica*. São Paulo: Perspectiva.
- Pinker, S. (2000). *Como a mente funciona*. São Paulo: Editora Edgard Buker.
- Profillidis, V. A. (2000). Econometric and fuzzy models for the forecast of demand in the airport of Rhodes. *Journal of Air Transport Management*, 6(2), pp. 95-100.
- Saipher ATC (2007). Saipher Tower Management System. Disponível em: <http://www.saipher.com.br/stms.asp>. Acesso em: 09 de março de 2007.
- Salvador, C. C. et al. (2000). *Psicologia do ensino*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul.
- Schumaker, E.F. (1979). *Good Work*. New York: Harper.
- Searle, J. (1980). Minds, brains, and programs. *The behavioural and brain sciences*, 3, pp. 417-424.
- Seltzer, V.W. (1988). O computador no ensino: nova vida ou destruição? In E.O. Chaves e V.W.Setzer, *O uso de Computadores em Escolas - Fundamentos e Críticas*. São Paulo: Scipione.
- (1994). Computadores na educação: porquê, quando e como. *Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Informática na Educação* (pp. 210-223). Porto Alegre: Sociedade Brasileira da Computação.
- (1997). O computador como instrumento de anti-arte. *Anais do VIII Simposio Brasileiro de Informática na Educação* (pp. 509-530). Porto Alegre: Sociedade Brasileira da Computação.
- Sensis Corporation (2007). Airport Surface Detection Equipment Model X (ASDE-X). Disponível em: <http://www.sensis.com/docs/128/>. Acesso em: 09 de março de 2007.
- Shaw, I. S. e Simões, M. G. (1999). *Controle e Modelagem Fuzzy*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda.
- Silva, A. N. (2001). Gerenciamento Pró-Ativo de Redes de Computadores baseado em Agentes Móveis e Lógica Fuzzy. Recife: Universidade Federal de Pernambuco.

- The Mathworks INC (1999). Fuzzy Logic Toolbox for use in Matlab User's Guide. <http://www.mathworks.com/fuzzy/fp351dup8.html>, Janeiro, 2006. Ithaca, N.Y.: Cornell University Press. Universidade do Estado da Bahia (UNEB)
- Valadares, J.; Pereira, D. (1991). *Didáctica Da Física E Da Química*. Lisboa: Universidade Aberta.
- Wadler, P. (2000). *Proofs are Programs: 19th Century Logic and 21st Century Computing*.
- Vergnaud, G. (2003). *A formação de significados*. São Paulo: Blucker edit.
- Wolff, C. (2007). Surface Movement Radar. Disponível em: [www.radartutorial.eu/02.basics/rp15.em.html](http://www.radartutorial.eu/02.basics/rp15.em.html). Acesso em: 15 de março de 2007.
- Yen, J. (1989). *Fuzzy logic: a modern perspective*. In: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 11(1).
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, pp. 338-53.
- (1971). *Toward a theory of fuzzy systems*. In: Kalman, R. E. e DeClaris, N. (Eds), *Aspects of network and system theory* (pp. 469-490). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Ziemke, T. e Sharkey, N. E. (2001). A stroll through the words of robots and animals: applying Jakob von Uexküll's theory of meaning to adaptive robots and artificial life. *Semiótica*, 134(1/4), pp. 701-746.

## SOBRE OS AUTORES

**Edgard Thomas Martins:** Doutor em Saúde Pública, Mestre em Design, Especialização em Engenharia Econômica, Administração Industrial e Redes de computadores. Vice coordenador do Departamento. Coordenador Geral de Monitorias do Centro do Agreste. Professor do Bacharelado. Professor do Programa de pós-graduação, mestrado e especialização. Professor de Empreendedorismo, Qualidade de Design, Gestão em Design, Engenharia Econômica, economia, Redes de Computadores, Organização e arquitetura de computadores.

**Isnard Thomas Martins:** Doutor em Engenharia de Produção, Mestre em Design, Bacharel em Economia. Professor senior, pesquisador, Especializado em EAD, Especializado em Informática e telemática . Especializado em Redes Neurais e reconhecimento facial cibernético.