

Aplicação de Lógica Fuzzy em Guerra Eletrônica

André Paim Gonçalves – Capitão-Tenente - Marinha do Brasil

Instituto Tecnológico da Aeronáutica - Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - CEP 12228-900. SP - Brasil

Resumo — Este artigo propõe uma solução para o problema de respostas cada vez mais rápidas e mais precisas requeridas por um cenário tático de múltiplas ameaças. Esta proposta encontra-se alicerçada no uso de Lógica Fuzzy ou Nebulosa, onde é sugerida a confecção de algoritmos para serem implementados por software e/ou por hardware. Advindo disto, delinea-se um sistema de auxílio a decisão de forma modular, começando por um mecanismo de extração de dados (acompanhador de plots), identificador de alvos e o tomador de decisão.

Palavras-chaves — Lógica Fuzzy, Lógica Nebulosa, Lógica Difusa, Especialista de Domínio de Guerra Eletrônica.

I. INTRODUÇÃO

Deste os tempos de Sun Tzu até hoje muito se alterou no teatro de operações, mas alguns princípios continuam vigentes até atualidade como, por exemplo, a necessidade de conhecer a si mesmo, ao inimigo e ao terreno, ou seja, ter informações sobre estes três elementos. É o que chamamos hoje de consciência situacional.

Houve, desde a metade do século passado, um incremento considerável na velocidade dos vetores e um aumento ainda maior na velocidade da transmissão da informação. Deve-se, portanto, buscar uma coerência entre as concepções de emprego e as tecnologias existentes para alcançar a máxima sinergia no emprego do poder aéreo [1].

Aproveitando-se das idéias acima, é possível trazer para um cenário mais amplo, isto é, para as três forças singulares, a necessidade de processamento da situação tática em tempo real. Advindo dessa, tem-se que implementar e implantar sistemas que utilizem os conhecimentos em Guerra Eletrônica, Inteligência Artificial, Telecomunicações, entre outras, visando suplantando essa dificuldade do ser Humano em processar e responder de forma rápida. Hoje essa tecnologia deverá ser dominada para ser garantida a soberania.

Como esse artigo não tem a pretensão de esgotar o assunto e sim apontar sugestões para resolver essa problemática é sugerido o uso de Lógica Fuzzy, pois nessa teoria leva-se em consideração respostas imprecisas, isto é, respostas que estão dentro de intervalo de valores e não uma resposta exata, o que torna o processamento o mais parecido com a forma do ser Humano raciocinar e, dependendo do Software e do Hardware, teremos compilações e soluções mais rápidas dos problemas táticos.

Na seção que trata da fundamentação teórica alicerçará as propostas de emprego trazendo a idéia de Conjuntos Fuzzy, Variáveis Linguísticas e Função de Pertinência. Na seção III serão expostas as sugestões de emprego de Lógica Nebulosa em acompanhadores de plots, identificadores de plataformas, tomadores de decisão e simuladores de guerra eletrônica e

ainda é comentado o processo de obtenção de dados, informação e de conhecimento. Na seção IV será discorrida uma breve conclusão onde se verificará que o cenário moderno pode ser domado com ferramentas como a lógica fuzzy.

II. FUNDAMENTAÇÃO

A. Conjuntos Fuzzy ou Nebulosos

Para tanto, devemos entender um pouco sobre a Lógica Fuzzy. Transcreve-se um pequeno fragmento do texto de Ricardo Tanscheit sobre Lógica Fuzzy :

“Seres humanos são capazes de lidar com processos bastante complexos, baseados em informações imprecisas ou aproximadas. A estratégia adotada pelos operadores humanos é também de natureza imprecisa e geralmente possível de ser expressa em termos linguísticos.

A Teoria de Conjuntos Fuzzy e os Conceitos de Lógica Fuzzy podem ser utilizados para traduzir em termos matemáticos a informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. Se um operador humano for capaz de articular sua estratégia de ação como um conjunto de regras da forma se ... então, um algoritmo passível de ser implementado em computador pode ser construído. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras, no qual a Teoria de Conjuntos Fuzzy e Lógica Fuzzy fornecem o ferramental matemático para se lidar com as tais regras linguísticas” [2].

Na teoria clássica dos conjuntos, o conceito de pertinência de um elemento a um conjunto fica bem definido. Dado um conjunto A em um universo X , os elementos deste universo simplesmente pertencem ou não pertencem àquele conjunto. Isto pode ser expresso pela função característica :

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{Se e somente se } x \in A \\ 0 & \text{Se e somente se } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Zadeh propôs uma caracterização mais ampla, generalizando a função característica de modo que ela pudesse assumir um número infinito de valores no intervalo $[0,1]$. Um conjunto fuzzy A em um universo X é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]$, e representado por um conjunto de pares ordenados $A = \{ \mu_A(x)/x \mid x \in X \}$ onde $\mu(x)_A$ indica o quanto x é compatível com o conjunto A . Um determinado elemento pode pertencer a mais de um conjunto fuzzy, com diferentes graus de pertinência.

O conjunto suporte de um conjunto fuzzy A é o conjunto de elementos no universo X para os quais $\mu_A(x) > 0$. Um conjunto fuzzy cujo suporte é um único ponto x' com

$\mu_A(x) = 1$ é chamado de conjunto unitário fuzzy ou singleton. Assim, um conjunto fuzzy também pode ser visto como o mapeamento do conjunto suporte no intervalo $[0,1]$, o que implica em expressar o conjunto fuzzy por sua função de pertinência. Conjuntos fuzzy podem ser definidos em universos contínuos ou discretos. Se o universo X for discreto e finito, o conjunto fuzzy A é normalmente representado por um vetor contendo os graus de pertinência no conjunto A dos elementos correspondentes de X ou por meio da seguinte notação (que não deve ser confundida com a soma algébrica):

$$\sum_{i=1}^n \mu_{A(x_i)} / x_i \quad (2)$$

Se o universo X for contínuo, emprega-se muitas vezes a seguinte notação (onde o símbolo de integral deve ser interpretado da mesma forma que o da soma no caso de um universo discreto) [2]:

$$\int_x \mu_{A(x)} / x \, dx \quad (3)$$

B. Variáveis Linguísticas.

Uma variável linguística é uma variável cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. Por exemplo, a temperatura de um determinado processo pode ser uma variável linguística assumindo valores baixa, média e alta. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência, conforme mostrado na fig1.

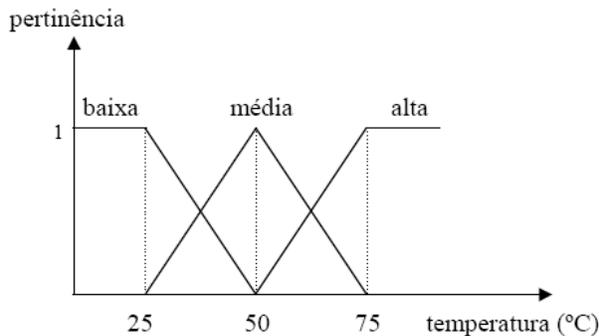


Fig. 1. Funções de pertinência para a variável temperatura

Generalizando, os valores de uma variável linguística podem ser sentenças em uma linguagem especificada, construídas a partir de termos primários (alto, baixo, pequeno, médio, grande, zero), de conectivos lógicos (negação não, conectivos e e ou), de modificadores (muito, pouco, levemente, extremamente) e de delimitadores (como parênteses).

A principal função das variáveis linguísticas é fornecer uma maneira sistemática para uma caracterização aproximada de fenômenos complexos ou mal definidos. Em essência, a utilização do tipo de descrição linguística empregada por seres humanos, e não de variáveis quantificadas, permite o tratamento de sistema analisados através de termos matemáticos convencionais. Formalmente, uma variável linguística é caracterizada por uma quintupla $(N, T(N), X, G, M)$,

onde o N é nome da variável; $T(N)$ é o conjunto de termos de N , ou seja, o conjunto de nomes dos valores lingüísticos de N ; X é o universo de discurso; G é a regra sintática para gerar os valores de N como uma composição de termos de $T(N)$, conectivos lógicos, modificadores e delimitadores e M é a regra semântica, para associar a cada valor gerado por G um conjunto fuzzy em X . No caso da variável temperatura da Fig. 1, ter-se-ia $N =$ temperatura; $T(N) = \{baixa, média, alta\}$; X de 0 a 100 °C (por exemplo); $G =$ temperatura não baixa e não muito alta, por exemplo; M associa o valor acima a um conjunto fuzzy cuja função de pertinência exprime o seu significado.

C. Funções de Pertinência.

As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas. Para exemplificar o quanto o contexto é relevante na definição de funções de pertinência e de sua distribuição ao longo de um dado universo, considere a variável linguística estatura (de pessoas), constituída dos seguintes termos: $T(estatura) = \{baixa, média, alta\}$. A esses faz-se corresponder conjuntos fuzzy A, B e C , respectivamente, definidos por suas funções de pertinência. Uma escolha possível de funções de pertinência seria a mostrada na fig.2.

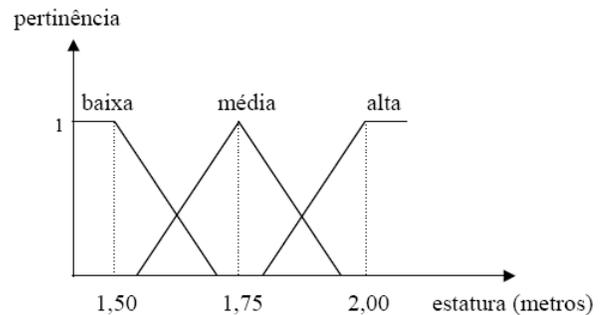


Fig. 2 – Funções de pertinência para a variável

Na definição acima, estaturas de até 1,5 metros apresentam grau de pertinência igual a 1 no conjunto A ; o grau de pertinência neste conjunto decresce à medida que a estatura aumenta. Considera-se que uma estatura de 1,75 metros é "totalmente compatível" com o conjunto B , ao passo que estaturas acima de 1,8 metros (aproximadamente) apresentam grau de pertinência diferente de zero em C . Pessoas com estatura acima de 2 metros são "definitivamente" altas. Observe que nesta definição das funções de pertinência, estaturas em um entorno de 1,75 metros têm grau de pertinência diferente de zero somente no conjunto B , o que poderia parecer inadequado para alguns observadores. Estes prefeririam que as funções de pertinência de A e B se interceptassem em 1,75 metros (com graus de pertinência nulos, a exemplo daquelas da Fig. 1).

Além disso, diferentes pessoas ou grupos de pessoas podem ter noções distintas a respeito das estaturas de seus semelhantes. Um escandinavo provavelmente utilizaria funções de pertinência diferentes daquelas escolhidas por um representante de uma tribo de pigmeus, ou as distribuiria de outra forma ao longo do universo. Ou seja, o contexto é particularmente relevante quando da definição de funções de pertinência.

Funções de pertinência podem ser definidas a partir da experiência e da perspectiva do usuário mas é comum fazer-se uso de funções de pertinência padrão, como, por exemplo, as de forma triangular, trapezoidal e Gaussiana. Em aplicações práticas as formas escolhidas inicialmente podem sofrer ajustes em função dos resultados observados.

Funções de pertinência contínuas podem ser definidas por intermédio de funções analíticas [2] e [3].

Por exemplo, a seguinte função geral pode ser usada para definir as funções de pertinência associadas aos conjuntos fuzzy correspondentes aos termos pequeno, médio e grande:

$$\mu_A(x) = (1 + (a(x-c))^b)^{-1} \quad (4)$$

A forma de $\mu_A(x)$ pode ser modificada através da manipulação dos três parâmetros a, b e c. Por exemplo:

$$\mu_{\text{pequeno}}(x) = (1 + 9x^2)^{-1} \quad (5)$$

$$\mu_{\text{médio}}(x) = (1 + 9(x-0,5)^2)^{-1} \quad (6)$$

$$\mu_{\text{grande}}(x) = (1 + 9(x-2)^2)^{-1} \quad (7)$$

Funções de pertinência descontínuas são compostas de segmentos contínuos lineares, resultando em formas triangulares ou trapezoidais. Funções de pertinência discretizadas consistem de conjuntos de valores discretos correspondendo a elementos discretos do universo. Por exemplo, se $X = \{0,1, 2,3,4,5,6\}$ uma representação possível seria [2]:

$$\mu_{\text{pequeno}}(x) = \{0,3; 0,7; 1; 0,3; 0; 0\} \quad (8)$$

$$\mu_{\text{médio}}(x) = \{0; 0; 0,3; 0,7; 1; 0,7; 0,3\} \quad (9)$$

$$\mu_{\text{grande}}(x) = \{0; 0; 0; 0; 0,3; 0,7; 1\} \quad (10)$$

III. PROPOSTAS DE APLICAÇÃO DE LÓGICA FUZZY

A. Formação de Banco de Dados, Informação e Conhecimentos

Quando o Ser Humano busca uma solução para algum problema ou um impasse, acaba se valendo de um cabedal de informações contidas em seu cérebro. Diante disto, é necessário construir esse cabedal através de aprendizado e observações pelos seus cinco sentidos. Pode ser, então, traçado um paralelo para a formação de banco de dados, informação e conhecimento onde as fontes de dados provenientes de sensores (similar aos cinco sentidos) formam esse banco de dados e o banco de informação e de conhecimento (similar a processo de aprendizado) é adquirida por intermédio do próprio usuário, por injeção manual de Biblioteca de Missão e algoritmos respectivamente. Dentro de sensores, podemos citar RADARES, MAGES, imageadores térmicos, imageadores ópticos, SONARES e outros. Assim obtidos esses dados e os organizando de acordo com faixa de valores, tem-se Conjuntos Fuzzy (informação). Esses processos de agrupamento de dados e de informação podem ser observados na fig.3 a fig.7.

Não podendo esquecer que cada ponto do domínio corresponde a um grau de pertinência, seguindo, então, uma função de pertinência, ajustada pela experiência do Especialista do Domínio de Guerra Eletrônica (EDGE). Com isto, obtém-se

variáveis que ajudarão na classificação, inferência e, posteriormente, na tomada de decisões.

Com os conjuntos fuzzy ou nebulosos organizados, utiliza-se o “knowhow” do EDGE traduzidos na forma de regras para processar e gerar inferências e até mesmo decisões quando se necessita de curto tempo de resposta. Com todo esse processo realizado, isto é, banco de dados, informação e de conhecimentos abastecidos, permite-se, então, a utilização em missões de ELINT, SIGINT e COMINT visando uma retro-alimentação do banco de dados (BD), Bibliotecas de Missão (BIM) e outras mais, na qual plataformas podem ser identificadas com maior precisão e, assim, facilitando a análise de campo. A sua saída, poderá alimentar, também, a entrada de um tomador de decisão, baseado em um banco de regras (conhecimento) pré-definidas de acordo com regras de comportamento operativo.

Observa-se uma necessidade crucial quando se trata de banco de informação, tais como as Bibliotecas de Missão, de se fazer mister, adquirir o máximo de dados com exatidão e de utilizar georeferenciação desses dados para, assim, evitar as clutterizações [4] e [7].

Como explicado anteriormente, enxerga-se que só a experiência humana poderia, de certa forma, resolver este problema. A lógica difusa pode ser uma ferramenta importantíssima para modelar essa experiência humana conforme o cenário existente no momento. Esta idéia é ilustrada na fig.3

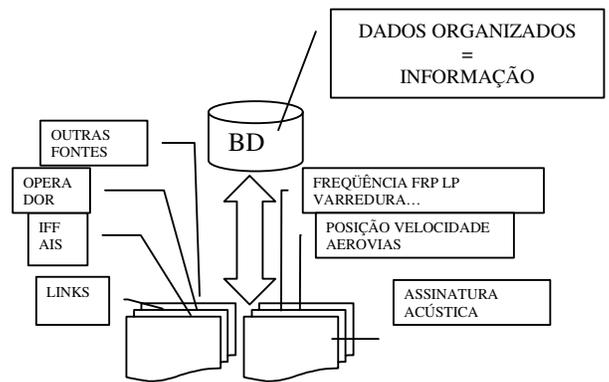


Fig. 3. Composição do banco de dados.

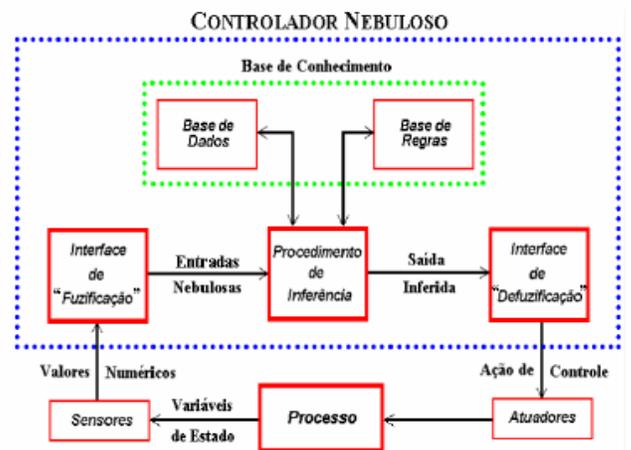


Fig.4. Controlador Nebuloso.

B. Acompanhador de Plots.

A necessidade de extrair dados pode ser resolvida através de um Acompanhador de Plots, que é um algoritmo, que pode ser implementado e implantado por software e/ou hardware, onde se leva em conta a variação de tempo e de posição do plot em uma tela, usando como fonte de dados extratores de vídeo, placas de captura de imagens e outros dispositivos.

Ele tem como base um software que possui comandos gráficos utilizadores de diferença de contraste ou cores, na qual vetorizam esses conjuntos de pixels com posições na tela. E mais tarde, é carregado em um banco de memória. Fazendo-se uma nova varredura é feito todo este processo de novo.

Com esses dados vetorizados, compara-se uma amostra anterior com uma posterior e verifica-se o quão perto de cada ponto está o outro, pelo método de tentativa e erro, da fixação de um referencial comum e por variação das posições em relação a cada eixo em um intervalo de tempo. Este último ajustado pelo EDGE com base em um alvo, na pior situação, por exemplo, sendo um avião a jato e seu tempo gasto para percorrer essa variação de distancia versus o tempo de processamento de cada varredura. Através deste processo é possível saber se as variações de distâncias são coerentes com cada posição obtida em cada amostra e, também, se este alvo é consistente, qual a sua velocidade e se é aéreo ou de superfície (através da sua velocidade em comparação com intervalos que definem cada conjunto fuzzy representativos de alvo aéreo ou de superfície) [2]-[9].

C. Identificador de Plataformas (IP).

O interesse de se identificar uma plataforma advém da necessidade da correlação das plataformas observadas com os sinais obtidos em missão de ELINT, SIGINT e COMINT em tempo de paz e tomada de decisões em tempo de guerra [8] e [9]. Com base na lógica nebulosa, há a possibilidade de se construir um Identificador de Plataformas, modelado em forma de software ou hardware, que busque dentro de banco de dados, intervalos para comparar com os dados de entrada (provenientes de um MAGE) e, então, estimar o grau de pertinência e determinar o seu subconjunto nebuloso. Com os dados classificados em cada subconjunto fuzzy (frequência, frequência de repetição de pulso, largura de pulso, tipo de varredura e outros) dentro de cada conjunto fuzzy (RADAR de busca circular, busca raster, acompanhamento e demais) compara-se, dentro de cada família de conjuntos fuzzy, o grau de pertinência e, assim, obtém-se o suposto RADAR. Sabendo qual se trata, consegue-se a possibilidade de identificar a plataforma. Para as inferências serem mais precisas, faz-se o mesmo, para as demais famílias de conjuntos fuzzy (SONAR, plotter de posição, mapas de aerovias, RADAR altímetro, IFF, AIS e outros). Após a obtenção de um grau de pertinência para cada conjunto da família, por comparação com o banco de informação de plataformas, obtêm-se as plataformas e os seus graus de pertinência. O que pode ser observado na fig.5.

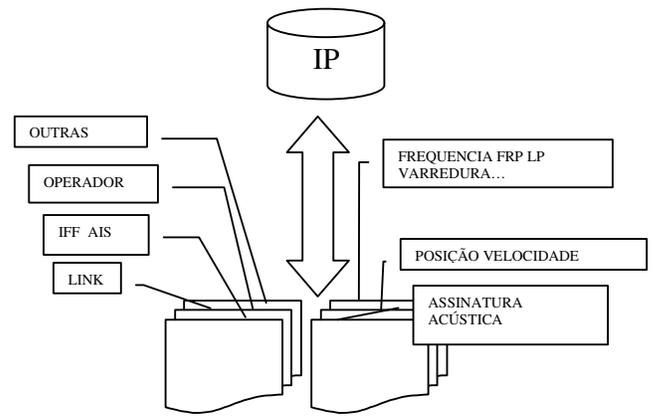


Fig.5. Identificador de plataformas.

D. Tomador de Decisão (TD).

Com base em informação da saída do identificador de plataformas, aplica-se mais uma vez a lógica difusa, tanto na forma de software como na forma de hardware.

Estimando-se com precisão a plataforma e sabendo o que cada plataforma possui, é utilizado um algoritmo para determinar qual a ação a ser implementada e implantada. Com base em dados levantados anteriormente pelo identificador de plataformas (IP), tem-se a possibilidade de inferir se o contato é amigo, inimigo ou desconhecido (para o caso de o banco de informação não possuir essa informação e/ou se os graus de pertinências derem empate e não haver a possibilidade de resolver esse impasse).

Na fig.6 conjuntos e subconjuntos fuzzy podem ser observados. Tendo uma identificação positiva e um grau de pertinência, dentro de padrões estabelecidos pelo especialista do domínio de guerra eletrônico, pode se saber quais as contra-medidas, armamentos a serem empregados, manobras evasivas e demais ações.

O tomador de decisão, além de levar em conta os dados provenientes do IP, utilizará, também, dados de levantamentos de acelerômetros, odômetros, estimadores de vento real, inclinômetros e outros mais [4]-[9]. Na fig.7 é observada essa estrutura.

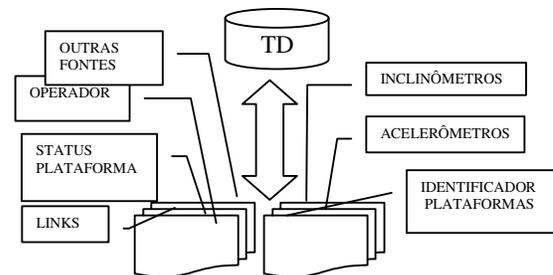


Fig.6-Entrada de informações para o tomador de decisões inferir.

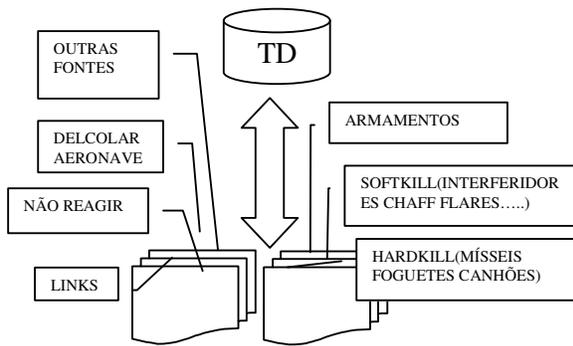


Fig.7-Entrada de informações de outros subsistemas que serão utilizados para implantar a inferência ou dependendo da situação teremos a decisão.

E. Simuladores de GE (SIGE).

Como visto até então, a figura do especialista do domínio de guerra eletrônica (EDGE) é importantíssima no processo. E para ajudar na formação de novos EDGE tem-se a necessidade de utilizar simuladores de guerra eletrônica (sistemas que testam novas táticas, implementam e implantam doutrinas). E para sua implementação e implantação deve-se adotar softwares que utilizam a lógica fuzzy, da mesma forma como utilizado nos tomadores de decisão. Só que os dados podem ser inseridos por um banco de informação de respostas conhecidas pelos instrutores para simular e medir os conhecimentos do novo especialista.

Como todos os sistemas com base em Inteligência Artificial, o SIGE precisa sofrer realimentação para melhorar o seu algoritmo e acompanhar possíveis falhas, já que se trata de um auxílio a decisão e formação de recursos humanos visa ser o mais correto possível [4]-[9]. A Fig. 8 apresenta o fluxograma de uma simulação no simulador GE com o propósito de avaliar o emprego de um novo conceito a ser empregado.

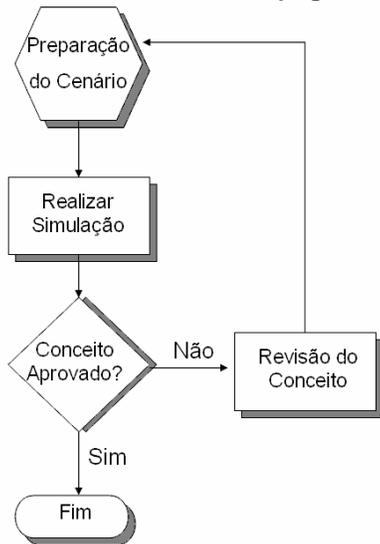


Fig. 8. Fluxograma de treinamento no SIGE

IV. CONCLUSÃO

Tendo como a pedra fundamental em uma edificação, foi apresentada uma fundamentação teórica que alicerçou as

propostas expostas na seção seguinte. Observando-se a proposta de um acompanhador de plots, foi constatado que se utiliza uma quantidade muito grande de amostras e de testes do tipo tentativa e erro, tornando o processo mais lento, contudo, dependendo da aplicação e do processador utilizado, isto pode ser compensado. Analisando o uso dessa lógica para definir um Identificador de Alvo e um Tomador de Decisão foi verificado a quantidade de dados, informação e de parâmetros necessários, não exaustivamente, para se identificar uma plataforma e se tomar uma decisão. Quanto maior a quantidade de dados e quanto mais preciso o processo for, menor será a chance de erro. Colocando-se regras bem definidas de comportamento operativo, de acordo com a política de defesa nacional e do direito público internacional, tem-se uma ferramenta importantíssima para alimentar com inferências precisas um comandante de uma unidade ou até mesmo de uma força tarefa na sua tomada de decisão.

Ao longo do texto verificou-se um fator preponderante em sistema de guerra eletrônica, o Ser Humano. Nos demais itens expostos anteriormente, viu-se que para definir regras com precisão é necessária a experiência acentuada do especialista de domínio de guerra eletrônica. Com base nesta afirmação faz-se mister o uso de simuladores utilizando a lógica nebulosa para treinar o EDGE e testar doutrinas.

O emprego da Lógica Nebulosa pelas Forças Armadas do Brasil pode ser uma grande ferramenta, principalmente, quando se fala de auxiliares de tomada de decisão, onde poderemos fixar regras de engajamentos pré-estabelecidas. Isto visará a redução de decisões erradas em épocas de crise.

REFERÊNCIAS

- [1] Ribeiro, Marcelio Ramos. "O Impacto das Concepções e Tecnologias no Preparo e Emprego da Força Aérea Brasileira", Revista Spectrum. *Brasil, COMGAR*, 2000, pp. 7-10.
- [2] Tanchet, Ricardo. "Sistemas Fuzzy", DEE-PUC-Rio, C.P. 38.063, pp. 2-7.
- [3] Camargos, Fernando Laudaes., "Lógica Nebulosa: Uma abordagem filosófica e aplicada", artigo de Ciências da Computação, 5ª fase, Departamento de Informática e Estatística (INE), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Brasil, 2002, pp 01-05.
- [4] Barros, Antonio Carlos da Silva, Victor Hugo Costa de Albuquerque e Auzuir Ripardo de Alexandria. "Biblioteca para implementação de controladores utilizando lógica fuzzy", artigo do curso de Tecnólogo em Mecatrônica-Mecânica pelo o Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará – CEFET-CE, dez/2006, pp 01-09
- [5] Sandri, Sandra, Cláudio Correa. "Lógica Nebulosa", V Escola de Redes Neurais, Promoção: Conselho Nacional de Redes Neurais, S José dos Campos, pp. c073-c090, 1999.
- [6] Brandão, Alessandro Castro. "Estendendo consultas SQL utilizando Lógica Fuzzy", Trabalho de Conclusão de Curso do Centro Universitário de Palmas, pp 01-60, 20005.
- [7] Fontova, Marta Inês Velazco. "Ferramentas para gerenciamento de informação nebulosa em bancos de dados", Dissertação de mestrado em engenharia elétrica da UNICAMP, 1998, pp 01-116.
- [8] Barton, David k. , Sergey A. Leonov. "RADAR TECHNOLOGY ENCYCLOPEDIA (electronic edition)", Boston/Londres, 2007.
- [9] Hall, CDR Joseph. "Principles Naval Weapon Systems", USN