

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

Andracir Oliveira da Silva

**MODELO HÍBRIDO DE REDE BAYESIANA E
LÓGICA NEBULOSA PARA PESQUISA
QUANTITATIVA EM CIÊNCIAS SOCIAIS**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Prof. Leandro J. Komosinski, Dr.
Orientador

Florianópolis, junho de 2002

**MODELO HÍBRIDO DE REDE BAYESIANA E LÓGICA
NEBULOSA PARA PESQUISA QUANTITATIVA EM
CIÊNCIAS SOCIAIS**

Andracir Oliveira da Silva

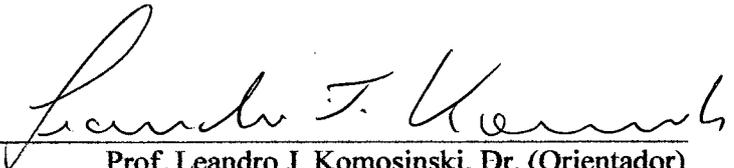
Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciência da Computação Área de Concentração Sistemas de Conhecimento e aprovada em sua forma final pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação.



Prof. Fernando A. Ostuni-Gauthier, Dr.

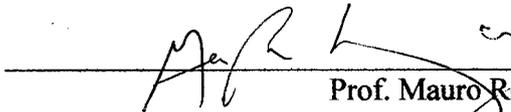
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Banca Examinadora



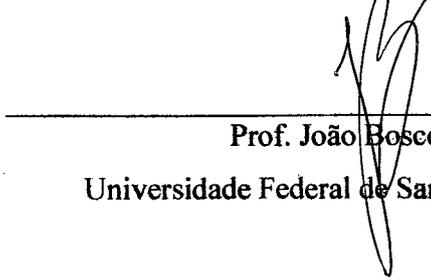
Prof. Leandro J. Komosinski, Dr. (Orientador)

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Prof. Mauro Roisenberg, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Prof. João Bosco da Mota Alves, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

“O teste de uma inteligência de primeira
ordem é a capacidade de manter no espírito
duas idéias aparentemente opostas ao mesmo tempo,
sem perder a capacidade de funcionar”

Francis Scott Fitzgerald

Agradecimentos

À Universidade de Federal de Santa Catarina
Ao Centro de Ensino Superior do Pará
Ao orientador Prof. Leandro Komosinski
pela sua paciência compreensão e orientação segura

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	06
LISTA DE FIGURAS.....	07
LISTA DE QUADROS.....	08
RESUMO.....	09
ABSTRACT.....	10
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	11
1.1 objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
1.2 Estrutura da dissertação.....	16
 CAPITULO 2 – PROBLEMA COM REDES BAYESIANA QUANDO USADAS PARA INVESTIGAÇÃO DE PROBLEMAS LIGADOS A CIÊNCIAS SOCIAIS	 17
2.1 Limitações de Redes Bayesianas para pesquisas quantitativa em Ciências Sociais .	17
 CAPÍTULO 3 - UM MODELO HÍBRIDO DE REDE BAYESIANA E LÓGICA NEBULOSA COMO ALTERNATIVA PARA AS LIMITAÇÕES DA REDE BAYESIANA.	 22
3.1 Vantagens do modelo híbrido bayesiano-nebuloso.....	22
3.2 Formalização e descrição da etapas necessárias para a solução de um problema usando o modelo bayesiano-nebuloso.....	26
 CAPITULO 4 - O PROBLEMA DO ADOLESCENTE INFRATOR COMO ESTUDO DE CASO PARA O MODELO BAYESIANO-NEBULOSO.....	 32
4.1 O problema do adolescente infrator	32
4.3 Descrição formal do problema.....	39
4.4 Implementação computacional do modelo proposto.....	55
 CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	59
5.1 Perfil do adolescente infrator reincidente.....	59
 CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	65
6.1 Considerações sobre o modelo e sobre a investigação do fenômeno da reincidência	65
6.2 Proposta de trabalhos futuros relacionados a esta pesquisa.....	68
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
ANEXO A – REDES BAYESIANA	74
ANEXO B – LÓGICA NEBULOSA	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Fatores com chances de influenciar o desemprego.....	19
Tabela 2.2 – Solução do problema dos desempregados.....	19
Tabela 2.3 – Conjunto clássico <i>causas altamente prováveis do desemprego</i>	20
Tabela 2.4 – Conjunto nebuloso de fatores com chance altamente provável de influenciar o desemprego	23
Tabela 4.1 – Fatores que contribuem para reincidência.....	42
Tabela 4.2 – Número de adolescente por uso de droga (1999)	48
Tabela 4.3 – Número de adolescente por sit. familiar (1999)	48
Tabela 4.4 – Número de adolescente por sit. escolar (1999).....	48
Tabela 4.5 – Número de adolescente por renda (1999).....	48
Tabela 4.6 – Número de adolescente por sexo (1999).....	49
Tabela 5.1 – Número de adolescentes infratores recorrente por ano.....	58
Tabela 5.2 – Resultado do ano de 1997	58
Tabela 5.3 – Resultado do ano de 1998	58
Tabela 5.4 – Resultado do ano de 1999	59
Tabela 5.5 – Resultado do ano de 2000	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Sistema de Responsabilização	32
Figura 4.2 – Gráfico das funções de pertinência	46
Figura 4.3 – Funções de associação	47
Figura 4.4 – Módulos.....	51
Figura 4.5 – Tela de visualização de cálculo de probabilidade	53
Figura 4.6 – Saída do sistema para o ano de 1999 a partir da variável <i>pouco provável</i>	54

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 – Perfil do indivíduo com mais chance de ficar desempregado.....	24
Quadro 5.1 – Perfil do adolescente com mais chances de reincidência.....	57

RESUMO

Esta dissertação investiga a possibilidade de criar um modelo híbrido de Rede Bayesiana e Lógica nebulosa mais eficiente que a Rede Bayesiana na investigação de fatores com mais chances de influenciar fenômenos sociais, utilizando como estudo de caso o fenômeno da reincidência de menores infratores.

Nesta dissertação foi usada uma base de dados de 1053 casos oriundos da Fundação da Criança e do Adolescente do Estado do Pará entre os anos de 1997 a 2000. Foram feitas a descrição informal e a formalização matemática do problema do menor infrator seguida da implementação computacional do modelo proposto, bem como os testes e análise dos resultados. Estes resultados mostraram poder preditivo bem melhores do que aqueles obtidos com a técnica pura e simples de Rede Bayesiana, confirmando assim a aplicabilidade do modelo Bayesiano-Nebuloso para o caso proposto.

Palavras-Chave: Rede Bayesiana; Lógica Nebulosa; Pesquisa Quantitativa; Fenômeno social.

ABSTRACT

This dissertation investigates if it is possible to create a hybrid model of Network Bayesian and Fuzzy Logic that it is more efficient than simply the Network Bayesian in the investigation of factors with more chances of influencing social phenomena using as case study the phenomenon of the smaller offenders' recurrence.

In this dissertation it was used the base of data of 1053 cases originated from the “Fundação da Criança e do Adolescentes do Estado do Pará” between 1997 and 2000. The informal description and the mathematical formal of the smallest offender's were made followed by the computer implementation computer of the proposed model, as well as the tests and analysis of the results. Such results showed a better predictive power than those obtained just using the technique of Network Bayesian, confirming the applicability of the Bayesian-Fuzzy model for the proposed case.

Key-Word: Network Bayesian; Fuzzy Logic; Quantitative Quantitative Researches; social Phenomenon.

CAPITULO 1 – INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da informática (década de 50), projetos revolucionários não faltaram para tentar transformar o computador em uma máquina a fim de otimizar o processamento das informações. Nesta busca, a informática se dividiu em vários campos, dentre eles o da Inteligência Artificial (IA) em que programas fazem o computador parecer inteligente. Definir o que é Inteligência Artificial ou *computador inteligente* é um posicionamento controverso e polêmico, mas considerando os objetivos desta dissertação será utilizada a definição de PASSOS (1989, pg. 1)

“computador inteligente é aquele que responde à pergunta mesmo que a resposta não tenha sido armazenada. Isto é, com fatos que foram armazenados e com um “conhecimento” que foi também armazenado, ele deduz uma resposta que não estava armazenada em sua memória”

Etimologicamente, a palavra inteligência vem do latim *inter* (entre) e *legere* (escolher), então inteligência significa escolher entre uma coisa e outra, é a habilidade de realizar de forma eficiente uma determinada tarefa.

A palavra artificial vem do latim *artificiale*, significa algo não natural, isto é, produzido pelo homem. Portanto, Inteligência Artificial é um tipo de inteligência produzida pelo homem para dotar as máquinas de algum tipo de habilidade que simula a inteligência do homem.

Os programas de IA usam lógicas sofisticadas, são capazes de decidir, empregam um grande número de fatos e axiomas, que são armazenados no computador como base de conhecimentos. Embora a Inteligência Artificial não seja um paradigma recente,

foi somente nos últimos anos que suas técnicas passaram a ser largamente aplicadas, em parte, devido à vertiginosa evolução dos computadores.

A IA possui várias técnicas como por exemplo, Redes Neurais, Redes Bayesianas, Lógica Nebulosa e Algoritmos Genéticos. Estas técnicas permitem que sejam investigados problemas complexos, para os quais anteriormente não havia mecanismos de solução ou eram deficitários.

Segundo KLIR & FOLGER (1992), grandes quantidades de informação associada a grandes quantidades de incertezas constituem a terra de muitos de nossos problemas hoje: a complexidade. Em face desta complexidade, as soluções devem ser muito mais elaboradas, isto é ressaltado por SANTOS FILHO & GAMBOA (1995), quando dizem que “do princípio da simplicidade e economia, está se caminhando para a adoção dos princípios de complexidade, consistência, unidade dos contrários e triangulação na elaboração e comprovação das teorias”.

Dentre os problemas que vêm surpreendendo a humanidade por sua complexidade estão os fenômenos sociais. Estes podem envolver uma gama de dados e incertezas que torna difícil a sua investigação por meio de técnicas simples e convencionais. Neste sentido, a Inteligência Artificial e suas técnicas podem ser de grande ajuda.

Uma das abordagens utilizadas, quando se estuda um fenômeno ligado a um determinado grupo social, é a pesquisa quantitativa. Uma forma de realizar essa pesquisa quantitativa em Ciências Sociais é partir da idéia de que existem determinados fatores sociais ou pessoais de um indivíduo que contribuem para um determinado fenômeno social, estabelecendo assim uma relação de causa e efeito entre estes fatores e o fenômeno. Para descobrir se há ou não relação direta entre os fatores e o fenômeno social, é feita uma análise das quantidades ligadas a um evento social, em que se utiliza

estatística e probabilidade. Uma técnica de IA que emprega probabilidade e pode ser usada para fazer pesquisa quantitativa em Ciências Sociais é a Rede Bayesiana. (Anexo A).

Uma Rede Bayesiana é um grafo direcionado acíclico em que um nó representa o efeito e, os demais, as causas (evidências). Cada nó representa uma variável que pode assumir determinados valores. Na prática, em uma Rede Bayesiana através de simulação escolhe-se um grupo de evidências (uma tupla) e verifica-se quais as chances deste grupo de evidências influenciar um fenômeno. A idéia desta técnica, quando utilizada na pesquisa quantitativa em Ciências Sociais, é descobrir qual a tupla (combinação de causas) com maior probabilidade de contribuir para um determinado fenômeno. A questão é que alguns problemas não possuem somente uma única tupla que pode ser considerada a solução do problema e sim várias tuplas com valores de probabilidade mais altos e tão próximos em que todas podem ser consideradas como solução. Assim, quando se investiga a combinação de fatores com mais chance de influenciar um fenômeno social é que surge o questionamento: até que ponto uma tupla de fatores com 98,99% de probabilidade de influenciar um fenômeno é mais importante que uma outra tupla com 98,98%?

A proposta desta dissertação é criar um modelo que utilize as características da Rede Bayesiana, mas que a solução do sistema seja um conjunto nebuloso (Anexo B) formado por uma ou várias tuplas com graus de pertinência variada.

Neste sentido, a hipótese que norteia esta dissertação é: *É possível criar um modelo híbrido de Redes Bayesianas e Lógica nebulosa que seja mais eficiente que simplesmente as Redes Bayesianas na investigação de fatores com mais chances de influenciar fenômenos sociais?*

Nesta dissertação : o modelo criado a partir de duas técnicas de IA é intitulado modelo Bayesiano-Nebuloso e, as técnicas utilizadas para a compor o respectivo modelo são Redes Bayesiana (Anexo A) e Lógica Nebulosa (Anexo B).

Diante disso, para testar a validade e eficiência do modelo Bayesiano-Nebuloso nesta dissertação, foi feita uma implementação computacional para facilitar a operacionalização do modelo e utilizado o fenômeno da reincidência de adolescentes infratores como estudo de caso. O problema do adolescente infrator é um problema social gravíssimo, visto que muitos adultos criminosos cometem seu primeiro ato infracional ainda na adolescência, e por meio de reiteradas reincidências chegam à fase adulta sem adequada reintegração à sociedade. Ao cometer um ato infracional, o adolescente é encaminhado para uma entidade de atendimento ao menor infrator onde deve haver arquivo de anotações com todos os dados dos menores infratores. No Estado do Pará, há a FUNCAP - Fundação da Criança e do Adolescente do Estado do Pará. Assim, baseado nas próprias informações do adolescente infrator, pode-se descobrir quais os fatores mais contribuem para a reincidência. Portanto, está é uma pesquisa com objetivos de gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, é também uma pesquisa experimental em que são feitas experiências com os dados do adolescente infrator e, posteriormente, estes dados são interpretados.

Para não suscitar dúvidas sobre a validade do espaço amostral empregado nesta pesquisa, são utilizados 100% dos dados dos adolescentes infratores que receberam algum tipo de medida sócio-educativa no estado do Pará entre 1997 e 2000. Através de quatro baterias de teste, uma para cada ano, é possível comparar ano a ano e verificar, ou não, a validade do modelo para este tipo de pesquisa.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver um modelo Bayesiano-Nebuloso como solução para pesquisas quantitativas em Ciências Sociais a fim de encontrar os fatores que influenciam um fenômeno social.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atender ao objetivo geral, mencionado anteriormente, são definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as limitações das Redes Bayesianas para pesquisa quantitativa em Ciências Sociais;
2. Propor um modelo alternativo Bayesiano-Nebuloso como solução à pesquisa quantitativa em Ciências Sociais;
3. Coletar e organizar dados sobre adolescentes infratores no Estado do Pará;
4. Descrever informalmente o problema do menor infrator;
5. Descrever formalmente (formalização matemática) o problema do menor infrator;
6. Implementar computacionalmente o modelo proposto;
7. Testar o novo modelo proposto com dados dos menores infratores;
8. Analisar os resultados obtidos e comparar o modelo Bayesiano-Nebuloso com o modelo Bayesiano.
9. Confirmar a hipótese da aplicabilidade do modelo híbrido Bayesiano-

Nebuloso para o caso proposto.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para atender os objetivos propostos, essa dissertação está estruturada conforme descrito a seguir:

O capítulo 1 apresenta não só as motivações e justificativa para o desenvolvimento dessa dissertação, mas também seus objetivos e estrutura.

O capítulo 2 apresenta as limitações do uso de Redes Bayesiana para pesquisa quantitativa em Ciências Sociais.

O capítulo 3 apresenta o modelo Bayesiano-Nebuloso como alternativa as Redes Bayesianas na pesquisa quantitativa em Ciências Sociais, também descreve e as etapas necessárias para resolver problemas usando o novo modelo.

O capítulo 4 traz a apresentação informal do problema da reincidência do adolescente infrator que será utilizado para testar o novo modelo proposto e, em seguida, a descrição formal do modelo Bayesiano-Nebuloso, além do software que implementa o novo modelo proposto que foi desenvolvido exclusivamente para esta dissertação.

O capítulo 5 traz a análise dos resultados da aplicação do novo modelo sobre os dados dos adolescentes infratores.

O capítulo 6 apresenta a reflexão sobre a utilização do novo modelo e a sua validade e apresenta algumas propostas de trabalhos futuros ligados a esta pesquisa.

CAPITULO 2 – PROBLEMA DAS REDES BAYESIANAS QUANDO USADAS PARA INVESTIGAÇÃO DE FENÔMENOS LIGADOS A CIÊNCIAS SOCIAIS

Este capítulo discorre sobre as limitações das Redes Bayesianas quando utilizadas para pesquisa quantitativa em Ciências Sociais. Através de um exemplo fictício ligado à área de Ciências Sociais, percebe-se que em determinados problemas, a solução não pode ser simplesmente a tupla com maior valor de probabilidade, e que a adoção de um intervalo de probabilidades como solução também não resolve. Isto conduz à busca de alternativas que extrapolam as características das Redes Bayesianas.

2.1 LIMITAÇÕES DE REDES BAYESIANAS PARA PESQUISAS QUANTITATIVA EM CIÊNCIAS SOCIAIS

Nas Ciências Sociais, uma das abordagens para investigação de um problema consiste em descobrir através de pesquisa quantitativa, quais fatores (pessoais ou sociais) possuem mais chance de influenciar um determinado fenômeno. Estas informações podem servir de base para minimizar as causas do fenômeno e também fazer predições sobre os futuros indivíduos ligados a este fenômeno.

Uma das pesquisas quantitativas clássicas na área de Ciências Sociais é o estudo de Émile Durkheim intitulado “Suicídio” DURKHEIM (1982). Ele analisou estatisticamente os índices de suicídio em uma comunidade para mostrar que o suicídio era um fenômeno social, além de pessoal. Durkheim acreditava que as causas dos

fenômenos sociais deveriam ser encontradas no próprio meio social, ou seja, todo fato social resulta de outro fato social e não de um fato da psicologia individual. Nos seus estudos sobre o suicídio ficou claro que se não fosse feita alguma intervenção para que mudasse as causas deste fenômeno, haveria grandes chances de ocorrerem novos suicídios. Semelhantes ao estudo de Durkheim, inúmeras pesquisas quantitativas envolvendo fenômenos sociais podem ser feitas. Por exemplo, descobrir qual a probabilidade do indivíduo ficar desempregado em razão de haver ocorrido determinados fatores.

A escolha da abordagem de investigação para um dado problema ocorre em função das características deste problema e da solução que dele se espera. Algumas vezes, mesmo que as características de determinados problemas pareçam ser ideais para utilização de uma determinada técnica de investigação, pode ser que a solução produzida por esta abordagem não tenha a qualidade desejada. As Redes Bayesianas em função das suas possibilidades parecem ser adequadas à investigação dos problemas como o dos desempregados. Contudo, em situações especiais, como será visto adiante, a qualidade da solução é questionável.

Para explicar as limitações da solução oferecida pelas Redes Bayesianas em determinadas situações é utilizada uma tabela (tabela 2.1) que é totalmente *fictícia*.

A tabela 2.1 representa as tuplas formadas pela saída de uma Rede Bayesiana (Anexo A), e trata do problema do desemprego e fatores que podem influenciar o desemprego em uma região. A solução é descobrir qual a combinação de fatores (tupla) com maior chance de influenciar o desemprego. Normalmente a solução é um conjunto unitário formado pela tupla de probabilidade mais alta. Esta solução é representada pela tabela 2.2.

Tabela 2.1 – Fatores com chances de influenciar o desemprego

EVIDÊNCIAS				PROBABILIDADE
IDADE	ESCOLARIDADE	SETOR	ÁREA	
45	analfabeto	Indústria	Urbana	70,10%
40	1ª Série	Indústria	Urbana	70,00%
51	1ª Série	Indústria	Rural	69,99%
32	8ª Série	Comércio	Urbana	53,00%
28	Superior	Educação	Rural	51,11%

Tabela 2.2 – solução do problema dos desempregados

IDADE	ESCOLARIDADE	ÁREA DE	REGIÃO	PROBABILIDADE
		ATUAÇÃO	ONDE MORA	
45	1ª Série	Indústria	Urbana	70,1%

No entanto, analisando as duas primeiras tuplas da tabela 2.1 percebe-se que as probabilidades são muito próximas: 70,1% e 70,0%. Então, um questionamento surge, até que ponto a combinação de causas representada pela tupla com probabilidade de 70,1% é tão mais importante que a tupla de 70,0% a ponto de ser considerada a solução do sistema? Por exemplo, levando em conta as duas primeiras tuplas da tabela 2.1, como considerar ainda que o analfabetismo é um fator com grande chance de influenciar na reincidência e a 1ª série não?

Uma saída para contornar esta situação é: permitir que o conjunto solução não tenha somente um elemento (a tupla com maior valor de probabilidade) mas toda tupla que estiver em um intervalo de probabilidade fixado faça parte do conjunto solução. Este novo conjunto solução pode ser intitulado de *conjunto de fatores com chance altamente provável de influenciar o desemprego* e, agora, pode conter vários elementos (tuplas). Esta nova solução é melhor que a primeira, pois opera em uma faixa de valores e não simplesmente busca o maior valor de probabilidade. Para exemplificar esta solução, pode-se definir: tuplas com probabilidades no intervalo de 70% e 100% fazem parte do conjunto solução. Neste caso, as linhas da tabela com probabilidade menor que 70% não fazem parte do conjunto solução. A nova solução é ilustrada pela tabela 2.3:

Tabela 2.3 – Conjunto clássico *causas altamente prováveis do desemprego*.

IDADE	ESOLARIDADE	ÁREA DE ATUAÇÃO	REGIÃO ONDE MORA	PROBABILIDADE
45	analfabeto	Indústria	Urbana	70,1%
40	1ª Série	Indústria	Rural	70,0%

No entanto, uma outra questão pode ser levantada. Por que a terceira linha da tabela 2.1 também não pode fazer parte da solução do sistema já que a diferença do valor de probabilidade entre a segunda e a terceira linha é pequena?

Mesmo que seja ampliado o intervalo do conjunto solução, ainda assim o problema persistirá, pois sempre haverá um ponto brusco de passagem (crisp) entre os elementos que pertencem ao conjunto solução e aqueles que não pertencem. Na verdade, a questão esbarra nas limitações da lógica clássica, quando estabelece que um

determinado elemento pertence ou não a um conjunto. A saída para esta situação extrapola as características das Redes Bayesianas e passa pela teoria dos conjuntos nebulosos (Anexo B) onde os elementos (tuplas) podem pertencer ao conjunto solução, não pertencer ou pertencer, parcialmente. Ao tratar a saída da Rede Bayesiana com Lógica Nebulosa, produz-se uma solução de poder preditivo mais considerável para problemas como o da tabela 2.1.

CAPÍTULO 3 - UM MODELO HÍBRIDO DE REDE BAYESIANA E LÓGICA NEBULOSA COMO ALTERNATIVA PARA AS LIMITAÇÕES DAS REDES BAYESIANAS.

Este capítulo mostra as características e vantagens do modelo Bayesiano-Nebuloso e as etapas pelas quais um problema passa, desde a sua escolha até a sua solução utilizando o modelo Bayesiano-Nebuloso.

3.1 VANTAGENS DO MODELO HÍBRIDO BAYESIANO-NEBULOSO

Redes Bayesianas lidam com probabilidades e tanto o estudo da probabilidade quanto da Lógica Nebulosa operam em cima da mesma faixa numérica: 0,0 até 1,0. Contudo, há distinção entre Lógica nebulosa e probabilidade. A primeira vista ambas têm valores semelhantes: 0.0 representando Falso (ou não pertence), e 1.0 representando Verdadeiro (ou pertence). Para a probabilidade, uma possível declaração seria: “Há 80% de chance de Jane ser uma pessoa velha” e isto indica que Ana pode ou não ser uma pessoa velha enquanto que na terminologia Nebulosa a afirmação seria: “O grau de pertinência de Jane ao conjunto de pessoas velhas é 0,80”. A diferença semântica é significativa: a primeira afirmação supõe que Jane é ou não velha (ainda trata com a Lei do Meio Excluído), enquanto que a terminologia Nebulosa supõe que Jane é “mais velha”, ou algum termo lingüístico correspondente a 0,80.

Se a solução do problema dos desempregados (tabela 2.3) for um conjunto nebuloso, a terceira linha faz parte parcialmente da solução do problema, ou seja, aproximando da linguagem humana, pode-se se dizer que a terceira linha faz parte *mais*

ou menos da solução. A solução final pode ser descrita pela tabela 2.4 e, como se trata de um conjunto nebuloso, uma tupla (combinação de causas) pode pertencer totalmente a esse conjunto, não pertencer, ou ainda, pertencer parcialmente.

Além do *conjunto nebuloso de fatores com chance altamente provável de influenciar o desemprego* que contém as probabilidades mais altas, outros conjuntos nebulosos podem ser criados, o que permite que as tuplas (saída de uma Rede Bayesiana) sejam distribuídas em vários conjuntos nebulosos, como por exemplo:

- a) *conjunto nebuloso de fatores com chance muito provável de influenciar o desemprego;*
- b) *conjunto nebuloso de fatores com chance provável de influenciar o desemprego;*
- c) *conjunto nebuloso de fatores com chance pouco provável de influenciar o desemprego;*
- d) *conjunto nebuloso de fatores com chance improvável de influenciar o desemprego;*

Tabela 2.4 – conjunto nebuloso de fatores com chance altamente provável de influenciar o desemprego

			REGIÃO		
IDADE	ESOLARIDADE	ÁREA DE ATUAÇÃO	ONDE MORA	PROBABIL	PERTINÊNCIA
45	analfabeto	Indústria	Urbana	70,10%	TOTAL
40	1ª Série	Indústria	Urbana	70,00%	TOTAL
51	1ª Série	Indústria	Rural	69,99%*	PARCIAL

* pertence mais ou menos ao conjunto solução do problema

Um outro aspecto no qual uma solução híbrida de Rede Bayesiana e Lógica Nebulosa é superior a simplesmente usar Rede Bayesiana para investigação dos fatores com mais chance de influenciar um fenômeno social, é que ao permitir que a solução do sistema seja mais de uma tupla, cria-se a possibilidade de verificar se existe um padrão nestas tuplas, ou seja, permite que se trace um perfil dos indivíduos com mais chance de serem atingidos pelo fenômeno social, ao contrário da solução tradicional de uma Rede Bayesiana que simplesmente indica a tupla de fatores com maior valor de probabilidade. Neste sentido, analisando as tuplas da tabela 2.4 pode-se traçar o seguinte perfil de cada coluna:

- a) Perfil da coluna *idade*: **Indivíduos com idade acima de quarenta anos;**
- b) Perfil da coluna *escolaridade*: **Indivíduos com baixa escolaridade;**
- c) Perfil da coluna *área de atuação*: **atua na área industrial;**
- d) Perfil da coluna *onde mora*: **mora na zona urbana.** Causas que não se repetem nas tuplas do conjunto solução e ao mesmo tempo possuem grau de pertinência com valores pequenos (Anexo B), podem ser desconsideradas. Assim, ao traçar o perfil da coluna onde mora, pode-se desconsiderar que a zona rural seja um dos fatores em que há mais chance de influenciar o desemprego.

O perfil dos indivíduos com mais chance de serem atingidos pelo desemprego é representado pelo quadro 2.1.

Quadro 2.1 – Perfil do indivíduo com mais chance de ficar desempregado

Indivíduos com idade acima de 40 anos, com baixa escolaridade, que trabalham na indústria e moram na zona urbana, possuem maior probabilidade de ficarem desempregados

Diante do exposto, conclui-se que: combinar as duas técnicas, Rede Bayesiana e Lógica Nebulosa, é mais interessante que apenas utilizar uma.

Em função de Rede Bayesiana e Lógica Nebulosa serem dois dos principais paradigmas numéricos de representação de incerteza, o tipo de fenômeno em que as duas técnicas combinadas podem ser utilizadas, é para fenômenos com características aleatórias. E neste sentido, é típico das duas abordagens lidar com a imprecisão (fatores de incerteza), como afirma NASSAR (1998):

“Na UFSC, principalmente a partir da década de 90, vêm sendo realizadas pesquisas (...) utilizando a Lógica Nebulosa para tratar incertezas presentes no domínio de aplicação. E, mais recentemente, vem sendo explorada a utilização da teoria da probabilidade como paradigma de tratamento de incertezas”

A exposição acima, justifica o uso de modelo Bayesiano-Nebuloso para problemas:

- a) Que lidam com incertezas e com causa e efeito;
- b) Que busquem investigar os fatores com mais chance de contribuir para um fenômeno social;
- c) De natureza aleatória e que busquem estabelecer algum padrão;
- d) Que a saída esteja ligada a termos lingüísticos (Anexo B).

3.2 FORMALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ETAPAS NECESSÁRIAS PARA A SOLUÇÃO DE UM PROBLEMA USANDO O MODELO BAYESIANO-NEBULOSO.

O conjunto de fatores que podem influenciar um fenômeno podem ser dispostos em uma tabela e definido formalmente como:

$$U = \{c \mid c \text{ é um fator com chance de influenciar um fenômeno social}\}$$

Cada coluna da tabela é um subconjunto. Assim, o conjunto U pode ser dividido em outros conjuntos:

$$A_1 = \{a_1 \in U \mid a_1 \text{ é um fator com chance de influenciar um fenômeno social}\}$$

$$A_2 = \{a_2 \in U \mid a_2 \text{ é um fator com chance de influenciar um fenômeno social}\}$$

$$A_n = \{a_n \in U \mid a_n \text{ é um fator com chance de influenciar um fenômeno social}\}$$

A partir do conjunto U e seus subconjuntos, deve-se encontrar o conjunto M de fatores com mais chance de contribuir para a reincidência. Este conjunto é formado pela combinação de elementos dos conjuntos: A_1, A_2, \dots, A_n . Mais precisamente, um conjunto com tanto elementos quantos forem os subconjuntos de U . Cada elemento do conjunto M será uma tupla (seqüência ordenada) e terá a forma:

$$M = \{(a_1, a_2, \dots, a_n) \mid a_1 \in A_1, a_2 \in A_2, \dots, a_n \in A_n\}$$

O número de tuplas que podem ser formadas, pode ser facilmente descoberto, basta utilizar o *princípio fundamental da contagem*. Seguindo este princípio e considerando r conjuntos:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_{n1}\} \quad \#A = n_1$$

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_{n_2}\} \quad \#B = n_2$$

.

.

$$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_{n_r}\} \quad \#Z = n_r$$

O número de r-uplas ordenadas (seqüência de r elementos) do tipo:

$$(a_i, b_j, \dots, Z_p)$$

onde $a_i \in A$, $b_j \in B$... $Z_p \in Z$ é:

$$n_1 X n_2 X \dots X n_r$$

Para encontrar o número de combinações, basta multiplicar o número de elementos dos subconjuntos e das hipóteses diagnósticas do fenômeno social.

Visto que, a probabilidade sempre foi relacionada com a medida de eventos repetitivos, pode-se calcular a probabilidade da reincidência para cada uma das *tuplas*, aplicando o Teorema de Bayes, o cálculo levará em conta todas as evidências, portanto a fórmula será:

$$P(H_i | c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n) = \frac{P(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n | H_i) \cdot P(H_i)}{P(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n)}$$

Onde: $P(H_i | c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n)$ é a hipótese de reincidência, levando em conta os fatores: $c_1, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n$

Na prática, este cálculo permite verificar quais as chances do indivíduo estar ligado ao fenômeno social com base nas suas próprias informações (evidências). Este método consiste na partição do espaço amostral em diversos subconjuntos cujas probabilidades sejam conhecidas. Na equação, H_i é a hipótese (hipótese de reincidência) cuja probabilidade se quer calcular dado em que os eventos $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, \dots, c_n$ tenham ocorrido.

Toda a estrutura que envolve as causas e as hipóteses diagnósticas, serão utilizadas para montar uma Rede Bayesiana. No final, a saída da Rede Bayesiana é um conjunto na forma:

$$R = \{ (x,y) \mid x \text{ é uma combinação de fatores, } y \text{ é um valor de probabilidade} \}$$

Contudo, é possível que determinados elementos de R possuam valor de $y=0$, o que significa que não há probabilidade da ocorrência destas combinações. Desta forma, estes elementos do conjunto R não são relevantes e podem ser descartados.

Diante disso, o novo conjunto das saídas relevantes é:

$$R' = \{ (x, y) \mid x \text{ é uma combinação de fatores, } y \text{ é uma probabilidade } > 0 \}$$

Normalmente, o elemento de R' com maior valor de y é a solução do sistema. No entanto, para determinados problemas, pode ocorrer que vários elementos de R' possuam valores de y iguais ao maior valor ou muito próximo. Neste caso, a qualidade da solução fica comprometida. Isto não necessariamente invalida o uso de Rede Bayesiana para este tipo de problema, mas evidentemente algum mecanismo deve ser utilizado na busca de um resultado mais satisfatório.

Uma forma de contornar esta situação, é fazer com que a saída da Rede Bayesiana (elementos do conjunto R') transforme-se em um conjunto nebuloso. Isto dá uma nova dimensão à solução com será visto daqui em diante.

Uma noção básica da teoria de conjuntos é a pertinência de um elemento e em um conjunto F , indicada pelo símbolo \in :

$$e \in F$$

Uma forma de indicar essa pertinência é através de uma função de pertinência $\mu_F(e)$, cujo valor indica se o elemento e pertence ou não ao conjunto F . Na lógica clássica, esta função é bivalente:

$$\mu_F(e) = \begin{cases} 1 & \text{se } e \in F \\ 0 & \text{se } e \notin F \end{cases}$$

Na teoria de conjuntos nebulosos, um conjunto nebuloso F de R' é caracterizado por uma função de associação $\mu_F(e)$ que leva cada elemento de R' para um valor no intervalo real $[0, 1]$. O grau de pertinência de e aumenta à medida que $\mu_F(e)$ se aproxima de 1.

Neste sentido, o conjunto solução S pode ser escrito de uma forma que cada elemento do conjunto mostre a tupla com o seu respectivo valor de pertinência:

$$S = \{(e, \mu_F(e)) \mid e \in R'\}$$

O conjunto F pode ser definido em função de um intervalo de valores de probabilidades, por exemplo entre 70% e 100%, bem como F pode ser associado a um termo lingüístico, como por exemplo fatores com chance *altamente provável de* influenciar o fenômeno social. Na verdade, podem ser definidos vários conjuntos nebulosos como F , cada um associado a um termo lingüístico e a um intervalo de probabilidade.

As funções de associações definem o grau de participação de um elemento de R' a um conjunto nebuloso (com um termo lingüístico e seu respectivo intervalo de probabilidade). Estas funções permitem que se faça os cálculos de todos os elementos que pertencem a um conjunto nebuloso, e depois possa exibir o grau de pertinência dos elementos de R' a este conjunto.

A descrição das etapas necessárias para a solução de um problema usando o modelo Bayesiano-Nebuloso pode ser vista a seguir:

- a) Montar uma Rede Bayesiana tradicional: a principio, o modelo bayesiano-nebuloso é como uma Rede Bayesiana Normal..

- b) Gerar uma relação de todas as tuplas de fatores que a Rede Bayesiana pode gerar com suas respectivas probabilidades de ocorrência: a saída de uma Rede Bayesiana é formada por tupla de fatores e sua probabilidade de contribuir para um efeito..
- c) Descartar as tuplas com valor de probabilidades iguais a zero: ao constatar as irrelevâncias do domínio, o raciocínio causal minimiza o número de relações que precisam ser consideradas na construção do modelo e em muitas conclusões futuras, assim, as combinações com probabilidade igual a zero devem ser descartadas.
- d) Definir os conjuntos nebulosos: um conjunto nebuloso é formado por um *termo lingüístico* e sua respectiva *função de pertinência* (Anexo B). A consulta na Rede Bayesiana tradicional se faz, selecionando algumas das evidências (tupla) e verificando as chances destas evidências contribuírem para um efeito. No caso do modelo Bayesiano-Nebuloso, a consulta se dá através de um termo lingüístico. Por exemplo, *fatores com chance altamente provável de influenciar o desemprego*.
- e) Definir as funções de pertinência de cada termo lingüístico: Para cada termo lingüístico deve haver uma função de pertinência. Estas funções irão definir o espectro de tuplas que participarão do conjunto nebuloso. Elas podem ter várias formas: trapezoidal, triangulares, lineares, etc.
- f) A partir de um termo lingüístico e sua função de pertinência, selecionar todas as tuplas com o seu respectivo grau de participação: Levando em conta, o termo lingüístico e a respectiva função de pertinência, pode-se calcular todas as tuplas e seus respectivos graus de pertinência. Por

exemplo, todos os elementos que respondam a pergunta: Quais as tuplas (combinações de fatores) com chance *altamente provável* de influenciar o desemprego?

CAPÍTULO 4 - O PROBLEMA DO ADOLESCENTE INFRATOR COMO ESTUDO DE CASO PARA O MODELO BAYESIANO- NEBULOSO

Neste capítulo será discutido num primeiro momento o problema do adolescente infrator de maneira informal, em seguida este mesmo problema será demonstrado formalmente como estudo de caso para testar a validade do modelo bayesiano-nebuloso, também apresenta a implementação computacional do modelo.

4.1 O PROBLEMA DO ADOLESCENTE INFRATOR

Um estudo coordenado pela Universidade da Amazônia, UNAMA (2000), sobre adolescentes infratores da região Norte relata que diversos fatores levam um adolescente a infringir a lei. Um dos aspectos mais contundente é a questão sócio-econômica e, o pano de fundo é composto por uma problemática social ampla caracterizada pela pobreza, discriminação e exclusão. O Estatuto da Criança e do Adolescente (1990, art 2º), “considera criança, para os efeitos da Lei, a pessoa até doze anos de idade incompletos, e *adolescente aquela entre doze e dezoito anos de idade*” .

A partir do momento em que o adolescente comete um ato infracional, todos os esforços são para recuperá-lo. O Estatuto da Criança e do Adolescente (1990, art.103) define ato infracional como “crime ou contravenção penal” e a pena depende da gravidade do ato que ele comete e conforme COTRIM (1989), “dever ser proporcional à gravidade do delito”.

Durante muitos séculos, a pena foi encarada apenas como retribuição jurídica que

a sociedade impõe ao delinqüente. A finalidade da pena era submeter o criminoso a um mal equivalente à sua conduta ilícita, ao mal injusto do crime, a sociedade retribui com o mal justo da pena. Isso não deixa de ser a velha teoria do “olho por olho, dente por dente”, contida no antigo Código de Hamurabi. Contudo, segundo COTRIM (1989, p.58):

“Com o desenvolvimento das civilizações e a evolução da consciência jurídica, a pena foi perdendo esse caráter de mera retribuição e de castigo. Os modernos estudos sobre as principais causas da criminalidade trouxeram como consequência novas concepções sobre a natureza da pena. Hoje ela é vista não apenas como forma de castigo, mas também como instrumento de reeducação do delinqüente. Enfim, a pena deixou de ser exclusivamente retribuição para o crime para ser também um meio de *recuperação* do criminoso”

As penas que um adolescente infrator sofre não têm a mesma severidade da pena destinada a um adulto infrator, nem poderia, visto que o adolescente ainda é um indivíduo em formação. O Estatuto da Criança e do Adolescente não propõe a impunidade, mas a responsabilização do infrator através de medidas sócio-educativas que visam reintegrá-lo à sociedade. Estas medidas de acordo com NOGUEIRA (1991) são aquelas dispostas no Art. 112 e indicam que verificada a prática do ato infracional, a autoridade competente pode aplicar ao adolescente seis tipos de sanções que vão de advertência à aplicação de medidas sócio-educativas:

1. Advertência : Consiste em admoestação verbal ao adolescente autor de ato infracional e pode ser aplicada aos pais ou responsável. Deve ser reservada aos atos infracionais leves.
2. Obrigação de reparar o dano: Consiste na restituição da coisa ou

ressarcimento do prejuízo de qualquer forma, causado à vítima. Havendo manifesta impossibilidade, a medida poderá ser substituída por outra adequada.

3. Prestação de serviço à comunidade: Consiste na realização de tarefas gratuitas de interesse geral junto a entidades assistenciais, hospitais, escolas e outros estabelecimentos. A jornada máxima é de oito horas semanais e o período não pode exceder a seis meses.
4. Liberdade Assistida: Consiste no acompanhamento, auxílio e orientação do adolescente. O prazo mínimo é de um ano e a medida pode ser prorrogada, revogada ou substituída por outra medida. Quando essa medida for aplicada, será designado um orientador cujos encargos serão: promover socialmente o adolescente e sua família, supervisionar a frequência e o aproveitamento escolar, diligenciar para obter profissão ou trabalho para o adolescente, e apresentar relatório do caso.
5. Inserção em regime de semiliberdade: Consiste na progressão da medida de internação para o regime aberto, possibilitando a realização de atividades externas. A medida não comporta prazo determinado e é obrigatória a escolarização e a profissionalização.
6. Internação em estabelecimento educacional: O adolescente fica recolhido em unidade destinada aos adolescentes infratores, constitui medida privativa de liberdade e pode ser aplicada nos seguintes casos: tratando-se de ato infracional praticado mediante grave ameaça ou violência à pessoa; por reiteração de outras infrações; e por

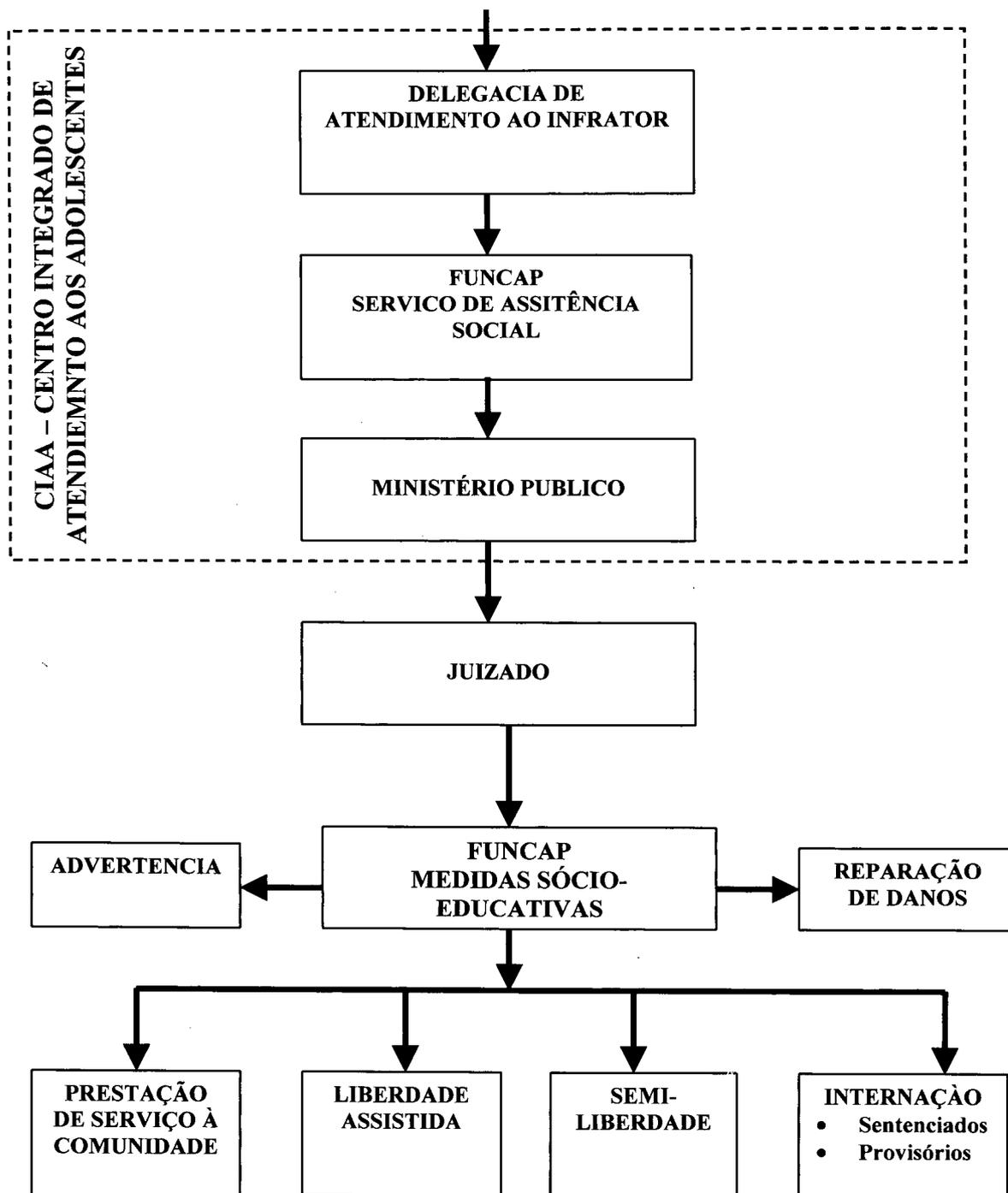
descumprimento reiterado e injustificável de medidas anteriormente impostas.

Um adolescente infrator passa por uma série de etapas que visam reeducá-lo e devolvê-lo à sociedade, estas etapas dependem do tipo de infração cometida. O conjunto de todas as etapas é chamado de *sistema de responsabilização do adolescente* e é ilustrado pela Figura. 4.1

O adolescente apreendido em flagrante ao cometer um ato infracional é encaminhado à autoridade policial competente, uma delegacia especializada em menores infratores onde há policiais treinados especificamente para lidar com estes menores (Delegacia de Atendimento ao Menor Infrator). A delegacia ouve as testemunhas e o adolescente, lavra o auto de apreensão, apreende produtos e instrumentos da infração, e requisita exames periciais necessários à comprovação da materialidade e autoria da infração (Estatuto da Criança e do Adolescente, 1991, Art. 172 e 173), em seguida deve avisar os pais ou responsáveis do adolescente para se encaminharem até a polícia. Ao comparecer qualquer um dos pais ou responsável, o adolescente é prontamente liberado pela autoridade policial, sob termo de compromisso e responsabilidade de ser apresentado ao representante do ministério público. Após esta fase, a autoridade policial encaminha imediatamente ao representante do Ministério Público os relatório de investigação e demais documentos.

Ao ser apresentado o adolescente, o Ministério Público denuncia o adolescente, se constatado que este realmente cometeu uma infração. O Ministério Público funciona como um fiscal da lei e tanto denuncia como impede que por qualquer questão um adolescente que não tenha cometido um crime seja indiciado. O representante do Ministério Público, de posse de toda documentação ouvirá informalmente o adolescente,

Figura 4.1 – Sistema de Responsabilização



Fonte: FUNDAÇÃO DA CRIANÇA E DO ADOLESCENTE DO PARÁ

e se possível seus responsáveis, bem como as vítimas e as testemunhas. Em seguida poderá:

- I – promover o arquivamento dos autos;
- II – conceder a remissão;
- III – representar á autoridade judiciária para aplicação da medida sócio-educativa.

O juiz de menor, que é um magistrado específico para lidar com o menor, sentencia o adolescente a uma medida sócio-educativa, levando em conta: as informações fornecidas pelo Ministério Público, os argumentos da acusação feitos pelo promotor e os argumentos da defesa. Normalmente a defesa é feita por um defensor público (advogado gratuito) visto que a constituição do Brasil prevê o direito de ampla defesa para qualquer cidadão, inclusive para o menor, e se este não puder constituir um advogado, o juiz determina um defensor público para acompanhar o processo.

Todas as etapas descritas acima levavam bastante tempo para serem cumpridas anteriormente, em função dos órgãos responsáveis estarem fisicamente distantes um do outro. Entretanto, seguindo as disposições gerais do Estatuto da Criança e do Adolescente Art. 88 parágrafo V, que aconselha que:

“É importante a integração operacional de órgãos de judiciário, Ministério Público, Defensoria, Segurança Pública e Assistência Social, preferencialmente em um mesmo local, para efeito de agilização do atendimento inicial ao adolescente a quem se atribua autoria de ato infracional.”

Vários estados, e este é o caso do Pará, criaram seus centros de integração, que é a porta de entrada do infrator no sistema de responsabilização. Esta integração recebe a denominação de Centro Integrado de Atendimento aos Adolescentes (CIAA) e promove a recepção inicial do jovem e agiliza seu atendimento. Esta integração entre o Poder

Judiciário, o Ministério Público, as Polícias Civil e Militar e os órgãos de defesa e assistência tem possibilitado um tratamento mais digno ao infrator. Assim, o CIAA possui representante dos diversos órgãos, que ficam no mesmo espaço físico. Isto evita o deslocamento e o conseqüente atraso da sentença.

Os jovens que são sentenciados a uma medida sócio-educativa no estado do Pará, ficam sob a supervisão da Fundação da Criança e do Adolescente do Pará (FUNCAP) que é uma instituição governamental que atende, crianças, adolescentes e seus responsáveis legais. É integrada por psicólogos, pedagogos e assistentes sociais, dentre outros profissionais. Foi criada pela Lei 5.789/93 e começou a funcionar em janeiro de 1994, após a extinção da Fundação do Bem - Estar Social do Pará (FBESP), é vinculada á Secretaria do Trabalho e Promoção Social (SETEPS).

A FUNCAP possui duas áreas de ação:

- a) A proteção a crianças e Adolescentes e social (vítimas de abandono, negligência, maus-tratos, dependentes de drogas etc.);
- b) A execução das sanções (medidas sócio-educativas) previstas no Estatuto da Criança e do Adolescente (ECA), para as infrações cometidas na juventude.

É ela quem coloca em prática a política de proteção especial do Estatuto da criança e do adolescente; e quem viabiliza, no dia-a-dia, a defesa dos direitos e garantias constitucionais de jovens e crianças.

Possui 16 unidades, na capital e no interior, além de dois programas específicos de capacitação profissional e apoio à família. Destas unidades, 9 funcionam em regime aberto, semi-aberto e fechado, para atender jovens infratores sentenciados às medidas sócio-educativas do ECA.

As unidades fechadas (de privação da liberdade) são os centros de internação de adolescentes Masculino e Feminino (CIAM e CIAF) e o Centro Sócio-Educativo Masculino (C.S.E.M.).

Nos centros de semi-liberdade de Icoaraci (grande Belém) e de Santarém (interior do estado), que funcionam em regime semi-abertos, os jovens podem estudar e trabalhar fora durante o dia.

Já nos centros de Liberdades Assistida e Prestação de Serviços à Comunidade de Belém, Castanhal, Santarém e Marabá, que funcionam em regime aberto, os infratores cumprem a sentença, mas permanecem junto à família e à comunidade.

As assistentes sociais da FUNCAP fazem um primeiro contato com o adolescente infrator e coletam informações sobre a situação de vida do adolescente.

O que se espera, após o menor infrator ter cumprido uma medida sócio-educativa, é que ele esteja recuperado e não volte a cometer outro ato infracional (reincidência), em muitos casos, não é isto o que acontece. Quando o adolescente infringe a lei uma vez, isto pode ser decorrência de uma eventualidade, mas a repetição deste fato provoca questionamentos mais profundos. Este foi um dos motivos da escolha deste fenômeno social para ser investigado pelo modelo Bayesiano-Nebuloso.

4.3 DESCRIÇÃO FORMAL DO PROBLEMA

Quando a proposta de investigação de um fenômeno seguir a linha de pesquisa quantitativa, como no caso do menor infrator, implica utilizar algum modelo matemático. Este modelo deve, posteriormente, ser testado para avaliar se é adequado para o problema proposto como citado pelo Prof. J. Neyman (*apud* MEYER, 1983, p.1)

“Todas as vezes que empregamos a Matemática a fim de estudar alguns

fenômenos de observação, deveremos essencialmente começar por construir um modelo matemático (determinístico ou probabilístico) para esses fenômenos. (...) Geralmente é bastante difícil afirmar com certeza se um modelo matemático especificado é ou não adequado, *antes* que alguns dados de observação sejam obtidos. A fim de verificar a validade de um modelo, devemos *deduzir* um certo número de conseqüências de nosso modelo e, a seguir, comparar esses resultados *previstos* com observações”

No caso do problema do adolescente infrator reincidente, a proposta para solução do problema pode partir de um esquema ou modelo e procurar calcular a probabilidade de certos resultados, ora, isto nada mais é do que utilizar a *Teoria das Probabilidades*, além disso, como são vários fatores sociais (fatores condicionais) a serem analisados, este modelo pode usar uma análise multivariada e probabilidades condicionais. Estas são justamente as características das Redes Bayesianas.

O objetivo e a validade desta dissertação pode ser questionado. Afinal, é possível afirmar categoricamente que um adolescente vai infringir a lei ou vai reincidir, somente baseado no modelo matemático proposto nesta dissertação? É claro que não, e até por conta disto, o modelo utilizado é probabilístico, e não um modelo determinístico. É preciso compreender a distinção entre o modelo matemático determinístico e modelo matemático não-determinístico (estocástico ou probabilístico).

Para ilustrar a explicação: se uma família viaja de uma cidade a outra, e for levada em conta a velocidade média do carro e a distância entre as duas cidades, e se a viagem for realizada sob determinadas condições e sem imprevisto, pode-se afirmar categoricamente o tempo que levará esta viagem, mesmo antes da viagem ser realizada, isto não é uma simples crença, é um fato que pode ser determinado a priori, com toda a

certeza. Segundo MEYER (1995), modelo determinístico é um modelo que estipula as condições sob as quais um experimento seja executado *determinam* os seus resultados.

Por outro lado, existe um grande número de situações em que a natureza do fenômeno é aleatória e o modelo determinístico não é suficiente. Contudo, ainda pode ser usado um modelo matemático para sua investigação, tais modelos são chamados modelos probabilísticos. Este modelo é aplicado para experimentos aleatórios e não podem ser determinados com precisão o seu resultado, o que pode ser descoberto é uma crença em um possível resultado.

Por exemplo, dado um evento aleatório: Jogar uma moeda 100 vezes e observar a seqüência obtida de caras e coroas. Não se pode afirmar a priori e, com certeza, que o resultado será somente cara ou somente coroa, nem que cairá a metade cara e a metade coroa, à medida que for lançada a moeda, desde a primeira vez até a centésima, o número de caras ou coroas tende a se estabilizar em uma certa razão, talvez 50% (50/100). Isto não quer dizer em absoluto que sem repetir o fenômeno, poder-se-ia afirmar categoricamente que a metade das vezes seria cara e a outra metade seria coroa. Isto é apenas uma *crença* e talvez o bastante para se tomar alguma decisão.

Nesta dissertação, o fenômeno do menor infrator reincidente não pode ser tratado por um modelo matemático determinístico e sim por um modelo matemático probabilístico. Em função da sua aleatoriedade, não se pode afirmar com certeza que um adolescente cometerá um ato infracional ou será reincidente, porém determinadas condições podem conduzir a uma crença na possibilidade de ocorrer tal evento, e muitas vezes não é necessária uma informação precisa para tomar uma decisão, apenas um indicativo é o bastante.

Conforme BARRETO (1999, p.124)

”Neste contexto, quando se fala de probabilidade, não se faz referência a números, e sim a um tipo de raciocínio. Por exemplo, quando um médico afirma: “a chance de que um paciente portador de doença D apresente no futuro próximo o sintoma S é e p”, a verdade desta afirmação não é o valor preciso de p, mas a razão específica para a crença do médico, o contexto ou a suposição sobre a qual a crença deveria estar firmemente mantida e as fontes da informação, que acarretam mudanças nesta crença”

Assim sendo, qualquer estudo que forneça algum tipo de informação que contribua para que especialistas ligados aos adolescentes infratores, reoriente suas condutas e diminua em pelo menos 1% a reincidência, já é importante como contribuição social.

Muito embora, no universo do adolescente infrator seja possível realizar inúmeras pesquisas com os mais variados objetivos, a atenção desta dissertação está focada apenas em um aspecto – *a reincidência do adolescente infrator*.

Dados fornecidos pelo Ministério da justiça dão conta de que hoje a reincidência varia de 20% a 0% nas cidades brasileiras. Um aspecto perturbador ligado a estes números é que grande parte dos atuais adultos delinquentes foi se formando a partir de *menores infratores reincidentes*.

Uma importante questão levantada por NOGUEIRA (1991), é que para o Estado, o custo do menor atendido por entidades particulares é muito reduzido, chega a ser 45 vezes menor que o gasto da alimentação de um adulto preso. Portanto, a reincidência do menor infrator é um fenômeno social de extrema importância, e que merece ser pesquisado e analisado exaustivamente sob vários olhares e várias técnicas de

investigação.

Um dos objetivos da pesquisa quantitativa é a predição. Neste sentido, se for possível antecipar que um fato negativo venha ocorrer, é possível evitá-lo ou pelo menos amenizá-lo. Por exemplo, se dentro do universo de menores infratores for detectado que determinados fatores influenciam estes menores a cometer outros atos infracionais, pode ser feito algum trabalho especial de intervenção de modo a reduzir a reincidência.

Como visto anteriormente, os adolescentes infratores via de regra passam por medidas sócio-educativas. Porém, em muitos casos, estes procedimentos mostram-se ineficazes e o adolescente acaba infringindo a lei novamente, caracterizando a reincidência. O problema do adolescente infrator reincidente é utilizado nesta dissertação para testar o modelo Bayesiano-Nebuloso.

Entre os anos de 1997 e 2000, 1653 adolescentes cometeram algum tipo de ato infracional no estado do Pará e receberam algum tipo de media sócio-educativa. Todas as informações sobre estes menores estão nos arquivos da Fundação da Criança e do Adolescente do Estado do Pará e foram cedidos para este experimento.

A indicação do conjunto de fatores como meio de influenciar na reincidência do adolescente infrator, elencados na tabela 4.1, é do Ministério Público, FUNCAP, Juizado de menores, e outras instituições correlacionadas ao adolescente infrator. Adolescente. Cada item da Tabela 4.1 é um possível fator que contribui com menor ou maior grau para a reincidência. E estes fatores formam um conjunto que pode ser definido formalmente como:

$$U = \{ c \mid c \text{ é fator com chance de influenciar a reincidência, presente na Tabela 4.1} \}$$

Cada coluna da tabela é um subconjunto. Assim, o conjunto U é dividido em 8 subconjuntos::

$A = \{ c \in U \mid c \text{ é um indicador se o adolescente consome droga e se está em tratamento} \}$

$B = \{ c \in U \mid c \text{ é a situação familiar do adolescente} \}$

$C = \{ c \in U \mid c \text{ é a situação escolar do adolescente} \}$

$D = \{ c \in U \mid c \text{ é a renda familiar do adolescente} \}$

$E = \{ c \in U \mid c \text{ é o sexo do adolescente} \}$

$F = \{ c \in U \mid c \text{ é a idade do adolescente} \}$

$G = \{ c \in U \mid c \text{ é a localidade do adolescente} \}$

$H = \{ c \in U \mid c \text{ é a escolaridade do adolescente} \}$

A partir do conjunto U e seus subconjuntos, deve-se encontrar o conjunto M de fatores com mais chance de contribuir para a reincidência. Este conjunto é formado pela combinação de elementos dos conjuntos: $A, B, C, D, E, F, G, e H$. Mais precisamente, um conjunto com oito elementos, sendo um elemento de cada um dos subconjuntos de U . Cada elemento do conjunto M será uma tupla (seqüência ordenada) e terá a forma:

$M = \{ (c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8) \mid c_1 \in A, c_2 \in B, c_3 \in C, c_4 \in D, c_5 \in E, c_6 \in F, c_7 \in G, c_8 \in H \}$

O número de tuplas que podem ser formadas, levando em conta a Tabela 4.1 pode ser facilmente descoberto, basta utilizar *o princípio fundamental da contagem*.

Assim, levando em conta que na tabela 4.1 o número dos elementos (#) de cada conjunto é:

$$\#A = 3$$

$$\#B = 2$$

$$\#C = 2$$

$$\#D = 2$$

$$\#E = 2$$

$$\#F = 7$$

$$\#G = 3$$

$$\#H = 4$$

Para encontrar o número de combinações, basta multiplicar o número de elementos dos 8 subconjuntos e mais as duas possibilidades: *reincidência sim*, *reincidência não*. Logo, o número de tuplas que são formadas levando em conta a Tabela 4.1 é

$$3 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 7 \times 3 \times 4 \times 2 = 8.064$$

Este número pode ser menor, se entre o grupo de indivíduos estudados não houver nenhum com um determinado fator. Por exemplo, pode ser que dentre um grupo estudado só haja indivíduos do sexo masculino. Neste caso, o subconjunto *E* da tabela 4.1 só teria *um* elemento e não *dois*. Refazendo os cálculos para esta situação, o número de tuplas diminuiria para 4.032.

Visto que, a probabilidade sempre foi relacionada com a medida de eventos repetitivos, pode-se calcular a probabilidade da reincidência para cada uma das *tuplas*, aplicando o Teorema de Bayes (Anexo A), especificamente neste caso, o cálculo sempre levará em conta 8 evidências, portanto a fórmula formula será:

Tabela 4.1 – Fatores que contribuem para reincidência

Uso Droga/Tratamento	Situação Familiar	Situação escolar	Renda	Sexo	Idade	Localidade	Escolaridade
Sim CI	Com vínculo	Estudando	Com Renda	Masculino	12	Ananindeua	Analfabeto
Sim SI	Sem vínculo	Não estudando	Sem Renda	Feminino	13	Belem	1ª a 3ª série
Não usa					14	Outras localidades	4ª a 8ª série
					15		2º grau
					16		
					17		
					18		

Fonte: FUNDAÇÃO DA CRIANÇA E DO ADOLESCENTE DO ESTADO DO PARÁ

$$P(H_i | c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8) = \frac{P(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8) \cdot P(H_i)}{P(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8)}$$

Onde: $P(H_i | c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8)$ é a hipótese de reincidência, levando em conta os fatores: $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$.

Na prática, este cálculo permite verificar quais as chances que o adolescente infrator tem de cometer reincidência com base nas suas próprias informações (evidências). Este método consiste na partição do espaço amostral em diversos subconjuntos cujas probabilidades sejam conhecidas. Na equação, H_i é a hipótese (hipótese de reincidência) cuja probabilidade se quer calcular dado em que os eventos $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7, c_8$ tenham ocorrido.

Toda a estrutura que envolve as causas da Tabela 4.1 e as hipóteses *reincidência* e *não reincidências*, serão utilizadas para montar uma Rede Bayesiana. No final, a saída da Rede Bayesiana é um conjunto na forma:

$$R = \{ (x, y) \mid x \text{ é uma combinação de fatores, } y \text{ é um valor de probabilidade} \}$$

Contudo, é possível que determinados elementos de R possuam valor de $y=0$, o que significa que não há probabilidade da ocorrência destas combinações. Desta forma, estes elementos do conjunto R não são relevantes e podem ser descartados.

Diante disso, o novo conjunto das saídas relevantes é:

$$R' = \{ (x, y) \mid x \text{ é uma combinação de fatores, } y \text{ é uma probabilidade } > 0 \}$$

Normalmente, o elemento de R' com maior valor de y é a solução do sistema. No entanto, para determinados problemas, como o problema do adolescente infrator reincidente, pode ocorrer que vários elementos de R' possuam valores de y iguais ao maior valor ou muito próximo. Neste caso, a qualidade da solução fica comprometida, como foi discutido no capítulo 2., Isto não necessariamente invalida o uso de Rede Bayesiana para este tipo de problema, mas evidentemente algum mecanismo deve ser utilizado na busca de um resultado mais satisfatório.

Uma forma de contornar esta situação, é fazer com que a saída da Rede Bayesiana (elementos do conjunto R') transforme-se em um conjunto nebuloso. Isto dá uma nova dimensão à solução com será visto daqui em diante.

Uma noção básica da teoria de conjuntos é a pertinência de um elemento e em um conjunto F , indicada pelo símbolo \in :

$$e \in F$$

Uma forma de indicar essa pertinência é através de uma função de pertinência $\mu_F(e)$, cujo valor indica se o elemento e pertence ou não ao conjunto F . Na lógica clássica, esta função é bivalente:

$$\mu_F(e) = \begin{cases} 1 & \text{se } e \in F \\ 0 & \text{se } e \notin F \end{cases}$$

Na teoria de conjuntos nebulosos, um conjunto nebuloso F de R' é caracterizado por uma função de associação $\mu_F(e)$ que leva cada elemento de R' para um valor no intervalo real $[0, 1]$. O grau de pertinência de e aumenta à medida que $\mu_F(e)$ se aproxima de 1.

Neste sentido, o conjunto solução S do problema dos adolescentes infratores pode ser escrito de uma forma que cada elemento do conjunto mostre a tupla com o seu respectivo valor de pertinência:

$$S = \{(e, \mu_F(e)) \mid e \in R'\}$$

O conjunto F pode ser definido em função de um intervalo de valores de probabilidades, por exemplo entre 70% e 100%, bem como F pode ser associado a um termo lingüístico, como por exemplo fatores com chance *altamente provável de* influenciar a reincidência. Na verdade, podem ser definidos vários conjuntos nebulosos como o conjunto F , cada um associado a um termo lingüístico e a um intervalo de probabilidade.

Para efeito desta dissertação é definido um conjunto de termos lingüísticos:

$X = \{\textit{altamente improvável, muito improvável, pouco improvável, pouco provável, provável, muito provável, altamente provável}\}$

A Figura. 4.2 mostra graficamente estes conjuntos nebulosos, seus termos lingüísticos, e seus respectivos intervalos de probabilidade..

Figura 4.2 – Gráfico das funções de Pertinência

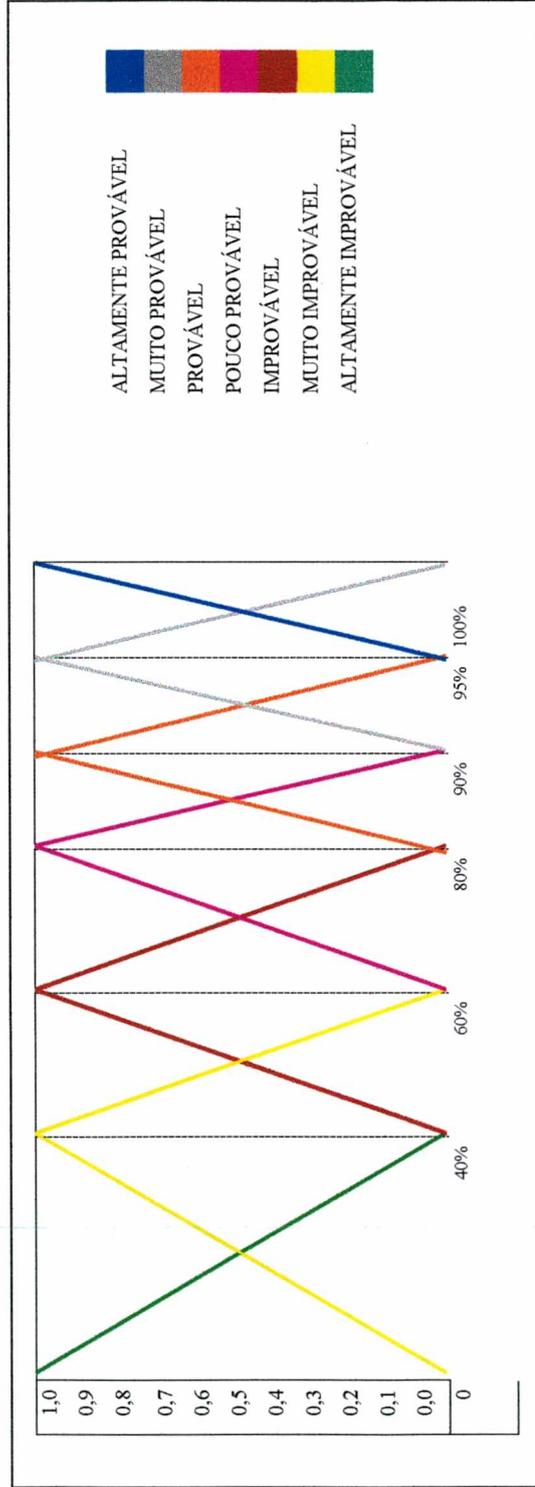
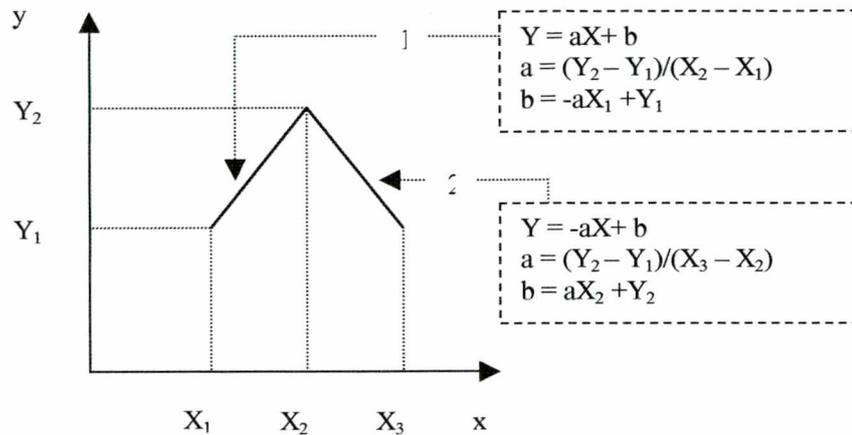


Figura 4.3 – funções de associação

Exemplo: *provável*

$X_1 = 0.25$

$X_2 = 0.40$

$X_3 = 0.60$

$Y_1 = 0.0$

$Y_2 = 1.0$

Reta1:

$y = 6.66x - 1.66$

Reta2:

$y = -5x + 3$

$$\mu_{\text{provável}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0.25 \\ 6.66x - 1.66, & 0.25 < x \leq 0.40 \\ -5x + 3, & 0.40 < x \leq 0.60 \\ 0, & x > 0.60 \end{cases}$$

As funções de associações definem o grau de participação de um elemento de R' a um conjunto nebuloso (com um termo lingüístico e seu respectivo intervalo de probabilidade), a Figura 4.3 mostra a função utilizada nesta dissertação, bem como um exemplo de cálculo. Esta função permite que se faça os cálculos de todos os elementos que pertencem a um conjunto nebuloso, e depois possa exibir o grau de pertinência dos elementos de R' a este conjunto. Antes de calcular o grau de pertinência de um elemento de R' ao conjunto nebuloso, é necessário calcular o valor de probabilidade dos elementos de R' , um exemplo de como se calcula esta probabilidade levando em conta cinco evidências do adolescente infrator do ano de 1999 pode ser visto em seguida:

Tabela 4.2 – Número de adolescente por uso de droga (1999)

Uso Droga/Tratamento	reincidente	não reincidente	TOTAL	% reincidente	% não reincidente
Sim CT	16	79	95	27,59	22,01
Sim ST	22	76	98	37,93	21,17
Não usa	20	204	224	34,48	56,82
TOTAL	58	359	417	100,00	100,00

Tabela 4.3 – Número de adolescente por situação familiar (1999)

Situação Familiar	reincidente	não reincidente	TOTAL	% reincidente	% não reincidente
Com vínculo	53	326	379	91,38	90,81
Sem vínculo	5	33	38	8,62	9,19
TOTAL	58	359	417	100,00	100,00

Tabela 4.4 – Número de adolescente por situação escolar (1999)

Situação escolar	reincidente	não reincidente	TOTAL	% reincidente	% não reincidente
Estudando	21	164	185	36,21	45,68
Não estudando	37	195	232	63,79	54,32
TOTAL	58	359	417	100,00	100,00

Tabela 4.5 – Número de adolescente por renda (1999)

Renda	reincidente	não reincidente	TOTAL	% reincidente	% não reincidente
Com Renda	43	270	313	74,14	75,21
Sem Renda	15	89	104	25,86	24,79
TOTAL	58	359	417	100,00	100,00

Tabela 4.6 – número de adolescente por sexo (1999)

Sexo	reincidente	não reincidente	TOTAL	% reincidente	% não reincidente
Masculino	52	334	386	89,66	93,04
Feminino	6	25	31	10,34	6,96
TOTAL	58	359	417	100,00	100,00

	P(ei/H1)	P(ei/H2)
	Reincidir (%)	Não Reincidir (%)
usa droga e está em tratamento: e1	27,59	22,01
situação familiar é com vínculo: e2	91,38	90,81
situação escolar é não estudando: e3	63,79	54,32
a família possui renda: e4	74,14	75,21
o sexo é masculino: e5	89,66	93,04
$P(e1,e2,e3,e4,e5 Hi)$	1068881124	759481659,7
$P(Hi)$	13,09	86,09
$P(ei Hi) * P(Hi)$	14857447625	65383776085
$\sum P(ei/Hi) * P(Hi)$	80380453469	
$P(Hi/e1,e2,e3,e4,e5) (%)$	18,51 %	81,48 %

O exemplo acima calcula a probabilidade de um adolescente reincidir, levando em conta que: usa droga e está em tratamento, possui vínculo familiar, não estuda, a família possui alguma renda e o sexo é masculino. Esta probabilidade é de 18,51%, é este levado em conta para identificar a pertinência desta tupla a um conjunto nebuloso.

4.4 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO PROPOSTO

Uma das críticas que pode ser feita ao modelo proposto é que se o número de causas é muito, grande pode haver uma explosão combinatória e gerar um grande número de tuplas o que obrigaria a muitos cálculos. Entretanto a tarefa de lidar com uma grande quantidade de cálculos pode ser minimizada fazendo uma implementação computacional do modelo Bayesiano-Nebuloso.

A implementação computacional realizada nesta dissertação possui 5 módulos, conforme mostrado a seguir.

Figura 4.4 – módulos



Módulo Criar causa e Efeito:

Como indicado por RUSSEL & NORVIG (1995), uma vez que a topologia da rede é definida, basta especificar as probabilidades condicionais para os nodos que possuem dependências diretas e usar estas para calcular qualquer outro valor de probabilidade. Este módulo permite criar o ambiente (domínio do problema) que será o

objeto da investigação. É possível criar vários ambientes ao mesmo tempo (por exemplo, desempregados, adolescentes infratores, etc..). Para cada ambiente criado é necessário criar as causas (por exemplo, faixa etária, escolaridade, etc..) e os efeitos (por exemplo, desempregado, reincidente, etc..). É neste módulo que será criada a estrutura da rede Bayesiana.

Módulo Inserir dados:

Após a estrutura da Rede Bayesiana ter sido criada, existem três possíveis formas de alimentar o sistema com dados: Inserir dados, variáveis tabuladas e transferência de dados. Este módulo é usado para digitar os dados que é uma das formas de alimentar os dados para o modelo Bayesiano-Nebuloso. Apresenta uma tela para entrada de dados com campos que representam os fatores e os efeitos, é gerada automaticamente, bem como, um questionário com os mesmos campos. Posteriormente, é possível emitir várias cópias do questionário para preenchimento manual e que serão utilizados para digitação na tela de entrada de dados gerada automaticamente.

Módulo variáveis tabuladas:

É uma forma de alimentar os dados para o modelo Bayesiano-Nebuloso, quando aqueles já estão parcialmente calculados.

Módulo transfere dados:

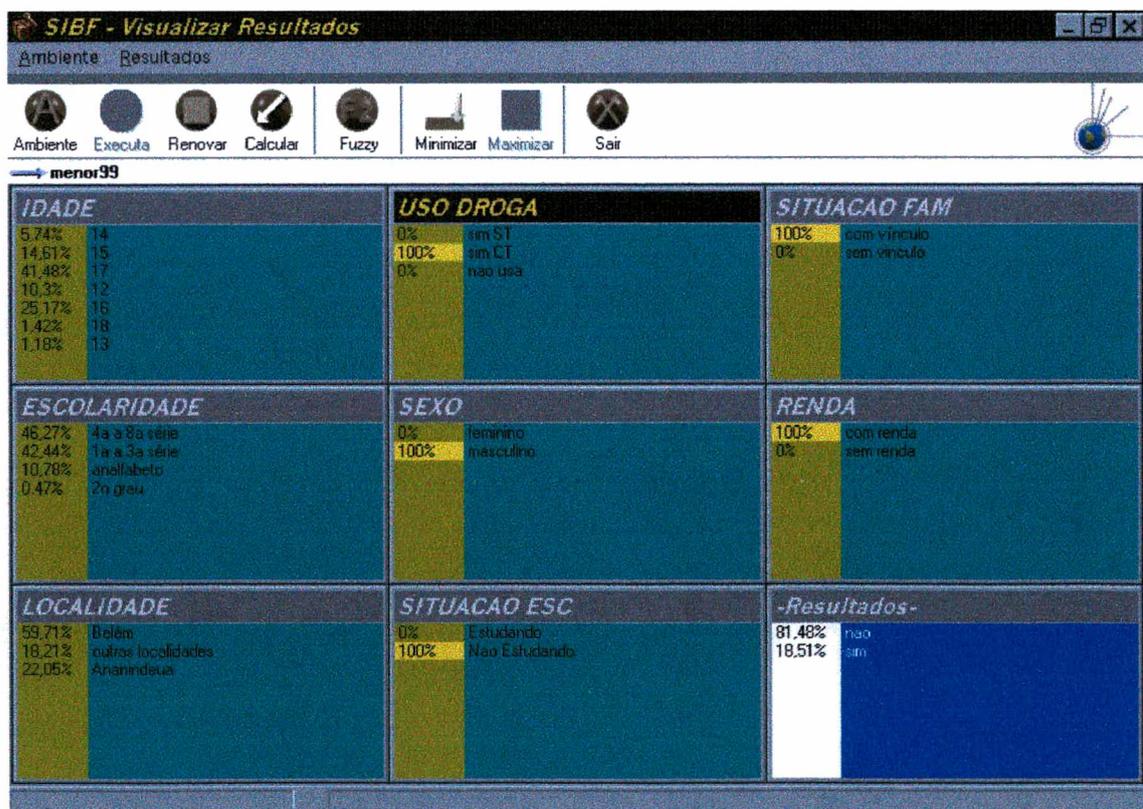
Muitas vezes os dados que alimentarão o modelo Bayesiano-Nebuloso estão em uma planilha ou em outro banco de dados. Este módulo permite a importação destes dados, e também faz todos os cálculos necessários automaticamente.

Módulo calcular e visualizar:

Este é o módulo mais importante, após a Rede Bayesiana ter sido criada e alimentada com dados de um determinado ambiente, é este módulo que faz os cálculos de todas as probabilidades condicionais e permite criar os conjuntos nebulosos com seus termos lingüísticos e as suas respectivas funções de pertinência; é neste módulo que se visualiza a saída do Sistema de Inferência Bayesiana-Fuzzy (combinações de causas e respectivos graus de pertinência).

A Figura 4.5 mostra os cálculos realizados pelo sistema (os itens com 100% indicam as evidências selecionadas)

Figura 4.5 – Tela de visualização de cálculo de probabilidades



A saída final do sistema mostra além das tuplas (combinação de causas) o grau de pertinência a um conjunto nebuloso, isto permite avaliar a importância dos fatores presente na tupla para montagem do perfil, como mostra a Figura 4.6

Figura 4.6 – Saída do sistema para o ano 1999 a partir da variável lingüística *pouco provável*

RENDA	SITUAÇÃO	SITUAÇÃO ES	SEXO	USO D	LOCAL	ESCOLARID	IDA	nao	sim	Grau de Pertinência
sem renda	com vínculo	Nao Estudando	feminino	sim ST	Belém	1 a 3a série	12	38,22	61,77	POUCO PROVÁVEL (0,08)
com renda	com vínculo	Nao Estudando	feminino	sim ST	Belém	1 a 3a série	12	39,57	60,42	POUCO PROVÁVEL (0,02)
sem renda	com vínculo	Nao Estudando	feminino	sim ST	Belém	1 a 3a série	13	39,58	60,41	POUCO PROVÁVEL (0,02)
sem renda	sem vinculo	Nao Estudando	feminino	sim ST	Belém	1 a 3a série	12	39,9	60,09	POUCO PROVÁVEL (0,00)

PO = Probabilidade de Ocorrência

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo contém a análise dos resultados obtidos ao tratar o fenômeno da reincidência do menor infrator reincidente pelo modelo Bayesiano-Nebuloso.

5.1 PERFIL DO ADOLESCENTE INFRATOR REINCIDENTE

Usando o modelo Bayesiano-Nebuloso foram feitas quatro baterias de testes, levando em conta os fatores da tabela 5.1. As funções de pertinência e os termos lingüísticos usados neste caso são os das figuras 4.2 e 4.3.

Os resultados finais da aplicação do modelo Bayesiano-Nebuloso em cada ano podem ser observado nas Tabelas: 5.2, 5.3, 5.4, e 5.5. Estas tabelas mostram as combinações de fatores das tuplas, as suas chances de influenciar na reincidência e os seus respectivos graus de pertinência a um conjunto nebuloso.

Na figura 4.2 pode-se verificar que nesta dissertação foram criados sete conjuntos nebulosos:

- a) conjunto nebuloso de fatores com chance *altamente provável* de influenciar o desemprego;
- b) conjunto nebuloso de fatores com chance *muito provável* de influenciar o desemprego;
- c) conjunto nebuloso de fatores com chance *provável* de influenciar o desemprego;
- d) conjunto nebuloso de fatores com chance *pouco provável* de influenciar o desemprego;

- e) conjunto nebuloso de fatores com chance *muito provável* de influenciar o desemprego;
- f) conjunto nebuloso de fatores com chance *improvável* de influenciar o desemprego;
- g) conjunto nebuloso de fatores com chance *altamente improvável* de influenciar o desemprego.

As tuplas das probabilidades mais altas de cada um dos quatro anos podem estar em qualquer um destes sete conjuntos nebulosos. Em nenhum dos quatro anos as probabilidades mais altas estão no conjunto nebuloso “*altamente provável*”, o conjunto nebuloso “*muito provável*” é a solução do ano 2000 (tabela 5.5), o conjunto nebuloso “*provável*” é a solução dos anos de 1997 e 1998 (tabelas 5.2 e 5.3), e finalmente o conjunto nebuloso “*pouco provável*” é a solução do ano de 1999.

Tabela 5.1 – Número de adolescentes infratores recidente por ano

	1997	1998	1999	2000
Número de Adolescente	404	411	417	411
Reincidência(%)	13,61%	12,65%	13,9%	14,35%

Fonte: FUNCAP

A análise dos resultados das tabelas: 5.2, 5.3, 5.4, e 5.5, permite verificar um padrão, de posse destas saídas pode ser montado um perfil do adolescente infrator com mais chance de reincidir. O quadro 5.1 é uma generalização dos resultados obtidos nos quatro anos.

Quadro 5.1 – Perfil do adolescente com mais chances de reincidência

Adolescentes do sexo feminino, das faixas-etárias mais baixas, que usam droga (independentemente do tratamento), que moram na grande Belém, que possuem escolaridade baixa ou nenhuma e que via de regra não estão estudando, são mais propensos a voltarem a cometer um ato infracional.

Tabela 5.2- resultado do ano de 1997

IDADE	RENDA	SITUAÇÃO FAMILIAR	SITUAÇÃO ESCOLAR	SEXO	DROGA E TRATAM	LOCALIDADE	ESCOLARIDADE	TERMO LINGÜÍSTICO	GRAU DE PERTINENCIA
12	SEM RENDA	SEM VÍNCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	ANANINDEUA	ANALFABETO	PROVÁVEL	0,12

Tabela 5.3 – resultado do ano de 1998

IDADE	RENDA	SITUAÇÃO FAMILIAR	SITUAÇÃO ESCOLAR	SEXO	DROGA E TRATAMENTO	LOCALIDADE	ESCOLARIDADE	TERMO LINGÜÍSTICO	GRAU DE PERTINENCIA
12	SEM RENDA	COM VÍNCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	ANANINDEUA	ANALFABETO	PROVÁVEL	0,16
12	SEM RENDA	COM VÍNCULO	ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	ANANINDEUA	ANALFABETO	PROVÁVEL	0,04

Tabela 5.4 – resultado do ano de 1999

IDADE	RENDA	SITUAÇÃO FAMILIAR	SITUAÇÃO ESCOLAR	SEXO	DROGA	LOCALIDADE	ESCOLARIDADE	TERMO LINGUISTICO	GRAU DE PERTINENCIA
12	SEM RENDA	COM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	BELÉM	1a a 3a série	POUCO PROVÁVEL	0,08
12	COM RENDA	COM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	BELÉM	1a a 3a série	POUCO PROVÁVEL	0,02
12	SEM RENDA	COM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	BELEM	1a a 3a série	POUCO PROVÁVEL	0,01
12	SEM RENDA	SEM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM ST	BELÉM	1a a 3a série	POUCO PROVÁVEL	0,01

Tabela 5.5 – resultado do ano de 2000

IDADE	RENDA	SITUAÇÃO FAMILIAR	SITUAÇÃO ESCOLAR	SEXO	DROGA E TRATAM	LOCALIDADE	ESCOLARIDADE	TERMO LINGUISTICO	GRAU DE PERTINENCIA
12	COM RENDA	COM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM CT	BELEM	ANALFABETO	MUITO PROVÁVEL	0,13
12	COM RENDA	COM VINCULO	ESTUDANDO	FEMININO	SIM CT	BELEM	ANALFABETO	MUITO PROVÁVEL	0,05
12	COM RENDA	SEM VINCULO	NÃO ESTUDANDO	FEMININO	SIM CT	BELEM	ANALFABETO	MUITO PROVÁVEL	0,04

CAPITULO 6 – CONCLUSÃO

Este capítulo faz uma reflexão sobre a validade do modelo Bayesiano-Nebuloso para ser utilizado em pesquisa quantitativa em Ciências Sociais bem como sugestões para trabalhos futuros ligados a esta pesquisa.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MODELO E SOBRE A INVESTIGAÇÃO DO FENOMÊNIO DA REINCIÊNCIA.

Após os testes realizados com o modelo Bayesiano-Nebuloso, utilizando-se a base de dos menores infratores do Estado do Pará, o modelo permitiu não somente indicar uma tupla de fatores, mas traçar o perfil do adolescente com mais chance de reincidir, conduzindo a uma solução de qualidade superior à utilização pura e simples de uma Rede Bayesiana tradicional. Por exemplo, uma simulação em uma Rede Bayesiana utilizando os dados dos menores infratores do ano 2000 (tabela 5.5) têm como resposta os fatores: *idade de 12 anos, possui vínculo familiar, não estuda, sexo feminino, usa droga sem fazer tratamento, mora em Belém e é analfabeto*. No entanto, a mesma simulação feita com o modelo Bayesiano-Nebuloso a partir da frase (conjunto nebuloso) *fatores com chance muito provável de influenciar a reincidência* tem como resposta três tuplas e seus respectivos graus de pertinência a este conjunto nebuloso (tabela 5.5), neste caso, as tuplas que fazem parte da solução do problema apresentam muita semelhança, pois todos os fatores presentes das tuplas da tabela 5.5 são praticamente iguais, as exceções são a situação escolar e a renda familiar. Assim tanta semelhança entre os fatores das três tuplas, reforça a idéia de que os fatores iguais são realmente os que têm mais chance de influenciar a reincidência do menor infrator, e

assim tem-se a possibilidade de traçar um perfil dos fatores com mais chance de contribuir para um fenômeno. Por outro lado, se as três tuplas da tabela 5.5 apresentarem fatores totalmente diferentes não é possível traçar um perfil dos fatores, pois não é detectado um padrão, em um caso assim, vê-se claramente que a escolha da tupla com maior valor de probabilidade é um erro, uma vez que os fatores indicados nesta tupla diferem frontalmente dos fatores de outra tupla com grau de participação praticamente igual.

Assim como a lógica clássica é um caso particular da lógica não clássica, um modelo Bayesiano é um caso particular do modelo Bayesiano-Nebuloso, haja vista que no decorrer desta dissertação obteve-se resultados onde apenas uma tupla é apontada como resposta (tabela 5.1), que seria a solução clássica do modelo bayesiano (a tupla que possui um valor de probabilidade consideravelmente maior que as demais), nos demais resultados obteve-se como solução mais de uma tupla corrigindo a lacuna deixada pelo modelo bayesiano clássico.

Os ganhos obtidos na qualidade da resposta produzida pelo modelo Bayesiano-Nebuloso tem um custo, *o aumento dos cálculos para produzir a solução*, para isto foi feita uma implementação computacional para o modelo, eliminando as dificuldades para a realização dos testes.

A aplicação do modelo Bayesiano-Nebuloso se mostrou bastante interessante no estudo do problema do adolescente infrator, pois o experimento foi repetido com dados de quatro anos diferentes e foi possível estabelecer um padrão (perfil do adolescente infrator) que é descrito no quadro 5.1. Foram feitas quatro baterias de teste para verificar se havia um padrão que persistia ao longo dos anos e este padrão foi

encontrado. Assim os resultados obtidos têm a devida credibilidade e prova que ele é útil como ferramenta para pesquisa quantitativa em fenômenos sociais.

O objetivo de utilizar o problema do adolescente infrator foi somente para testar e validar o modelo. No entanto as constatações deste estudo com o modelo Bayesiano-Nebuloso foram surpreendente, normalmente espera-se que meninos já próximos da maioridade tenham o perfil com mais chance de cometer a reincidência, não é isto que revelou esta dissertação, pelo contrário, o perfil do adolescente com mais chance de cometer a reincidência entre adolescentes infratores (quadro 5.1) revela que meninas que recentemente entraram na adolescência é que tem mais chance de reincidir.

Este perfil que contradiz o senso comum pareceu conspirar contra a validade do modelo como ferramenta para estudo de fatores com chance de influenciar fenômenos sociais. Em função disto, os resultados do quadro 5.1 foram submetidos a especialistas em adolescentes infratores para que pudessem emitir a sua opinião. Eles confirmaram que as suas percepções apontavam exatamente para este perfil no estado do Pará.

Muito embora as causas da reincidência não tenham causado surpresa a estes especialistas, como causaria as demais pessoas, muitos ficaram surpresos com a possibilidade de usar um modelo matemático para comprovação de fatores que eles apenas desconfiavam. Os resultados apontados pelo modelo Bayesiano-Nebuloso em relação aos dados do Estado do Pará são preocupantes, visto que os adolescentes cometem sua primeira reincidência ainda muito jovem e isto pode conduzi-los a uma vida criminosa, se esse processo não for estancado.

Um aspecto que chama a atenção é a questão da renda e do vínculo familiar, como não se repetem nas várias tuplas, estes fatores parecem não influenciar muito na questão da reincidência do adolescente infrator. Cabe salientar que os dados da grande

maioria das famílias dos adolescentes infratores apontam para uma renda com no mínimo zero e no máximo três salários mínimos, tal renda mesmo no seu nível mais alto é insuficiente para modificar a situação do adolescente. Quanto à questão do vínculo familiar deve ficar claro que os dados da situação familiar indicam apenas se há algum tipo de contato com a família, e não necessariamente se há uma relação de harmonia na família.

Assim como o modelo Bayesiano-Nebuloso se mostrou útil nesta pesquisa quantitativa ligada ao fenômeno do menor infrator apontando os fatores com mais chance de influenciar a reincidência no Estado do Pará, outras pesquisas quantitativas de cunho social podem se valer da utilidade deste instrumento na incessante busca do conhecimento da realidade que nos cerca.

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS RELACIONADOS A ESTA PESQUISA

- A utilização da lógica nebulosa para tratar a saída de uma Rede Bayesiana, possibilitando a resposta conter mais que uma tupla, permite traçar um perfil dos adolescentes com mais chance de tornarem-se reincidentes, como pode ser visto no quadro 5.1, no entanto isto é feito por um especialista humano. Uma proposta para trabalho futuro é criar mecanismo, usando lógica nebulosa que permita o próprio modelo tirar suas conclusões e traçar um perfil dos indivíduos de um determinado grupo com mais chance de atingir um fenômeno social. Isto possibilita a criação de um sistema especialista (SE) baseado neste modelo, que a partir

de uma pergunta ao sistema como por exemplo, *qual o perfil dos indivíduos com mais chance de suicídio na prisão?* traga como resposta uma frase que representa este perfil, tornando o SE realmente “inteligente”.

- Utilização do modelo proposto nesta dissertação em outras áreas além das Ciências Sociais com o intuito de verificar sua aplicabilidade em outros campos do conhecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARNES, Rob, **Seja um ótimo aluno**. São Paulo: Papyrus, 1995.

BARRETO, Jorge Muniz, **Inteligência Artificial no limiar do século XXI**, 2ª Ed. Florianópolis, 1999.

BARROS, Aidil de Jesus de Paes de, Lehfeld, NEIDE, Aparecida, **Projeto de Pesquisa: Propostas Metodológicas**. 11º Ed. Rio de Janeiro: Vozes, 2000.

BEAUD, Michel, **Arte da Tese**. 2º Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

BRASIL. **Código de processo civil**, Lei no 5.869, de 11 de janeiro de 1973.

BRASIL. **Código de processo penal**, decreto lei no 3.689, de 3 de outubro de 1941.

BRASIL. **Constituição da república federativa do Brasil**. De 5 de outubro de 1988 (Promulgada em 05 de outubro de 1988).

BRASIL. **ECA – Estatuto da criança e do adolescente**: Lei nº 8.069, de 13 julho de 1990.

CONTE, Auguste. **Curso de filosofia positiva**. In: ____ Os pensadores. São Paulo: Abril Cultural, 1978.

COSTA, José Haroldo Teixeira. **Redução da idade penal é considerada negativa**. O Liberal, 11.01.2002. p. 2, c.3.

COSTA, Marco Antonio F. da, COSTA, Maria de Fátima Barrozo da. **Metodologia da Pesquisa: Conceitos e Técnicas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001.

COTRIM, Gilberto Vieira, **Direito e legislação**, São Paulo: Saraiva, 1989.

DURKHEIM, Émile. **Educação e sociologia**. 10. Ed. São Paulo: Melhoramentos, 1975.

DURKHEIM, Émile. **O Suicídio**. Rio de Janeiro: Ed. Zahar, 1982.

GAMBOA, Hugo, **Trabalho da cadeira Engenharia Biomédica – Aprender a aprender, Sistema Tutor Inteligente** – Instituto Superior Técnico, 1999.

HRUSCHKA, Estevam, **Trabalho de Propagação de Crença em Redes Bayesianas**, 1997.

KLIR, George J, FOLGER, Tina A. **Fuzzy Sets, Uncertainty, and Information**. Singapore: Prentice Hall, 1992.

KOEHLER, C, **Uma Abordagem Probabilística para Sistemas Especialistas**, 1998.

KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. Trad. de Beatriz Boeira e Nelson Boeira. 3ª ed. São Paulo: Perspectiva, 1995.

LIPSHUTTZ SEYMOUR. **Probabilidade**. 4ª Ed. São Paulo: Makron Books, 1994.

LIPSHUTTZ, Seymor, **Propabilidade**, 4ª Ed. Trad. Ruth Ribas Itacarabi, São Paulo: Makron Books, 1994.

MARÇURA, Norberto Marçura, CURY, Munir, GARRIDO, Paulo Afonso, **Estatuto da criança e do adolescente anotado**, São Paulo: Revista dos Tribunais, 1991.

UNAMA, **Medidas sócio-educativas: Em busca de um projeto de vida**, Belém: Universidade da Amazônia, 2000.

MEYER, Paul L., **Probabilidade aplicações à estatística**, 2ª Ed. Trad. Ruy de C. B. Lourenço Filho, Rio de Janeiro: LTC, 1983.

MURTEIRA, Bento José Ferreira. **Probabilidades e Estatística**. Vol I, Portugal: McGraw-Hill, 1977.

MURTEIRA, Bento José Ferreira. **Probabilidades e Estatística**. Vol II, Portugal: McGraw-Hill, 1977.

NASCIMENTO JR, Cairo, YONEYAMA, **Inteligência artificial em controle e automação**. São Paulo: Edagard Blücher, 2000.

NASSAR, S. M. **A estatística como apoio à inteligência Artificial: Sistemas**

Especialistas Probabilísticos. In: Estatística e Informática: um processo interativo entre duas ciências. Trabalho apresentado no Concurso para Professor Titular, INE, CTC, UFSC, 1998.

NOGUEIRA, Paulo Lúcio, **Estatuto da Criança e do Adolescente Comentado: Lei n. 8.069, de 13 de julho de 1990,** São Paulo: Saraiva, 1991.

NORTHEEDGE, Andrew, **Técnicas para estudar com sucesso.** Florianópolis, Ed. da UFSC: 1998.

PASSOS, Emmanuel L. **Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas ao Alcance de Todos.** Rio de Janeiro: LTC, 1989.

PEARL, J, **Probabilistic Reasoning in Intelligent System: Network of Plausible inference.** San Mateo, California: Morgan Kaufman, 1988.

PEREIRA, Julio César R. **Análise de Dados Qualitativos: Estratégias Metodológicas para as Ciências da Saúde, Humanas e Sociais,** 3ª Ed São Paulo: Edusp, 2001.

RICH, Elaine, KNIGHT, Kevin, **Inteligência Artificial,** 2a Ed. Trad. Maria Cláudia Santos Ribeiro Ratto, São Paulo: Makron Books, 1994.

ROHMANN, Chris, **O livro das idéias.** Trad. Jussara Simões. 2ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000.

RUSSEL, S, NORVING, P. **Artificial Intelligence – A modern Approach.** New Jersey: Prentice Hall, 1995.

SANTOS FILHO, José Camilo, GAMBOA, Silvio Sanches. **Pesquisa educacional: quantidade-qualidade.** 4. Ed. São Paulo: Cortez, 1995.

SEVERINO, Antônio Joaquim, **Metodologia do Trabalho Científico.** 21º Ed. São Paulo: Cortez, 2000.

SILVA, Edna Lúcia da, MENEZES, ESTERA Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2000.

SIMÕES, Priscila, et al. **Trabalho de Sistema Especialista Probabilístico para Avaliação da Desaceleração de Crescimento em Desnutrição Infantil – Departamento de Pediatria** – Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

SPIEGEL, MURRAY R. **Probabilidade e Estatística**. Trad. Alfredo Alves de Faria, São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

TRIVINÕS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a Pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1992.

TRIVINÕS, Augusto N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a Pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1992.

WEBER, Max, **Metodologia das ciências sociais**. São Paulo: Cortez, 1993.

WINSTON, Henry P. **Inteligência Artificial**. Rio de Janeiro: LTC, 1987.

ANEXO A - REDES BAYESIANAS

Várias técnicas de representação podem ser usadas para modelar sistemas de crença, nos quais em um dado momento um fato particular é tido como verdadeiro, tido como falso, ou nenhuma destas duas hipóteses. No caso de certos tipos de solução de problemas, porém, ajuda poder descrever crenças que não são indiscutíveis, mas para as quais existem certas evidências de apoio.

Problemas em que há genuína aleatoriedade no mundo. O caso de jogos de azar são um bom exemplo. Embora nestes problemas não seja possível prever o mundo com segurança, há disponibilidade de conhecimento sobre a possibilidade de ocorrência de certos resultados, e seria interessante poder explorá-lo.

Para um grande de número de situações, o modelo matemático determinístico é suficiente, este tipo de modelo estipula que as condições sob as quais um experimento seja executado determinem o resultado do experimento, ou seja, em um modelo determinístico, admite-se que o resultado efetivo (numérico ou de outra espécie) seja determinado pelas condições sob a qual o experimento ou o procedimento seja executado. Contudo, existem muitos fenômenos que requerem um modelo matemático diferente para sua investigação. São os chamados modelos não-determinístico ou probabilístico (outra expressão empregada muito comumente é modelo estocástico). Em um modelo não-determinístico, no entanto, as condições de experimentação determinam somente o comportamento probabilístico (mais especificamente, a lei probabilística) do resultado observável.

Em outras palavras, em um modelo determinístico empregamos “considerações físicas” para prever o resultado, enquanto em um modelo probabilístico empregamos a

mesma espécie de considerações para especificar uma distribuição de probabilidade.

Assim, probabilidade é o estudo de experimentos aleatórios ou não determinístico. Se um dado é lançado ao ar, é certo que cairá (determinístico), mas não é certo que, digamos, apareça um 6. Entretanto, suponha que repetimos esse experimento de lançar um dado; seja s o número de sucessos, isto é, o número de vezes em que o 6 aparece e n , o número de lançamentos. Então, observa-se, empiricamente, que a razão $f=s/n$ tende a estabilizar-se, isto é, aproxima-se de um limite. Esta estabilidade é a base da teoria da probabilidade.

Na teoria da probabilidade, definimos um modelo matemático para tal fenômeno pela associação de “probabilidades” (ou, os valores limites das frequências relativas) aos “eventos” relacionados com um experimento.

Relações qualitativas da forma “A é mais provável que B” foram um dos primeiros propósitos na criação da teoria das probabilidades em que os jogadores tais como Cardano [1501-1576] e De Moivre [1667-1754] estavam interessados em saber se duas jogadas possíveis A e B qual deveria ser feita por ser mais provável.

A teoria da probabilidade adota a frase epistêmica “...visto que c é conhecido” como uma primitiva da linguagem. Sintaticamente denotado como:

$$P(A|C)=p$$

Onde A é uma dada proposição.

Esta frase combina as noções de conhecimento e crença pela atribuição a A de um grau de crença p , dado o conhecimento de C. C é chamado também o contexto da crença em A, e a notação $P(A/C)$ é chamada probabilidade condicional de Bayes. Thomas Bayes [1702-1761] fez sua principal contribuição à ciência de probabilidade pela associação da

frase “...dado que se conhece C” com a famosa fórmula:

$$P(A/C) = P(A \wedge C) / P(C)$$

a qual chegou a ser uma definição de probabilidade condicional.

E pela probabilidade condicional de Bayes que a teoria da probabilidade facilita o raciocínio não monotônico, isto é, o raciocínio probabilístico que envolve reavaliação de conclusões prévias. Por exemplo, é bastante aceitável afirmar simultaneamente: A crença na proposição

Qual a probabilidade de um objeto voar dado que é um pássaro.

Em outras palavras, ao saber que o objeto é um pássaro, pode se chegar a conclusão que ele voa. No entanto, sob o conhecimento que o pássaro está doente, há uma reavaliação sobre a primeira conclusão e afirma-se que é menos provável que ele possa voar.

Para facilitar tais reavaliações são necessárias duas coisas: que a crença original seja estabelecida com uma certeza menos absoluta, e que o contexto sobre a condição de crença seja consultada constantemente para ver se na reavaliação a crença é a mesma. A dinâmica da revisão da crença sob mudanças no contexto não é totalmente arbitrária, mas deve obedecer a certas leis básicas de plausibilidade as quais, estão embutidas nas regras sintáticas do cálculo de probabilidades.

A probabilidade sempre foi relacionada com a medida de eventos repetíveis de sistemas ideais.

Para se usar o teorema de Bayes como base para o raciocínio sob incerteza deve-se reconhecer exatamente o que ele expressa. Quando diz $P(A/B)$, descreve-se a probabilidade condicional de A , dado que se tem uma única evidência B . Se houver outras

evidências relevantes, elas deverão ser consideradas.

As Redes Bayesianas – RBs têm os seus fundamentos no século 18, mas só no início dos anos 80 este tema começou a ser tratado na perspectiva atual. Nos últimos tempos a investigação e algumas implementações eficientes das Redes Bayesianas, tem se colocado como uma ferramenta para lidar com a incerteza. As Redes Bayesianas são esquemas de representação de conhecimento de um sistema especialista probabilístico.

Redes de conhecimentos, são estruturas gráficas que representam sistemas baseados em conhecimentos calcados em vários tipos de teorias. Quando calcadas na teoria da probabilidade na teoria da probabilidade Bayesiana então se têm as Redes Bayesianas.

Formalmente, as redes de conhecimento Bayesianas são grafos direcionados acíclicos nos quais os nós representam variáveis aleatórias com medidas de incerteza associada. Os arcos representam as influências causais diretas entre as variáveis conectadas, e a força destas influências é quantificada por probabilidades condicionais.

Uma Rede Bayesiana é uma descrição concisa de distribuição de probabilidades. É definida por um grafo acíclico sobre nós, representando variáveis aleatórias. Em que cada variável tem uma matriz das probabilidades condicionadas, especificando a sua probabilidade dada à combinação de cada uma das possibilidades das variáveis pais, as únicas variáveis das quais a variável aleatória depende diretamente.

Qualquer probabilidade da rede é calculada desta forma:

$$P(H_i | e) = \frac{P(e | H_i) \cdot P(H_i)}{\sum_{j=1}^k (P(H_j) \cdot P(e | H_j))}$$

Pode-se considerar as Redes Bayesianas como diagramas que organizam seus conhecimentos numa dada área através de um mapeamento entre causas e efeitos.

ANEXO B - CONJUNTOS NEBULOSOS

A imprecisão (nebulosidade) intrínseca da linguagem natural é uma consequência lógica da necessidade de expressar informação em forma resumida. Aproximar é equivalente a raciocínio nebuloso e representa o processo ou processos pelos quais uma possível conclusão imprecisa é deduzida desde uma coleção de premissas imprecisas. Tal raciocínio é, na maior parte, de natureza qualitativa mais do que quantitativa e quase tudo isto cai fora do domínio da aplicabilidade da lógica clássica.

O início da história da lógica encontra-se na Grécia. Nesse momento, a lógica e suas fórmulas eram desenvolvidas utilizando a linguagem ordinária, sujeitas às regras sintáticas usuais.

Em seus esforços para fazer uma teoria da lógica concisa, houve muitas discussões.

O raciocínio nebuloso se originou nas discussões dos gregos antigos sobre valores de verdade. Sócrates com suas perguntas a seus discípulos formulou o problema de números de verdades sem dar respostas. A corrente platônica afirmava que existiam dois valores de verdade. Mas estas discussões evoluíram até que Aristóteles, aluno de Platão, que iniciou a lógica modal com quatro valores de verdade, a qual permaneceu quase no esquecimento até nosso século. Havia discussões filosóficas sobre o axioma do terceiro excluído, onde um elemento podia ser verdadeiro ou falso, e não podia ter uma terceira possibilidade (não pode ser verdadeiro e falso ao mesmo tempo).

Parmênides gerou grande polêmica com sua primeira versão da "Lei do Meio Excluído" (por volta de 400(A.C.), que dizia que uma coisa só podia ser verdadeira ou

falsa. Em resposta, Heraclitus propôs que as coisas podiam ser verdadeiras e falsas ao mesmo tempo. E assim estudos sobre a lógica tomaram lugar).

Porém é com Aristóteles que se dá o verdadeiro nascimento da lógica, ciência das idéias e dos processos da mente. Aristóteles possuía a concepção de que a Lógica deveria fornecer os instrumentos mentais necessários para enfrentar qualquer tipo de investigação. Ele redigiu uma série de trabalhos, os quais seriam editados posteriormente, com o nome de *Organon*, que significa Instrumento. Aristóteles chamava a lógica de Analítica (do grego *analysis*, que significa "resolução"). A analítica explica o método pelo qual, partindo de uma dada conclusão, resolve-se precisamente nos elementos dos quais deriva, isto é, nas premissas e nos elementos de que brota, e assim fica fundamentada e justificada.

Aristóteles construiu uma sofisticada teoria dos argumentos, cujo núcleo é a caracterização e análise dos assim chamados silogismos, os típicos raciocínios da lógica desse filósofo. O argumento:

Todo homem é mortal

Sócrates é homem

Logo, Sócrates é mortal

é o exemplo típico do silogismo perfeito.

Foi com Aristóteles que tivemos uma das primeiras tentativas de se estabelecer um rigor nas demonstrações matemáticas. Sua análise do papel das definições e hipóteses na matemática foi bastante positiva.

Ainda com os gregos, os megáricos (originários da cidade Mégara), fizeram estudos no campo. Além de interesse por certos enigmas lógicos como o "paradoxo do

mentiroso": quem diz "O que eu afirmo agora é falso", enuncia algo verdadeiro ou falso?, houveram estudos sobre as condicionais construídas com *se... ...então*, como "Se chove então a rua está molhada", as definindo em termos extremamente polêmicos, mas que seriam assumidos como corretos, vinte e três séculos mais tarde pelos fundadores da Lógica Contemporânea.

Os estóicos, também gregos, já tinham germinado o conceito de "proposição". Com Crisipo de Soles (280-206 a.C.), considerado o grande precursor do que hoje é chamado "Cálculo Proposicional", tiveram sua maior contribuição. Ele estudou as sentenças condicionais e também as disjuntivas (regidas pela partícula "ou") e as copulativas (regidas pelo "e"), tendo também reconhecido claramente o papel lógico desempenhado pela negação. Além disto, Crisipo foi capaz de relacionar tais idéias com as modalidades, elaborando, então, um sistema de princípios lógicos que, no seu campo específico, foi muito além dos poucos resultados obtidos por Aristóteles e seu discípulo Teofrasto. A Lógica Moderna começou no século XVII com o filósofo e matemático alemão Gottfried Wilhelm Leibniz.

Leibniz pensava que o problema das interrogações e polêmicas não resolvidas nas discussões filosóficas, assim como a insegurança dos resultados não poderia ser tratada à luz dos termos e dos processos conclusivos da linguagem ordinária, devido à ambigüidade desta. Ele queria dotar a Metafísica (aquela parte da Filosofia que estuda o "ser" em si) de um instrumento suficientemente poderoso que a permitisse alcançar o mesmo grau de rigor que tinha alcançado a Matemática. Assim, o projeto de criação de uma lógica simbólica e de caráter completamente calculístico, análogos aos procedimentos matemáticos, foi à idéia central de sua lógica.

Leibniz percebeu também uma tendência verificada naquele momento histórico: o simbolismo matemático estava se tornando cada vez mais manipulável e seguro em todas as áreas, sendo mais automático e dispensando contínua referência a conteúdos geométricos intuitivos. Ele concebeu então, também para a lógica uma desvinculação análoga com respeito ao conteúdo semântico das proposições, aproveitando pela primeira vez a oportunidade de reduzir as regras da dedução lógica a meras regras de cálculo, isto é, a regras cuja aplicação possa prescindir da consideração do conteúdo semântico das expressões.

A contribuição de Leibniz ao desenvolvimento da lógica aparece sob dois aspectos: ele aplicou com sucesso métodos matemáticos para a interpretação dos silogismos aristotélicos, e apontou aquelas partes da Álgebra que estão abertas a uma interpretação não aritmética. Pela primeira vez se expôs de uma maneira clara o princípio do procedimento formal. Leibniz tornou-se assim o grande precursor da Lógica Matemática.

A partir de meados do século XIX a lógica formal se elabora como um cálculo algébrico, adotando um simbolismo peculiar para as diversas operações lógicas. Graças a este novo método, pode-se construir grandes sistemas axiomáticos de lógica, de maneira parecida com a matemática, com os quais se podem efetuar com rapidez e simplicidade raciocínios que a mente humana não consegue espontaneamente.

O inglês George Boole (1815-1864) é considerado o fundador da Lógica Simbólica. Boole nasceu numa família de pequenos negociantes de pequenos recursos em Linciln, Inglaterra, e tinha apenas instrução de uma escola comum. Acreditando que seus conhecimentos o ajudariam a se elevar acima de sua situação, Boole percebeu que tinha que estudar mais matemática. Boole fez amizade com De Morgan, se interessou por uma

controvérsia sobre lógica que fora levantada com De Morgan pelo escocês Sir William Hamilton. O resultado foi que Boole em 1847 publicou um breve trabalho intitulado *The Mathematical Analysis of Logic* (1847).

Neste livro, Boole forneceu uma idéia clara de formalismo e a desenvolveu de modo exemplar. Boole percebeu que poderia ser construída uma álgebra de objetos que não fossem números, no sentido vulgar, e que tal álgebra, sob a forma de um cálculo abstrato, seria capaz de ter várias interpretações. O que chamou a atenção na obra foi a clara descrição do que seria a essência do cálculo, isto é, o formalismo, o procedimento, conforme o próprio George Boole descrevia, "cuja validade não depende da interpretação dos símbolos mas sim da exclusiva combinação dos mesmos" . Ele concebeu a lógica como uma construção formal à qual se busca posteriormente um interpretação.

Boole criou o primeiro sistema bem sucedido para o raciocínio lógico, tendo sido pioneiro ao enfatizar a possibilidade de se aplicar o cálculo formal em diferentes situações e fazer cálculos de acordo com regras formais, desconsiderando as interpretações dos símbolos usados. Através de símbolos e operações específicas, as proposições lógicas poderiam ser reduzidas a equações e as equações silogísticas poderiam ser computadas, de acordo com as regras da álgebra ordinária. Pela aplicação de operações matemáticas puras e contando com o conhecimento da álgebra booleana é possível tirar qualquer conclusão que esteja contida logicamente em qualquer conjunto de premissas específicas.

No começo do século XX a Lógica Simbólica se organizará com mais autonomia em relação à matemática e se elaborará em sistemas axiomáticos desenvolvidos, que se

colocam em alguns casos como fundamento da própria matemática e que prepararão o surgimento do computador.

Foi Platão quem fez a base para o que viria a se tornar a Lógica de Fuzzy, indicando que havia uma terceira região (além de Verdadeiro ou Falso). Outros filósofos mais modernos também demonstraram este sentimento, como Hegel, Marx e Engels. Mas foi Lukasiewicz quem propôs pela primeira vez uma alternativa sistemática para a lógica de dois valores de Aristóteles.

No início do século XX, Lukasiewicz descreveu uma lógica de três valores. O terceiro valor que ele propôs pode ser mais bem expresso como o termo "possível", e lhe foi dado um valor numérico entre Verdadeiro e Falso. Assim ele propôs uma notação e sistema axiomático inteiro do qual ela esperava derivar matemática moderna.

Posteriormente, ele explorou lógicas de quatro valores, cinco valores, e então declarou que a princípio não havia nada que impedisse a derivação de uma lógica de infinitos valores. Lukasiewicz sentiu que lógicas de três valores e de infinitos valores eram as mais intrigantes, mas ele se concentrou na lógica de quatro valores porque parecia ser mais facilmente adaptável à lógica de Aristóteles.

Knuth propôs uma lógica de três valores semelhante à de Lukasiewicz, da qual ele especulou que a matemática se tornaria até mais elegante do que na lógica de dois valores. Sua visão, aparentemente perdida por Lukasiewicz, foi usar a integral definida $[-1,0,+1]$ ao invés de $[0,1,2]$. Entretanto, esta alternativa falhou em ganhar aceitação, e passou a relativa obscuridade.

A noção de uma lógica de infinitos valores não veio à tona até relativamente recentemente.

Em 1965 Lotfi A. Zadeh publicou seu trabalho "Conjuntos de Fuzzy", que descreveu a teoria da matemática de conjuntos de fuzzy, e por extensão a lógica de Fuzzy. Esta teoria propôs fazer uma função (ou os valores Verdadeiro e Falso) operarem sobre o intervalo dos números reais $[0,0,1,0]$. Novas operações para o cálculo da lógica foram propostas, e mostraram ser a principio pelo menos uma generalização da lógica clássica.

A lógica Fuzzy pode ser vista como uma generalização da lógica booleana convencional. A grande diferença entre as duas está no fato de a lógica Fuzzy permitir um certo grau de incerteza, isto é, ela aceita a noção de parcialmente verdade ou parcialmente falso. O Dr. Lotfi Zadeh dá ênfase que a teoria Fuzzy não deve ser vista como uma teoria individual, mas como uma metodologia para generalizar qualquer outra teoria que esteja na forma discreta para uma forma contínua, usando um processo conhecido como fuzzyficação. Só a título de ilustração, pesquisadores introduziram recentemente teorias como o "*cálculo Fuzzy*" e "*equações diferenciais Fuzzy*".

A lógica tradicional trabalha com os dois extremos 1 e 0, ou o elemento está no conjunto ou não está. A teoria Fuzzy permite que os elementos assumam qualquer valor dentro do intervalo $[0,1]$, valor este conhecido como grau de pertinência. Esta definição faz os conjuntos Fuzzy contínuos enquanto os conjuntos da álgebra tradicional são abruptos.

Na álgebra tradicional um subconjunto U de um conjunto S pode ser definido ao mapearmos os elementos de S nos elementos de $(0,1)$. Esta relação pode ser escrita como $u:s \rightarrow (0,1)$ Pode ser ainda representado como um conjunto de pares ordenados, no qual o primeiro elemento é um elemento de S e o segundo é um elemento do conjunto $(0,1)$.

Então o valor lógico da sentença: $x \in u$, pode ser determinado ao encontrarmos o par ordenado do qual x é o primeiro termo. O valor da sentença é definido pelo segundo elemento do par 0 ou 1. A diferença de um elemento estar ou não em um conjunto é abrupta, isto é dois elementos muito próximos podem assumir valores completamente opostos.

Na lógica Fuzzy os elementos de S são mapeados dentro do intervalo $[0,1]$. $f: s \rightarrow [0, 1]$. Da mesma forma definem-se os pares ordenados para cada elemento de S e os extremos 0 e 1, descrevem respectivamente a total exclusão e a total inclusão do elemento no conjunto Fuzzy F . Os valores intermediários do intervalo são o grau de pertinência dos elementos ao conjunto F . O mapeamento destes valores é freqüentemente descrito com uma função a função de associação de F . Esta função pode ser escrita como $f_f: s \rightarrow [0, 1]$. Por tanto o conjunto de pares ordenados é definido como $F = \{(x, f_f(x)) \mid x \in s\}$.

Se considerarmos os conjuntos como a união de seus elementos, temos para os conjuntos discretos da lógica tradicional:

$$u = f_u(x_1) / x_1 + \dots +$$

Enquanto para os conjuntos contínuos da teoria Fuzzy:

$$u = \int f_f(x) / x$$

A possibilidade de valores intermediários, isto é um certo grau de incerteza, torna a teoria Fuzzy mais apropriada para aplicações reais complexas.

A lógica Fuzzy usa variáveis lingüísticas ao invés de variáveis numéricas e admite apenas expressões lingüísticas com "alto", "muito alto", "pouco gordo", "mais ou menos gordo".

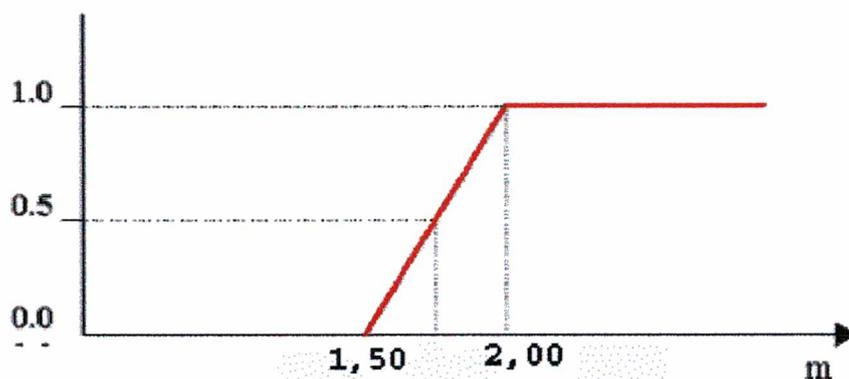
Exemplo:

Temos o conjunto de todas as pessoas que definimos como o conjunto universo. Definimos um subconjunto das pessoas altas ALTO, que é uma variável lingüística que descreve a altura da pessoa. Precisamos associar um grau de pertinência para cada pessoa do conjunto S. Fazemos isto através da função de associação baseada na altura da pessoa:

$$\text{ALTO}(x) = \{0 \quad , \text{se } \text{Altura}(x) < 1,5\text{m}\}$$

$$\text{Altura}(x) - 1,5\text{m} / 0,5\text{m} \quad , \text{se } 1,5\text{m} < \text{Altura}(x) < 2,0 \text{ m}$$

$$\text{ALTO}(x) = \{1 \quad , \text{se } \text{Altura}(x) > 2,0\text{m}\}$$



Por tanto:

Pessoa	Altura	Grau de altura
Mônica	1,40m	0,0
Eduardo	1,70m	0,4
Carlos	1,90	0,8
João	2,10	1,0

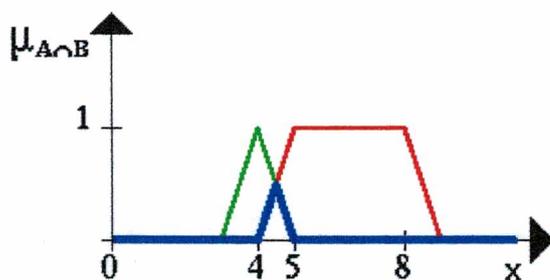
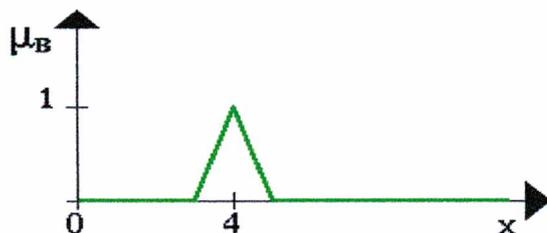
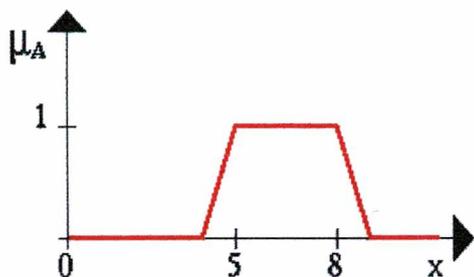
As funções de associação quase nunca têm a mesma forma que a descrita acima, geralmente tendem a ser triângulos apontados para cima, ou muito mais complexos que isto. Estas funções não precisam ser baseadas em um critério único, apesar de muito comum. Um exemplo seria expandir a situação acima levando em conta a idade e estabelecendo a válida relação "alto para a idade". Mesmo assim, os critérios não precisam ter nenhuma relação direta.

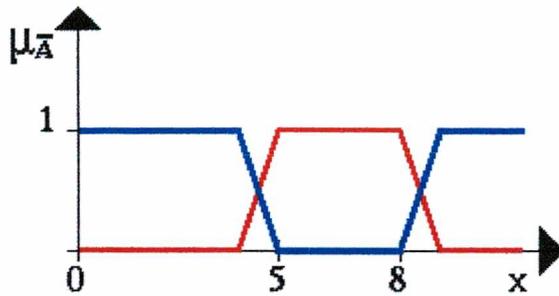
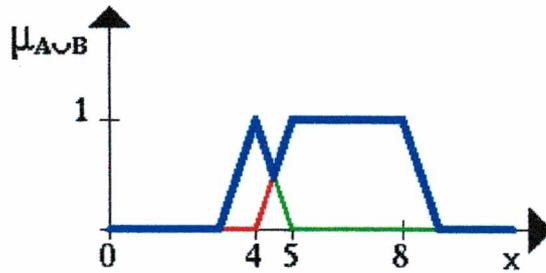
A teoria Fuzzy também descreve operações básicas equivalentes às da lógica tradicional como conjunto vazio, igualdade, complemento, interseção, união e continência:

- S é um conjunto de elementos x então, $s = \{x\}$.
- Um subconjunto Fuzzy F de S é caracterizado por uma função de associação $f_f(x)$ que leva cada elemento de S para um valor no intervalo real $[0,1]$. O grau de pertinência de x aumenta à medida que $f_f(x)$ se aproxima de 1.
- F é um conjunto vazio se para todo x , $f_f(x)=0$.
- $F = G$ se para todo x : $f_f(x) = f_g(x)$, ou $f_f = f_g$.
- $(f_f)' = 1 - f_f$.
- F está contido em G se $f_f \leq f_g$.

- $H = F \cup G$, então: $f_h(x) = \text{MÁX} (f_f(x), f_g(x))$.
- $H = F \cap G$, então: $f_h(x) = \text{MÍN} (f_f(x), f_g(x))$.

Alguns pesquisadores vêm experimentando outras formas de união e interseção, mas não falaremos destas. As operações descritas de interseção, união e complemento em conjuntos Fuzzy são ilustradas a seguir.





Se restringirmos o grau de pertinência aos valores 1 e 0, com as operações descritas acima chegamos às mesmas tabelas verdade da lógica de Boole. A isto se dá o nome *Princípio de Extensão*. Isto define os subconjuntos e a lógica Fuzzy como verdadeiras generalizações da teoria dos conjuntos e lógica clássica. Generalizando mais, todos os subconjuntos discretos são subconjuntos Fuzzy neste caso especial. Então não há conflitos entre os métodos Fuzzy e tradicional.