

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SISTEMA ESPECIALISTA DIFUSO PARA ANÁLISE DE CRÉDITO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA



0.211.776-3

ROSINA DE OLIVEIRA WEBER

UFSC-BU

FLORIANÓPOLIS, AGOSTO DE 1993

**SISTEMA ESPECIALISTA DIFUSO PARA ANÁLISE DE
CRÉDITO**

ROSINA DE OLIVEIRA WEBER

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA
ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA
EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RICARDO MIRANDA BARCIA, PH.D. - ORIENTADOR
NERI DOS SANTOS, DR.ING. - COORDENADOR DO CURSO

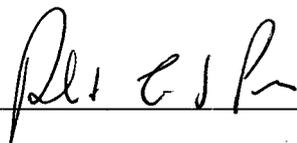
BANCA EXAMINADORA:



RICARDO MIRANDA BARCIA, PH.D. - ORIENTADOR



FERNANDO A. O. GAUTHIER, M.ENG. - CO-ORIENTADOR



ROBERTO C.S. PACHECO, M.ENG. - CO-ORIENTADOR



EDGAR AUGUSTO LANZER, PH.D.



NERI DOS SANTOS, DR.ING.

Dedico este trabalho a minha mãe e ao Sok.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Ricardo Miranda Barcia pelo crédito depositado a minha pessoa e pela eficiente orientação.

Aos co-orientadores e colegas Roberto Pacheco e Fernando Gauthier cuja atenção e dedicação foram decisórias na elaboração da presente dissertação.

Ao Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, na pessoa de seu Coordenador, Prof. Neri dos Santos, pela atenção sempre dedicada.

Ao Besc na pessoa do Sr. João Carlos Della Roca e sua equipe do Departamento de Crédito que proporcionaram a realização do presente trabalho, colocando à disposição seu material, tempo e conhecimento.

Aos colegas, amigos e professores que muito ajudaram com conhecimento, incentivo e amizade no decorrer do programa de mestrado.

Ao CNPq pelo auxílio financeiro.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	viii
SIMBOLOGIA.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 DEFINIÇÃO DO TRABALHO.....	2
1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO.....	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 INTRODUÇÃO.....	4
2.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS.....	4
2.2.1 Introdução.....	4
2.2.2 Aquisição de Conhecimento.....	7
2.2.3 Representação do Conhecimento.....	10
2.2.4 Motor de Inferência.....	12
2.2.5 Mecanismo de Justificativa.....	13
2.2.6 Interface com Usuário.....	13
2.2.7 Aprendizagem.....	13
2.3 CONJUNTOS DIFUSOS.....	15
2.3.1 Conceitos Básicos.....	15
2.3.1.1 Conjunto Difuso.....	15
2.3.1.2 Notação para Conjuntos Difusos.....	16
2.3.1.3 Suporte.....	16
2.3.1.4 Altura.....	16
2.3.1.5 Conjunto Difuso Normal.....	16
2.3.1.6 Conjunto Difuso Subnormal.....	16
2.3.1.7 "Crossover".....	17
2.3.1.8 Número Difuso.....	17
2.3.2 Operações e Composições.....	17
2.3.2.1 União.....	17
2.3.2.2 Interseção.....	17
2.3.2.3 Soma Limitada.....	17

	Página
2.3.2.4 Diferença Limitada.....	17
2.3.3 Criação dos Conjuntos Difusos.....	17
2.3.4 Cardinalidade.....	18
2.3.5 Variáveis Lingüísticas e Variáveis Difusas.....	18
2.3.6 Algoritmo Difuso.....	19
2.3.7 Média de um Conjunto Difuso.....	20
2.4 CONCLUSÃO.....	20
CAPÍTULO 3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA.....	21
3.1 INTRODUÇÃO.....	21
3.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA	21
3.3 ANÁLISE DE CRÉDITO.....	22
3.4 ABORDAGEM DOS SEs.....	25
3.4.1 Aquisição de Conhecimento do SENACRE.....	25
3.4.2 Representação de Conhecimento do SENACRE..	26
3.4.3 Motor de Inferência do SENACRE.....	27
3.4.4 Mecanismo de Justificativa do SENACRE.....	29
3.4.5 Interface do SENACRE.....	30
3.4.6 Aprendizagem do SENACRE.....	32
3.4.7 O Raciocínio do SENACRE.....	32
3.4.7.1 Classe Pareceres.....	33
3.4.7.2 Classe Situação e Balancetes.....	34
3.4.7.3 Classe Faturamentos.....	35
3.4.7.4 Parecer Final.....	35
3.5 MODELAGEM DIFUSA.....	36
3.5.1 Introdução.....	36
3.5.2 Imprecisão na Classe Situação.....	39
3.5.3 A Criação dos Conjuntos Difusos.....	41
3.5.4 A Composição dos Conjuntos Difusos.....	44
3.5.5 Outras Composições.....	48
3.5.6 A Liberação Através de Conjuntos Difusos.....	49
3.6 CONCLUSÕES DA IMPLEMENTAÇÃO.....	50
CAPÍTULO 4 APLICAÇÃO.....	52
4.1 INTRODUÇÃO.....	52
4.2 ENTRADA DE DADOS.....	53
4.3 INFERÊNCIAS.....	56
4.3.1 Encadeamento Para Frente.....	56

	Página
4.3.2 Encadeamento para Trás.....	57
4.4 RESULTADOS.....	58
4.4.1 Exemplo.....	58
4.4.2 Outros Exemplos.....	60
4.5 CONCLUSÃO.....	61
CAPÍTULO 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	62
5.1 CONCLUSÕES.....	62
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
BIBLIOGRAFIA.....	66

LISTAS

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1	Sistemas especialistas e sistemas baseados em conhecimento.. 5
Figura 3.1	Esquema básico do encadeamento para frente..... 28
Figura 3.2	Esquema do encadeamento para trás..... 29
Figura 3.3	Janela de introdução do SENACRE..... 31
Figura 3.4	O Raciocínio do SENACRE..... 33
Figura 3.5	Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Bom</i> 43
Figura 3.6	Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Satisfatório</i> 43
Figura 3.7	Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Regular</i> 43
Figura 3.8	Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Insuficiente</i> 44
Figura 3.9	Representação gráfica do conjunto difuso associado ao objeto parecer final de rótulo <i>Bom</i> 49
Figura 4.1	Janela principal do SENACRE..... 52
Figura 4.2	Janela de entrada de dados..... 53
Figura 4.3	Janela do passivo circulante..... 54
Figura 4.4	Janela do patrimônio líquido..... 54
Figura 4.5	Janela dos indicadores de estrutura..... 54
Figura 4.6	Janela dos indicadores de liquidez..... 55
Figura 4.7	Janela dos indicadores de rentabilidade..... 55
Figura 4.8	Demonstração do resultado do exercício..... 58
Figura 4.9	Janela análise..... 59
Figura 4.10	Janela de resultado..... 59
Figura 4.11	Janela de justificativa..... 60
Figura 4.12	Valores atribuídos pelo especialista e pelo sistema..... 61

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 2.1 Características dos especialistas humanos e artificiais.....	7
Quadro 2.2 Métodos de extração de conhecimento.....	9
Quadro 3.1 Fórmulas dos indicadores.....	37
Quadro 3.2 Intervalos dos conceitos dos indicadores.....	38
Quadro 3.3 Funções de pertinência para grau de imobilização.....	40
Quadro 3.4 Fórmulas que representam as funções de pertinência para os conjuntos difusos associados aos demais indicadores.....	44
Quadro 3.5 Operações de soma limitada e diferença limitada.....	48
Quadro 4.1 Atributos da classe situação.....	56
Quadro 4.2 Resumos da classes.....	57
Quadro 4.3 Objetos conclusivos.....	57
Quadro 4.4 Outros exemplos.....	60
Quadro 4.5 Valores dos exemplos em dólares.....	61

SIMBOLOGIA

sse	: se e somente se
e.g.	: "exempli gratia" (por exemplo)
i.e.	: "id est" (isto é)
μ	: grau de pertinência

RESUMO

Os sistemas especialistas são sistemas que se propõem a resolver problemas conforme especialistas humanos através da incorporação de uma base de conhecimento.

Os sistemas especialistas podem ser aplicados em diferentes áreas de conhecimento, tais como geologia, medicina e nos processos decisórios. Entre suas vantagens, citamos a possibilidade de sua utilização poder suprir a falta de especialistas humanos, bem como a de poder reunir conhecimento e experiência de vários especialistas simultaneamente e ainda a vantagem de reduzir a demanda destes profissionais, que podem, por exemplo, ser aproveitados em tarefas mais complexas.

Os especialistas humanos são plenamente capazes de lidar com a imprecisão presente nos problemas reais. Um sistema especialista difuso é aquele que incorpora tratamento de imprecisão utilizando a Teoria dos Conjuntos Difusos tornando-se capaz de fazer inferências a partir de informações imprecisas.

A tarefa de análise de crédito consiste em analisar uma empresa solicitante a fim de concluir se este cliente é ou não merecedor de crédito e, em caso positivo, qual o montante a ser autorizado. A análise parte de um conjunto de dados que, avaliados cuidadosamente no processo de raciocínio, geram uma conclusão que está em conformidade com os critérios da instituição financeira para quem o crédito foi solicitado.

Propõe-se um sistema especialista difuso para análise de crédito capaz de desempenhar a tarefa de análise de crédito agregando a imprecisão contida no processo de raciocínio dos especialistas humanos.

A presente dissertação apresenta o SENACRE- Sistema Especialista Difuso para Análise de Crédito - que foi desenvolvido com sucesso a nível de protótipo.

A utilização de sistemas especialistas como ferramenta de apoio à tomada de decisão tem na análise de crédito uma aplicação muito eficiente e adequada.

ABSTRACT

Expert systems aim to emulate human expert reasoning by using a knowledge base where information is stored in. The applications of expert systems vary from subjects like geology due to the impossibility of direct access to the expert ; medicine in order to join expertise of many physicians at the same time ; and decision-making sciences because besides joining expertise of many professionals , expert systems can reduce the demand for these professionals allowing them to work on more complex activities.

Applications for the real world contain a lot of imprecision and human experts are able to solve problems in the presence of such imprecision. A fuzzy expert system is one that deals with imprecise knowledge. The fuzzy expert system uses Fuzzy Set Theory in order to make it possible to infer from imprecise statements and draw imprecise conclusions.

The problem of credit analysis consists of an analysis of a client that requires a loan to a financial institution. The expert must check if this client deserves or not this loan according to the financial institution policies. The elements considered in the analysis are balance sheets, record of the client, amount of sales, some confidential information about client's staff, etc.

The proposed fuzzy expert system for credit analysis can solve the problem of credit analysis emulating human experts reasoning with imprecision.

The present dissertation describes SENACRE, which is a fuzzy expert system for credit analysis. A prototype of SENACRE system has been implemented successfully.

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Esta dissertação é mais um resultado das pesquisas em Inteligência Artificial do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, realizadas nos últimos anos.

Inteligência Artificial (IA) é a parte da Ciência da Computação que se destina a desenvolver programas inteligentes para computadores. Um programa inteligente é aquele capaz de resolver um problema de uma maneira tal que seja considerada inteligente quando executada por um ser humano.

Para tornar possível a tarefa de resolver problemas de maneira inteligente, os cientistas da Inteligência Artificial chegaram a programas que contêm muito conhecimento sobre alguma área bem específica. Estes são os Sistemas Especialistas (SE).

O processo de desenvolvimento de um SE é chamado de Engenharia do Conhecimento. Este processo consiste na seguinte tarefa: o engenheiro do conhecimento deve extrair de um ou mais especialistas a metodologia de solução de determinado problema e transferir este conhecimento para o sistema. O resultado é um programa de computador capaz de resolver problemas como especialistas humanos.

Os SEs são utilizados quando o problema a ser resolvido não se molda a um algoritmo padrão. Assim, é necessário aplicar conhecimento ao invés de um algoritmo, desta forma, os SEs são sistemas baseados em conhecimento.

Análise de Crédito é uma das atribuições da Administração Financeira. Desde uma pequena loja de bairro até uma grande instituição financeira analisa crédito de pessoas físicas. Assim como varia o sujeito, variam também os métodos utilizados, que vão de simples confiança, verificação de comportamento em outros estabelecimentos, SPC (Serviço de Proteção ao Crédito) a "crediscore"- um método que atribui uma pontuação aos clientes conforme determinados fatores.

A análise de crédito pode ser feita para pessoa física ou pessoa jurídica. A análise de crédito de pessoas jurídicas é feita principalmente por instituições financeiras. Empresas que têm como clientes outras empresas concedem crédito para pagamento de seus produtos e seguem normas usuais do mercado. Somente as instituições financeiras têm como atividade principal conceder financiamento a outras empresas e assim a análise de crédito para pessoa jurídica constitui-se em instrumento fundamental para sobrevivência deste tipo de negócio.

O sistema proposto utiliza a Teoria dos Conjuntos Difusos (TCD) como ferramenta para tratamento da imprecisão. Imprecisão caracteriza-se por qualquer falta de precisão ,i.e., falta de exatidão, [FER75]. No contexto da presente dissertação, trata-se a imprecisão como uma característica inerente aos seres humanos que se distancia da exatidão da modelagem matemática. Os processos de raciocínio nos SEs normalmente contém imprecisão. A abordagem difusa para a representação de conhecimento proposta no presente trabalho origina-se do fato de que os especialistas humanos raciocinam combinando aproximações e conceitos. Os elementos envolvidos no raciocínio humano podem ser encarados como rótulos de conjuntos difusos.

Os conjuntos difusos são classes de objetos que apresentam uma transição gradual entre pertencer ou não a um conjunto. Suponha o conjunto clássico das "cidades planejadas", Brasília é membro deste conjunto e Rio de Janeiro não. Agora, imagine o conjunto das "cidades grandes". São Paulo é certamente membro deste conjunto. Mas o que poderíamos afirmar sobre Florianópolis? Ela é uma "cidade grande" a um certo nível, e então pode ser um membro parcial deste conjunto. Ao quantificar este nível, os conjuntos difusos proporcionam uma maneira para que os computadores entendam conceitos vagos como "grande".

1.2 DEFINIÇÃO DO TRABALHO

A presente dissertação propõe-se a apresentar um sistema especialista e sua fundamentação teórica. Trata-se de um sistema especialista difuso para análise de crédito. Portanto, o sistema deve: ser um sistema especialista com relação à forma e conteúdo ; ser um sistema especialista difuso, ou seja, ter incorporado as técnicas da TCD e, por fim, ser capaz de executar a tarefa da análise de crédito, como se propõe.

Estas características do sistema constituem-se em objetivos específicos cujos cumprimentos são observados ao longo da leitura do presente trabalho.

1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

A análise de crédito para uma instituição financeira representa a própria sobrevivência do negócio. Uma análise de crédito fraca, inconsistente e suscetível a erros graves pode comprometer grande parte do ativo da instituição.

O SE que apresentamos utiliza conhecimento para análise de crédito de pessoa jurídica, e foi desenvolvido a partir de entrevistas feitas aos especialistas do

BESC - Banco Estadual de Santa Catarina. O volume médio atual da carteira de financiamentos do BESC é de duzentos milhões de dólares (US\$ 200,000,000.00).

O SE agrega o conhecimento de diversos analistas que, em sua implementação, resume todos os procedimentos executados por eles. Além disto, ao ser entrevistado, o analista já é induzido a fazer uma revisão em seus procedimentos. O engenheiro do conhecimento também revisa o trabalho destes analistas, principalmente no que concerne à homogeneidade de sua forma de trabalho. Ao ser implementado um SE para análise de crédito, mesmo com a manutenção de especialistas humanos, ficará garantida a homogeneidade das análises, assim possíveis problemas são facilmente detectados, tornando a tarefa uma atividade mais garantida.

A implementação de um SE para análise de crédito pode ainda reduzir o número de especialistas humanos trabalhando especificamente nesta atividade. Toda a demanda pode ser atendida por apenas um analista e o sistema. Esta redução deve-se ao fato do sistema ser plenamente consistente e extremamente rápido, ou seja, praticamente instantâneo a partir da entrada de dados.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos: Introdução, Fundamentação Teórica, Implementação do Trabalho, Aplicação, Conclusões e Recomendações.

A introdução, apresentada no capítulo 1 consiste nas seções Generalidades, Definição do Trabalho, Importância do Trabalho e Organização do Trabalho.

O segundo capítulo consiste em uma revisão da bibliografia sobre as ferramentas conhecidas por Sistemas Especialistas, SEs, e Teoria dos Conjuntos Difusos, TCD.

O terceiro capítulo descreve a implementação do sistema, segundo a teoria para SE e TCD, como visto no segundo capítulo.

O quarto capítulo apresenta um exemplo de aplicação do sistema proposto.

O quinto capítulo conclui o presente trabalho destacando contribuições e limitações, apresentando recomendações para ampliação e continuidade do mesmo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo fornece a fundamentação teórica das duas ferramentas técnicas utilizadas: Sistemas Especialistas e Teoria dos Conjuntos Difusos. A teoria apresentada proporciona o embasamento necessário para a implementação do sistema objeto desta dissertação. Não se pretende apresentar o estado da arte destas técnicas, apenas os conceitos fundamentais para o bom entendimento da utilização destas ferramentas.

2.2 SISTEMAS ESPECIALISTAS

2.2.1 Introdução

Os SEs são o ramo de maior crescimento dentro da IA. O objetivo de um SE é captar o conhecimento de um especialista em um determinado campo, representar este conhecimento numa base, e transmiti-lo ao usuário permitindo-lhe obter respostas a perguntas relacionadas à base de conhecimento do sistema, [RAL86].

As áreas indicadas para sua aplicação são aquelas que se utilizam de especialistas humanos para resolver problemas em função de que eles agregam conhecimento técnico, experiência e a capacidade de se adaptar às mudanças.

Os Sistemas Especialistas são sistemas baseados em conhecimento que se utilizam deste conhecimento para resolver problemas em determinado domínio, conforme fazem os especialistas humanos. Os sistemas baseados em conhecimento são estruturados através de uma base de conhecimento e de um motor de inferência. A relação entre sistemas baseados em conhecimento e sistemas especialistas é demonstrada através da figura 1.1 extraída de Waterman, [WAT86].

Oportunamente, transcrevemos a definição de conhecimento de Hayes [HAY83], referenciada em [MOR92]:

"...abstratamente, conhecimento consiste de:

- descrições simbólicas que caracterizam a definição e as relações empíricas em um domínio, e
- procedimentos para manipular essas descrições..."

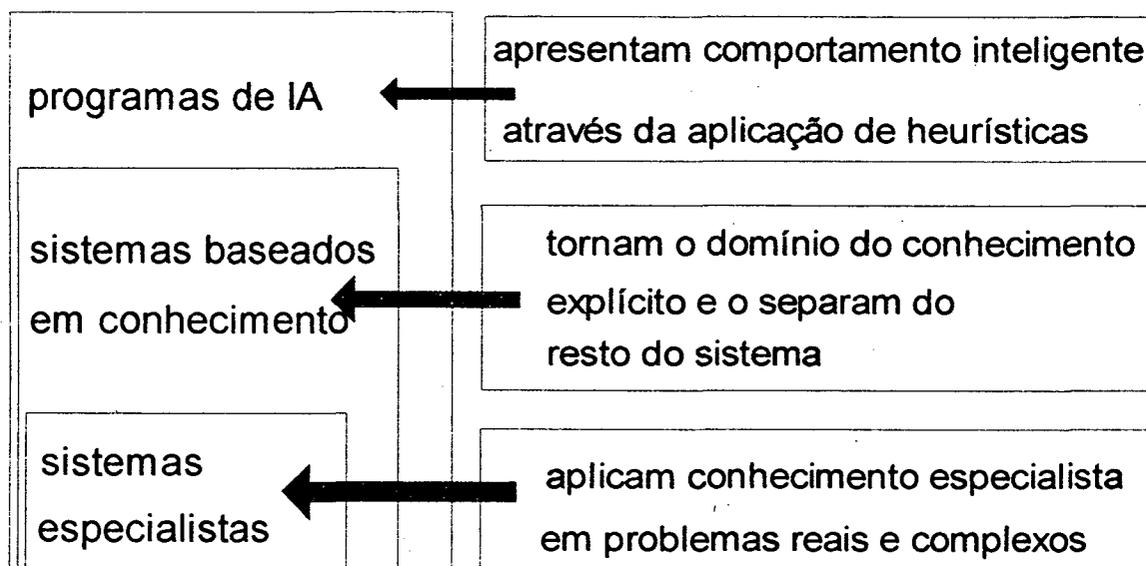


Figura 2.1 - Sistemas especialistas e sistemas baseados em conhecimento
 Fonte: [WAT86]

Hall e Kandel [HAL86], classificam os SEs por sua utilização. Um SE pode pertencer à classe um, dois ou três.

Os SEs de classe um são viáveis e aceitos comercialmente. Os de classe dois são aqueles que apesar de excelente performance ainda não obtiveram plena aceitação dos usuários. Já os SEs de classe três ainda não conseguiram atingir o desempenho do especialista. Uma relação apontada para a classificação dos SEs prevê uma proporcionalidade inversa entre quantidade e imprecisão de conhecimento com o nível da classe.

Quanto à implementação dos SEs existem ferramentas que podem ser utilizadas no sentido de facilitar esta tarefa, [WAT86]. Waterman divide as ferramentas em quatro categorias: linguagens de programação, linguagens de engenharia do conhecimento, aplicativos para desenvolvimento de sistemas e ferramentas de apoio.

As linguagens de programação são tanto as linguagens orientadas para problemas, i.e. Pascal, C, Fortran, como as linguagens de manipulação de símbolos, i.e. Lisp e Prolog.

As linguagens de engenharia do conhecimento são ferramentas sofisticadas para desenvolver SEs e consistem em uma linguagem de desenvolvimento de sistemas integrada a um ambiente de apoio.

Os aplicativos para desenvolvimento de sistemas são programas que ajudam a adquirir e representar conhecimento além de auxiliarem no projeto do sistema em construção.

As ferramentas de apoio auxiliam a tarefa de programação de um sistema especialista através de mecanismos de explicação e depuração, entre outros. Tais mecanismos normalmente acompanham as linguagens de engenharia do conhecimento e são projetadas para trabalhar especificamente com estas.

Outro importante enfoque dado à importância dos SEs, refere-se ao questionamento feito por Waterman [WAT86], sintetizado na pergunta: "Sistemas especialistas são a solução de meu problema?"

A resposta baseia-se na verificação de três aspectos.

O primeiro trata da possibilidade do desenvolvimento do SE. Um SE tem seu desenvolvimento condicionado a fatores tais como: a existência de especialistas, os especialistas estarem de acordo entre si, a tarefa não transcende a complexidade cabível a um SE, a tarefa já é dominada por especialistas não necessitando novas pesquisas para solucioná-la e a tarefa exige somente habilidade mental e não física.

O segundo aspecto justifica o SE. As características de um problema que justificam o desenvolvimento de um SE referem-se, entre outras, a uma boa relação custo-benefício, à possibilidade de perda do conhecimento especializado e à pulverização geográfica dos especialistas.

O terceiro aspecto refere-se a adequação da tarefa, no sentido de examinar a natureza, a complexidade e o escopo do problema a ser resolvido.

No momento que fica definida a utilização de um SE para determinado problema, Waterman ainda discute sobre a manutenção de um especialista humano como parte do processo que envolve a utilização do sistema. O objetivo é reunir as vantagens de um SE sem perder as características exclusivas do especialista humano. Vantagens e desvantagens de ambos estão apresentadas no quadro 2.1 que resume dois quadros apresentados na obra do mencionado autor, [WAT86].

Quanto ao tipo de problemas, são identificadas dez categorias onde os SEs podem ser agrupados, [WAT86], que serão listadas a seguir:

1. Interpretação - infere descrições de situações a partir de um sensor de informações.
2. Projeção - infere conseqüências a partir de situações dadas.
3. Diagnose - infere disfunções a partir de informações.
4. Estrutura - configura objetos sob restrições.
5. Planejamento - estrutura ações.
6. Monitoramento - compara eventos realizados com esperados.
7. Depuração - prescreve soluções para disfunções.

8. Conserto - execução de planos para administrar soluções prescritas.
9. Instrução - implementa no comportamento de estudantes as categorias de diagnose, depuração e conserto.
10. Controle - controla o comportamento do sistema.

Na pesquisa sobre a teoria dos SEs, encontram-se diferentes formas de abordar o problema. Waterman descreve os SEs através de suas características, de quem está envolvido em seu desenvolvimento, e da organização e representação do conhecimento, [WAT86]. Hall e Kandel afirmam que um SE tem, pelo menos, três partes: um motor de inferência, uma base de conhecimento e uma memória, [HAL86]. O paradigma apresentado por Interrante e Biegel é mais objetivo e completo sendo escolhido para apresentar a implementação do sistema, por esta razão, optou-se por detalhar a teoria dos SEs segundo estes autores.

Quadro 2.1

Características dos especialistas humanos e artificiais

Especialista Humano	Especialista Artificial
perecível	permanente
difícil de transferir	fácil de ser transferido
difícil de documentar	fácil de documentar
imprevisível	consistente
caro	viável economicamente
criativo	sem inspiração
adaptável	deve ser atualizado
sensorial	alimentado com dados simbólicos
visão ampla	visão estreita
bom senso	conhecimento técnico

Segundo Interrante e Biegel [INT90] a elaboração de um sistema baseado em conhecimento envolve o estudo de seis tópicos, a saber: aquisição de conhecimento, representação do conhecimento, motor de inferência, interface com usuário, aprendizagem e justificativa. Nem todos os sistemas baseados em conhecimento incluem todos estes itens, entretanto estes elementos constituem um sistema ideal para desempenhar tarefas de raciocínio complexo. Estes itens não seguem necessariamente uma ordem já que seus frutos são interdependentes entre si.

2.2.2 Aquisição de Conhecimento

Antes de iniciar esta exposição, é importante ressaltar uma questão. A aquisição do conhecimento é apresentada no contexto do paradigma para SEs em conformidade com Interrante e Biegel, [INT90]. É acrescentada a esta teoria,

esclarecimentos, aprofundamentos, características e sugestões de outros autores. Alguns autores, tais como Cordingley, [COR89] abordam o tema "Aquisição de Conhecimento" como um processo que se divide em três etapas, a saber: decisão de quê conhecimento é necessário; aquisição do conhecimento, nos termos de extração do conhecimento do especialista e, a terceira, representação do conhecimento extraído. Ver [COR89] e [SHA89]. A presente dissertação se desenvolve sem considerar esta última abordagem mencionada.

A tarefa de aquisição de conhecimento refere-se à transferência de conhecimento de alguma fonte, freqüentemente humana, para um programa de computador. No contexto dos SEs, aquisição de conhecimento é o processo de captar procedimentos, regras, métodos, enfim, o raciocínio do especialista no que tange a como ele resolve o problema para posteriormente transferi-lo para o sistema.

Quando da aquisição de conhecimento inicialmente é fundamental que se compreenda o processo de raciocínio do especialista como um todo, para somente depois projetar a base de conhecimento e aprofundar o nível de abstração. Uma das tarefas mais difíceis do engenheiro do conhecimento é exatamente captar do especialista humano a estrutura do domínio do conhecimento. O engenheiro do conhecimento deve ter uma visão clara do universo de conhecimento que ele irá extrair do especialista.

Assim que os especialistas forem escolhidos em função de garantirem competência técnica e profissionalismo para não colocar o trabalho em risco, o engenheiro do conhecimento deve reunir-se com estes profissionais. Nesta oportunidade, devem ficar claros aspectos como o que é um SE, o que é pretendido com a realização do mesmo, quanto de tempo será requerido dos especialistas, que o SE tem caráter confidencial, que os especialistas tem escolha de cooperar ou não, entre outros. Apresentar protótipos pode ser positivo para auxiliar no esclarecimento sobre o assunto.

As seguintes recomendações são bastante adequadas para sessões com especialistas humanos, segundo Diaper, [DIA89] :

1. somente uma sessão por especialista por semana;
2. cada entrevista com duração máxima de quarenta minutos;
3. as sessões podem ser 2/3 de trabalho de extração e 1/3 de assuntos diversos;
4. processar os resultados das entrevistas antes de iniciar nova sessão;
5. o engenheiro do conhecimento deve restringir sua permanência com os especialistas em três horas;
6. acautelar-se de inadvertidamente citar pontos de vista de outros especialistas ;

7. sempre usar as mesmas técnicas na mesma ordem para todos os especialistas;
8. garantir conveniência e consistência do ambiente.

Hoffman, em [HOF87], cita diversas referências para exemplificar e sustentar sua afirmação de que o processo de aquisição do conhecimento caracteriza o grande gargalo no desenvolvimento de sistemas especialistas. No mesmo trabalho, o mencionado autor define categorias para os métodos de extração de conhecimento, conforme quadro 2.1.

Em complementação à explanação contida no quadro acima, cabe ainda salientar que a diferença básica entre as entrevistas estruturadas e as não estruturadas reside no fato que o primeiro tipo é executado após o engenheiro do conhecimento fazer uma primeira análise sobre o domínio através de manuais ou até mesmo de uma entrevista não estruturada. Somente após esta etapa, o engenheiro revisa com o especialista cada passo do processo sempre comentando-os. Desta forma, a entrevista estruturada acaba por forçar o especialista a fazer uma revisão sobre seu conhecimento e procedimentos.

Quadro 2.2
Métodos de Extração de Conhecimento
Fonte: [HOF87]

Categoria	Método de Tarefas "Familiars"	Entrevistas Estruturadas e Não-Estruturadas	Tarefas de Informação Limitada	Tarefas de Processamento Restrito	Método de "Casos Difíceis"
Descrição do Método	Análise das tarefas normalmente executadas pelo especialista.	O especialista é interrogado sobre o conhecimento sobre fatos e procedimentos.	O especialista executa uma tarefa sem parte da informação que lhe está disponível normalmente.	O especialista executa uma tarefa com tempo limitado ou alguma outra restrição.	Análise de uma tarefa usual mas que represente um daqueles "casos difíceis" para o especialista.
Vantagem	O especialista sente-se confortável.	Pode proporcionar muita informação para um banco de dados.	Pode extrair conhecimento sobre subdomínios selecionados.	Pode ser direcionado para subdomínios selecionados ou para a estratégia do especialista.	Resulta em informação sobre o raciocínio mais apurado.
Desvantagem	Pode consumir tempo em demasia.	Consome muito tempo.	Especialist a sente-se desconfortável e hesitante.	Especialist a sente-se desconfortável e hesitante.	Sua ocorrência é imprevisível.

Hoffman também salienta que as entrevistas não estruturadas não são as mais adequadas numa primeira fase onde as perguntas dizem respeito a quem são os especialistas, ou se o problema é ou não adequado para a abordagem dos SEs, ou quais as necessidades dos usuários. As entrevistas não estruturadas são mais

adequadas para uma segunda fase quando o engenheiro do conhecimento já está familiarizado com o domínio do problema. Inclusive, o autor ressalta que as entrevistas não estruturadas devem ser feitas através de notas e não com a utilização de gravadores. Resumindo, o trabalho aponta as entrevistas estruturadas como mais eficientes.

É bom lembrar que muitas perguntas ao especialista podem levá-lo a tentar responder coisas que ele mesmo desconhece. A idéia é que, na medida em que o conhecimento adquirido através da experiência numa tarefa pelo ser humano se torna automático, este conhecimento fica tão óbvio que tentar explicá-lo pode ser inútil. Psicólogos chegam ao ponto de declarar que não há necessariamente alguma relação entre relatórios verbais e o comportamento mental de um especialista.

A literatura sobre SEs demonstra uma grande preocupação com esta etapa inicial, conforme pode ser constatado, por exemplo, através dos artigos de Hoffman [HOF87] e o de Gaines e Shaw.[GAI85]. Essa discussão demonstra o aspecto interdisciplinar da Engenharia do Conhecimento, sendo uma de suas importantes relações com a psicologia.

As decisões a serem tomadas com relação ao processo de aquisição do conhecimento são determinadas pela natureza do sistema a ser desenvolvido. Em função do problema que o SE propõe-se a resolver, variam os especialistas quanto a sua disponibilidade, habilidade, familiaridade com sistemas baseados em conhecimento, etc. Cada problema apresenta características estruturais que determinam a forma de aquisição do conhecimento.

Este conhecimento extraído através da etapa de aquisição de conhecimento deve ser transferido para o sistema e representado formalmente de alguma maneira. Sobre isto trata a seguinte seção.

2.2.3 Representação do Conhecimento

Na medida que se definem as formas de representação de conhecimento está se fazendo possível trabalhar as informações através de ferramentas computacionais. Segundo Waterman [WAT86] a base de conhecimento consiste de dados e regras (ou outras representações) que usam estes dados como base para o processo decisório.

Interrante e Biegel, [INT90], defendem que na representação do conhecimento, a tarefa de projetar a base de conhecimento é fundamental, na medida que a escolha correta da base é que determinará se o sistema terá ou não sucesso ao resolver os problemas. Além disto, devido à própria engenharia dos programas, é praticamente impossível uma correção na estrutura quando da fase de testes.

Projetar a base de conhecimento consiste na escolha da forma de representação de conhecimento a ser utilizado e em como organizá-la.

Algumas formas de representação do conhecimento são: regras de produção, redes semânticas e "frames", entre outras. Os "frames" são uma rede de nós interligados onde se classificam os objetos do domínio como uma hierarquia, uma estrutura generalização-especialização, todo-parte ou apenas conexões. Cada nó representa um objeto que contém atributos.

Marvin Minsky é o idealizador do uso de "frames" como forma de representar objetos. O autor tenta fornecer ao sistema o máximo de informações possíveis sobre determinado objeto, porque assim acredita ser a forma com que os seres humanos percebem o mundo a sua volta. Minsky define "frames", como segue, [MIN75].

"Um "frame" é uma estrutura de dados que serve para representar uma situação estereotipada, como estar num certo tipo de sala ou como ir a uma festa de aniversário de criança. Associadas a cada "frame" estão muitos tipos de informações. Parte desta informação refere-se ao próprio uso do "frame". Outra parte refere-se a o que se pode esperar que irá acontecer a seguir. E a outra parte refere-se a o que fazer se o que se espera não se confirmar."

Segundo Leung e Lam, [LEU89], os aplicativos para desenvolvimento de SE apresentam basicamente dois tipos de arquitetura: sistemas baseados em "frames" com ou sem regras incorporadas, e sistemas baseados em regras, com subsistemas opcionais baseados em "frames".

Regras de produção são comandos do tipo *SE condição ENTÃO ação*. Quando a parte da condição *SE* da regra é satisfeita, a ação da parte *ENTÃO* será executada. As regras de produção podem ser aplicadas sobre uma estrutura de conhecimento. Estes comandos orientam as informações no sentido da solução do problema. A escolha do conteúdo das regras é proveniente da aquisição do conhecimento, e concluem a tarefa da representação do conhecimento.

Para um estudo mais aprofundado sobre formas de representação do conhecimento ver [BAR82] e [FIS87].

A representação do conhecimento, como descrita acima, permite codificar o conhecimento obtido na etapa de aquisição. O conhecimento codificado é orientado pela forma de encadeamento. Assunto para a próxima seção.

2.2.4 Motor de Inferência

O motor de inferência determina a ordem com que serão processadas as informações, manipulando os dados a fim de inferir novos fatos, chegar a conclusões ou recomendar ações. O motor de inferência representa a forma de manipular o conhecimento, já representado na base, a fim de resolver o problema. Este mecanismo determina qual parte do conhecimento deve ser utilizada a cada momento da execução do sistema.

Um motor de inferência utiliza um tipo especial de conhecimento : o meta-conhecimento, que é o conhecimento sobre o conhecimento do sistema. O meta-conhecimento é adquirido e representado da mesma forma que o conhecimento do sistema, a diferença reside na forma com que ele é utilizado, por exemplo: quando o processo de encadeamento deve parar; qual parte do conhecimento deve ser analisada em qual ordem, etc.

A decisão a ser tomada quanto ao motor de inferência também é consequência da aquisição de conhecimento. É necessário verificar como o motor de inferência deve manipular o conhecimento, ou seja, como aplicar as regras aos fatos de maneira que represente fielmente o raciocínio do especialista. A decisão é, então, sobre a forma de encadeamento a ser aplicado para as regras. Existem, basicamente, duas formas de encadear as regras: o encadeamento para frente e o encadeamento para trás [WAT86].

O encadeamento para frente parte de algumas informações e dirige-se através do universo do problema até atingir uma conclusão final. Um sistema com inferência para frente, ao nível das regras, parte da informação contida nas premissas para executar a ação.

O encadeamento para trás inicia a partir de um nó ou de uma conclusão final e dirige-se através do universo do problema até que encontre um caminho por onde chegar à conclusão final. Com este método de inferência, o sistema parte de um fato que se queira provar e somente executa regras que sejam relevantes a este fato.

A diferença entre o encadeamento para frente e para trás fundamenta-se no tratamento dado ao estado em que se aplica o encadeamento. No caso para trás, o processo inicia a partir do objetivo. Assim conclui-se que deve haver uma distinção entre um estado qualquer e a conclusão para que se possa diferenciar os processos de encadeamento. Se determinado estado intermediário pode ser encarado como objetivo, a distinção entre os encadeamentos fica prejudicada, [BAR82].

O encadeamento das regras caracteriza o motor de inferência, e o esclarecimento de como a inferência é executada sobre as regras para o usuário é o mecanismo que explica como o sistema chega a suas conclusões, conforme tratado na próxima seção.

2.2.5 Mecanismo de Justificativa

Os mecanismos de justificativa são capazes de descrever a linha de raciocínio empregada no sistema, o conhecimento que explica como o sistema chegou a suas conclusões e justifica os passos utilizados no processo, [INT90].

Alguns dos objetivos dos mecanismos de justificativa são: ensinar o usuário sobre o assunto, mostrar que sua conclusão é consistente e lembrar o usuário elementos importantes da análise que levam o sistema a determinada conclusão.

Este tipo de mecanismo torna o sistema mais confiável perante os usuários e ainda representa um mecanismo de simulação, pois a partir de uma alteração nos dados de entrada pode-se verificar as conseqüências desta alteração no desenvolvimento do raciocínio.

2.2.6 Interface com Usuário

No desenvolvimento de um sistema especialista deve-se pensar quem é o usuário alvo, qual sua formação e quais seus interesses. Normalmente o usuário não está interessado nas técnicas de programação da Inteligência Artificial.

Alguns SEs contêm mecanismos de aquisição de conhecimento em tempo real que permitem que o usuário "converse" com o sistema. Outros SEs permitem ao usuário acrescentar comentários voluntários durante a execução do sistema. Genericamente, a interface deve ser clara, apresentar opções para esclarecer dúvidas e mostrar somente o necessário.

2.2.7 Aprendizagem

O desenvolvimento de um sistema de IA pressupõe uma capacidade de atualização do mesmo. Este fato deve-se a uma analogia com a inteligência humana que só é reconhecida nos indivíduos com boa capacidade de aprendizagem, [INT90].

A aprendizagem nos sistemas computacionais é expressa pela modelagem e desenvolvimento dos seguintes processos: aquisição de novo conhecimento, desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, representação efetiva do conhecimento e o uso de observação para descobrimento de novo conhecimento.

Um sistema de aprendizagem tem quatro componentes, : o crítico, que compara a saída real com a esperada; o de aprendizagem, que altera a base de conhecimento a fim de consertar defeitos; o "procedural", que codifica o conhecimento especialista e o executor, que executa a tarefa reorientada após a aprendizagem.

Com a implementação de mecanismos de aprendizagem, procura-se manter o dinamismo dos especialistas humanos.

De acordo com Zadeh, em [ZAD83], sendo a base de conhecimento de um sistema especialista um depósito de conhecimento humano, a base de conhecimento é um conjunto de informações imprecisas, já que o ser humano é impreciso por natureza. Assim, ao desenvolver-se um SE deve ser considerado como equipá-lo de maneiras que ele seja capaz de lidar com a transmissão da imprecisão do início até a conclusão. A teoria indicada para o tratamento da imprecisão está apresentada na seção seguinte.

2.3 CONJUNTOS DIFUSOS

Lofti A. Zadeh usou pela primeira vez o termo "fuzzy" (traduzido para o Português como "difuso") num artigo onde mencionou uma matemática de quantidades difusas ou nebulosas, não descritíveis em termos de distribuição de probabilidade [ZAD62]. Em 1965, o autor publicou outro artigo onde apresentou uma matemática a partir daí denominada "Fuzzy Sets", [ZAD65], em Português, "Conjuntos Difusos". Os Conjuntos Difusos são classes que contêm elementos que se associam a estas por graus de pertinência contínuos. Estas classes são identificadas na vida real através de ambigüidade, imprecisão, incerteza, ambivalência, do vago e do duvidoso.

2.3.1 Conceitos Básicos

A Teoria dos Conjuntos Difusos (TCD) trata um subconjunto A do universo de discurso X onde há uma transição gradual entre a pertinência plena e não pertinência dos elementos deste conjunto A . A transição gradual significa dizer que um conjunto difuso é uma classe que permite uma pertinência parcial.

Seja o conjunto clássico X o universo cujos elementos genéricos são representados por x e seja A um subconjunto clássico de X , $A \subset X$.

A função característica $\mu_A(x)$ pode assumir os valores 0 e 1:

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

2.3.1.1 Conjunto Difuso. Seja B um conjunto difuso no mesmo universo X . B é o conjunto de pares ordenados:

$$B = \{ (x, \mu_B(x)) \} \quad x \in X,$$

onde $\mu_B(x)$ é o grau de pertinência do elemento genérico x no conjunto difuso B . Ainda é necessário assumir que:

1. $\mu_B(x)$ será um número no intervalo $[0, \infty]$;
2. o conjunto difuso normal (ver seção 2.3.1.5) terá sua função de pertinência no intervalo $[0, 1]$ com grau 1 e 0 representando, respectivamente, pertinência plena e não pertinência ;
3. quanto mais o x pertencer ao conjunto B , maior será seu grau de pertinência;
4. o conjunto universo X nunca é difuso.

O conjunto difuso B origina-se a partir de um subconjunto não difuso do universo X. Em razão disto, é descrito por alguns autores, e.g. Dubois & Prade, [DUB80], Kauffmann, [KAU75] e Zimmerman, [ZIM85], como um subconjunto, apesar deles mesmos manterem o termo conjunto, ainda que sob a alegação de conveniência. Conclui-se daí que o conjunto difuso B é criado associando-se uma função de pertinência aos elementos de A que é o subconjunto não difuso do universo X.

Para a apresentação dos próximos conceitos será tratado um conjunto difuso B no universo X.

2.3.1.2 Notação para Conjuntos Difusos. A notação que vem sendo utilizada é uma extensão da notação clássica, e usa o sinal de somatório e o sinal de soma aritmética para indicar união de conjuntos discretos; para conjuntos contínuos, usa o sinal de integração.

Notação para um conjunto difuso discreto B,

$$B = \mu_B(x_1)/x_1 + \dots + \mu_B(x_n)/x_n = \sum_{j=1, n} \mu_B(x_j)/x_j.$$

O elemento associado ao conjunto discreto com grau de pertinência 0 (zero) será omitido da representação. Notação para um conjunto difuso contínuo B,

$$B = \int_X \mu_B(x)/x.$$

2.3.1.3 Suporte. O suporte de um conjunto difuso B é um subconjunto não difuso do universo X composto de todos os elementos x em X cujos graus de pertinência no conjunto difuso B sejam estritamente positivos, o que significa dizer que são os elementos que pertencem ao conjunto difuso B.

$$\text{supp } B = \{x \in X / \mu_B(x) > 0\}$$

2.3.1.4 Altura. A altura de um conjunto difuso B é expressa pelo elemento x em X associado ao supremo grau de pertinência de B.

$$\text{Hgt } B = \text{Sup}_{x \in X} \mu_B(x)$$

2.3.1.5 Conjunto Difuso Normal. O conjunto difuso B é normal sse sua altura for igual a um (1).

2.3.1.6 Conjunto Difuso Subnormal. Um conjunto difuso B é dito subnormal quando sua altura é inferior à unidade. Neste caso, a TCD sugere o processo de Normalização, que consiste em dividir cada grau de pertinência do

conjunto B pelo supremo grau, obtendo o conjunto difuso normal B':

$$B' = \int_X (\mu_B(x) / \sup_{x \in X} \mu_B(x))$$

2.3.1.7 "Crossover". O "crossover" de um conjunto difuso é dado pelo elemento x em X cujo grau de pertinência no conjunto difuso B é igual a 0.5

2.3.1.8 Número Difuso. um número difuso é um conjunto difuso de números reais que é normal e convexo ao mesmo tempo.

Um conjunto difuso convexo é:

$\forall x, y \in R$:

$$\mu_F [\lambda x + (1-\lambda)y] \geq \mu_F(x) \min \mu_F(y) \\ \forall \lambda \in [0,1]$$

2.3.2 Operações e Composições

Sejam $A = \{ (x, \mu_A(x)), x \in X \}$ e $B = \{ (x, \mu_B(x)), x \in X \}$ dois conjuntos difusos em X . Apresentamos algumas operações da TCD. Para um estudo mais completo veja, [KAN86], [DUB80] e [ZIM85].

2.3.2.1 União. A união B é dado por:

$$A \cup B = \int_X (\mu_A(x) \vee \mu_B(x)) / x,$$

onde \vee é o símbolo para máximo.

2.3.2.2 Interseção. A interseção B, por

$$A \cap B = \int_X (\mu_A(x) \wedge \mu_B(x)) / x,$$

onde \wedge é o símbolo para mínimo.

2.3.2.3 Soma Limitada. A soma limitada de A e B por

$$A \oplus B = \int_X 1 \wedge (\mu_A(x) + \mu_B(x)) / x.$$

2.3.2.4 Diferença Limitada. A diferença limitada de A e B por

$$A \ominus B = \int_X 0 \vee (\mu_A(x) - \mu_B(x)) / x.$$

2.3.3 Criação dos Conjuntos Difusos

A criação de um conjunto difuso é uma tarefa tão subjetiva quanto a própria essência do problema que se procura modelar ao implementar a TCD num

sistema. Para criar um conjunto difuso basta que se defina a função de pertinência sobre o universo de discurso. Segundo Kandel, [KAN86], a função de pertinência deve preencher os seguintes itens a fim de ser uma função admissível.

1. representar fielmente o comportamento dos elementos;
2. ser consistente com as especificações do conjunto;
3. satisfazer a condição de $0 \leq \mu_B(x) \leq 1$, para conjuntos difusos normais.

2.3.4 Cardinalidade

A cardinalidade é uma propriedade dos conjuntos difusos. Seja um conjunto não difuso de elementos pertencentes a este conjunto, a única maneira de obter sua cardinalidade é contando seus elementos. Entretanto, se houver alguma dúvida com relação à pertinência destes elementos a este conjunto, haverá também incerteza quanto ao valor desta cardinalidade.

A TCD apresenta dois tipos de cardinalidade: a escalar e a difusa. A cardinalidade escalar é proposta para conjuntos difusos discretos e é expressa por:

$$|B| = \sum_{x \in X} \mu_B(x).$$

Para estudos sobre cardinalidade difusa, ver [KAN86], [ZAD83] e [DUB80].

2.3.5 Variáveis Lingüísticas e Variáveis Difusas

Uma variável lingüística é a variável que assume como valores palavras ou frases em linguagem natural ou artificial. Os conjuntos difusos que representam as restrições associadas aos valores de uma variável lingüística são, na verdade, subclasses dos elementos no universo considerado. Neste contexto, a variável difusa é um rótulo para estes conjuntos difusos.

Uma variável lingüística é uma variável de ordem mais alta do que uma variável difusa, no sentido que a variável lingüística assume variáveis difusas como seus valores, [ZAD75a] e [ZAD75b].

Uma variável difusa é caracterizada pela tripla $(X, U, R(X; u))$. X é o nome da variável; U é o universo; $R(x, u)$ é um subconjunto difuso de U que representa uma restrição difusa sobre os valores de u impostos por X ; e u representa os

elementos de U . A variável não difusa e não restrita u representa a variável base para X .

Uma variável lingüística é caracterizada pela quintupla $(H, T(H), U, G, M)$. H é o nome da variável; $T(H)$ denota o conjunto de termos dos valores lingüísticos de H , sendo cada valor uma variável difusa representada por X sobre o universo de discurso U associada com a variável base u ; G é uma regra sintática para a geração dos termos dos valores de H e M é uma regra semântica que associa a cada valor de X o seu significado, $M(X)$ que é um subconjunto difuso de U .

No exemplo : "São Paulo é uma cidade muito grande." - temos em "muito grande" um valor lingüístico para a variável lingüística "tamanho de cidade", representada por:

- H → nome da variável lingüística tamanho de cidade;
- $T(H)$ → {muito grande, grande, média, pequena, muito pequena};
- X → variável difusa que representa os termos de H em U ;
- U → universo de número de habitantes, [20 mil, 20 bilhões];
- u → variável base que expressa o número de habitantes;
- G → regra sintática que atribui valores para H , ex. H = "as cidades brasileiras podem ser caracterizadas por seu tamanho em muito grandes, grandes, médias, pequenas e muito pequenas";
- M → regra que associa os elementos de X a um valor de H , ex. M = "cidades com população superior a dez bilhões são muito grandes".

A notação para o exemplo seria: (São Paulo, muito grande, 0.4)

Uma explanação mais aprofundada sobre variáveis lingüísticas é encontrada em [ZAD75a], [ZAD75b] e [ZAD75c].

2.3.6 Algoritmo Difuso

Um algoritmo difuso é uma seqüência ordenada de instruções difusas. A execução de tais instruções é direcionada por regras de inferências e resultam numa solução difusa.

Há três tipos de instrução em um algoritmo difuso: atribuições difusas, como "*x é bom*"; sentenças condicionais difusas, "*se x é bom e y é regular então z é satisfatório*"; comandos de ação, como " *aumente x um pouco*".

As referências sugeridas para maior aprofundamento do texto estão em [ZAD71] e [ZAD73].

2.3.7 Média de um Conjunto Difuso

Ao abordar comparações entre conjuntos difusos, encontra-se uma definição com o significado intuitivo de média, [DUB80]:

Seja um conjunto difuso A em U com uma função de pertinência μ_A . Um conjunto difuso \tilde{A} é gerado a partir de A , para U discreto, através da fórmula:

$$\mu_{\tilde{A}}(\{x_1, \dots, x_k\}) = 1/k \sum_{i=1, \dots, k} \mu_A(x_i)$$

2.4 CONCLUSÃO

A fundamentação teórica apresentada neste capítulo baseou-se em livros, artigos e outros trabalhos de diversos autores, como pode ser verificado nas seções Referências Bibliográficas e Bibliografia.

A escolha dos tópicos apresentados foi dirigida no sentido de não transcender ao escopo da presente dissertação, apenas provendo os elementos necessários para implementação do sistema especialista difuso, conforme apresenta o próximo capítulo.

3 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA

3.1 INTRODUÇÃO

O Sistema Especialista para Análise de Crédito - SENACRE - foi implementado com o intuito de resolver o problema como um especialista no assunto, i.e., como um analista de crédito. O problema consiste em analisar a solicitação de crédito de determinado cliente e decidir por conceder ou não este crédito e, em caso afirmativo, qual o valor deste crédito. A implementação do sistema foi baseada na fundamentação teórica descrita no capítulo 2 através de técnicas de SE e TCD, sobre um aplicativo para desenvolvimento de sistemas baseados em conhecimento. O presente capítulo apresenta a implementação do SENACRE sob seus diversos enfoques. Primeiramente, a seção seguinte define o sistema. Depois, a seção 3.3 descreve a tarefa análise de crédito. A seção 3.4, intitulada "Abordagem dos SEs", apresenta o desenvolvimento do sistema com relação aos tópicos discutidos no item 2.2. Na seção "Modelagem Difusa" é mostrado o tratamento da imprecisão observada no problema. Finalmente, a seção 3.6 conclui a implementação.

3.2 DEFINIÇÃO DO SISTEMA

O SENACRE é um sistema especialista difuso para análise de crédito e representa uma aplicação da Engenharia do Conhecimento a um problema real. A escolha do problema Análise de Crédito faz com que a IA sirva como instrumento de apoio nos procedimentos da Administração Financeira.

O sistema SENACRE é um sistema especialista difuso porque incorpora a TCD no tratamento da imprecisão presente na resolução do problema da análise de crédito.

Como um sistema baseado em conhecimento, a construção do SENACRE consistiu no desenvolvimento das atividades que envolvem estes sistemas, conforme visto no capítulo 2 e apresenta todos os dispositivos inerentes aos mesmos.

O sistema SENACRE foi desenvolvido computacionalmente através do KAPPA-PC, produto da Intellicorp, Inc., de propriedade da FEESC- Fundação para Ensino de Engenharia do Estado de Santa Catarina, uma linguagem de engenharia de conhecimento agregada a suas próprias ferramentas de apoio.

O exercício da Engenharia do Conhecimento refere-se, principalmente, à transferência de conhecimento de especialistas humanos para o sistema computacional. Os especialistas entrevistados no processo de aquisição do conhecimento para a execução do SENACRE são analistas de crédito do BESC, conforme já mencionado no capítulo de Introdução, seção 1.3.

A próxima seção aborda o problema da análise de crédito conforme identificado no processo de aquisição do conhecimento.

3.3 ANÁLISE DE CRÉDITO

O sistema proposto implementa uma solução para o problema da análise de crédito conforme normas, regras e filosofia da instituição onde foi realizada a aquisição de conhecimento. Nestes termos, apresenta-se o problema na forma abordada pela referida instituição financeira.

A tarefa de análise de crédito resume-se em analisar uma pessoa física ou jurídica, a partir do devido embasamento técnico, com o objetivo de decidir sobre a concessão ou não de crédito para o solicitante. No âmbito do presente, a análise de crédito é feita para pessoas jurídicas.

O problema a ser resolvido consiste em analisar uma empresa a fim de constatar se a instituição financeira deve ou não conceder-lhe crédito e, em caso positivo, determinar qual será o valor do crédito autorizado. Toda a análise parte de um valor de crédito solicitado que serve de guia para a obtenção do resultado. Para tanto, os especialistas avaliam demonstrações financeiras da empresa, pesquisam sobre protestos da empresa e seus administradores, verificam o comportamento da empresa junto à instituição e, entre outros, observam faturamentos, avaliando o solicitante no contexto do segmento em que atua. Desta avaliação e a partir do montante de crédito solicitado pelo cliente, o especialista, utilizando seu conhecimento e experiência, estabelece o crédito autorizado para o cliente.

No processo de aquisição de conhecimento, o engenheiro do conhecimento capta do especialista humano elementos tangíveis e intangíveis. O conhecimento intangível é o raciocínio. O conhecimento tangível é composto pelas informações que o especialista tem à disposição para fazer sua análise. Este conhecimento tangível servirá de entrada para o sistema e consiste no seguinte:

1. formulário da agência com proposta de crédito e pareceres;
2. últimos balancetes da empresa solicitante;
3. relação do faturamento dos últimos 12 meses da empresa solicitante;

4. pontos de um questionário preenchido na agência onde o crédito foi solicitado;
5. o resumo da situação do balanço.

O resumo da situação do balanço difere dos outros elementos porque é resultado de um programa de computador que calcula índices, numa primeira tentativa de utilizar a Ciência da Computação no auxílio da tarefa de Análise de Crédito. O programa é alimentado pelo próprio analista com as contas do balanço (ou balancete) que são usadas nos cálculos de índices de liquidez, rentabilidade e estrutura, segmento em que a empresa atua e crédito solicitado. A saída do programa é um relatório com todos os índices calculados e um conceito atribuído a cada índice conforme faixas pré-estabelecidas por segmento de atuação e um limite indicativo de crédito, que ajuda o especialista na decisão quanto ao valor a liberar.

O problema pode ser descrito dentro da percepção do engenheiro do conhecimento que definiu a estrutura do universo do conhecimento através de quatro classes principais: *faturamentos*, *balancetes*, *pareceres* e *indicadores*, conforme seção 3.4.2.

O especialista analisa cada uma destas classes a fim de se posicionar perante a condição do cliente quanto à possibilidade de conceder-lhe crédito ou não.

O faturamento é analisado sob três aspectos: quanto à identificação de sazonalidades; para verificação de desempenho de vendas; e quanto à capacidade de gerar recursos para solvência da empresa.

A análise da classe *balancetes* se restringe a verificações sobre a coerência das demonstrações financeiras fornecidas pelo cliente, já que os índices são avaliados na classe *situação*, suprida pelos resultados lidos no resumo da situação do balanço. Além de verificar a coerência da documentação, o especialista compara as contas em função dos índices, ou seja, analisa a estrutura das contas que geraram determinados índices muito bons ou muito ruins.

Os pareceres analisados são os enviados com a pasta do cliente. Através destes, o especialista agrega o posicionamento de quem conhece o cliente mais de perto e verifica dados cadastrais da empresa solicitante e sua administração.

A classe *situação* trata da análise dos índices já calculados, onde o especialista normalmente inicia sua investigação. Os índices podem indicar sinais de instabilidade para alguma área do grupo de contas. Esta análise serve como base para o especialista na formação de seu parecer.

A partir da análise da classe *situação*, o especialista procura na classe *balancetes* respostas para dúvidas e a própria consistência de suas conclusões. Este processo será complementado quando o especialista agregar a análise das classes *pareceres* e *faturamentos*.

Ao final desta etapa, o especialista já tem uma conclusão quanto à condição do cliente, condição esta que indicará uma tendência sobre níveis de valores a serem autorizados. Uma simplificação desta tendência pode ser expressa por quatro níveis:

1. a conclusão é insuficiente e o cliente não deve obter crédito algum, ou somente um valor muito abaixo do solicitado;
2. a conclusão é regular, é possível liberar algum crédito mas certamente inferior ao solicitado;
3. a conclusão é satisfatória, o cliente deverá ter liberado o valor solicitado, ou talvez até algum percentual a mais;
4. a conclusão é boa, este cliente terá condições de receber um financiamento superior ao solicitado.

A possibilidade de autorização de valores superiores ao solicitado deve-se ao fato que as análises podem ser feitas apenas com o intuito de atualização de crédito autorizado, neste caso partindo do último valor solicitado.

O problema da análise de crédito resulta numa destas quatro soluções no que concerne ao trabalho em questão. As conclusões insuficiente e regular dificultam a autorização de crédito para o cliente; ao contrário, as conclusões boa e satisfatória o facilitam.

A proposta do trabalho restringe-se à tarefa de engenharia de conhecimento ; portanto fica fora de seu escopo um maior aprofundamento no tema Análise de Crédito.

3.4 ABORDAGEM DOS SISTEMAS ESPECIALISTAS

A implementação do SENACRE, segundo a abordagem para sistemas especialistas, deve, acima de tudo, preencher as condições expostas por Waterman com relação à possibilidade, justificativa e adequação.

A implementação do SENACRE é possível dado que a tarefa de Análise de Crédito no BESC representa um trabalho consistente, a instituição dispõe de especialistas que estão de acordo entre si, a tarefa é mental e de complexidade adequada.

A implementação do SENACRE se justifica plenamente não somente pela boa relação custo-benefício que proporciona, mas também por garantir a homogeneidade dos procedimentos além de incrementar a segurança do negócio.

Quanto ao fato da implementação do SENACRE ser adequada, a própria explanação sobre sua implementação e aplicação apresentados na presente dissertação argumentam positivamente neste sentido. O próprio fato do sistema proporcionar resultados excelentes já ilustra sua adequação.

O SENACRE é um sistema especialista de tipo Interpretação porque faz inferências a partir de um conjunto de informações.

X O sistema SENACRE é um sistema especialista e, portanto, seu desenvolvimento envolve a execução de tarefas que resultam elementos físicos como a apresentação do resultado e elementos não físicos, como a aquisição de conhecimento. Baseando-se na teoria apresentada no capítulo 2, mostra-se como estas tarefas foram trabalhadas no caso do SENACRE.

X Assim que definida a área de implementação do SE, a primeira tarefa a ser considerada é a da aquisição de conhecimento. Seus resultados já foram apresentados na descrição do conhecimento na seção anterior 3.3. Na seção seguinte descreve-se a forma de implementação da etapa.

3.4.1 Aquisição de Conhecimento do SENACRE

A aquisição de conhecimento para o SENACRE, nos termos da extração do conhecimento, foi feita através de entrevistas estruturadas feitas aos analistas de crédito do BESC pelo engenheiro do conhecimento.

Os analistas trabalham em um departamento subordinado à Diretoria Financeira, o Departamento de Crédito. Os analistas, em número de sete, executam em torno de duas análises por dia dependendo da conjuntura econômica que causa oscilações na demanda de financiamentos.

As entrevistas realizadas foram do tipo estruturadas, já que o engenheiro do conhecimento realizou um trabalho de pesquisa sobre o domínio antes de iniciá-

las. Além disto, o engenheiro do conhecimento já era pessoa com conhecimento técnico na área de Análise de Crédito, dominando terminologia e procedimentos genéricos. Deste modo, o engenheiro do conhecimento estava em condições de comentar elementos da tarefa dos especialistas. As entrevistas foram feitas uma a cada dia, com duração média de uma hora.

As entrevistas foram realizadas tomando-se exemplos que o especialista já havia analisado. O especialista praticamente refazia o trabalho relatando passos e pensamentos sobre sua análise. Desta forma, foi possível deixar que o especialista conduzisse as entrevistas evitando que ele tentasse explicar raciocínios muito abstratos.

Durante o processo de aquisição de conhecimento, o engenheiro do conhecimento define as formas básicas da representação do conhecimento, conforme descreve a próxima seção.

3.4.2 Representação de Conhecimento do SENACRE

A tarefa de representar o conhecimento na elaboração de um sistema especialista envolve escolhas quanto à forma e estrutura da representação do conhecimento.

A forma de representação de conhecimento escolhida para o SENACRE é uma forma híbrida de "frames" e regras.

Uma vez definido o KAPPA-PC como aplicativo para desenvolvimento a ser utilizado, o uso de "frames" encaixa-se perfeitamente no seu paradigma de representação. KAPPA-PC é baseado em "frames" com regras incorporadas, conforme classificação citada na seção 2.2.3.

Definida a forma de representação de conhecimento, esta deve ser estruturada. Estruturar os "frames" significa classificar os objetos do domínio do problema em questão. Deve-se tomar todos os objetos que fazem parte do universo e analisá-los cuidadosamente para classificá-los adequadamente. Assim, ficam definidas a estrutura do universo de conhecimento e a delimitação do escopo deste universo.

Desta classificação chega-se a uma taxonomia dos objetos do universo, através dos quais o raciocínio se desenvolve. A taxonomia contém quatro classes que representam diferentes aspectos de análise, conforme já mencionado na seção 3.3, que são: *faturamentos*, *pareceres*, *balancetes* e *situação*. Estes quatro aspectos são analisados na busca de um conceito que funcione como uma diretiva de comportamento com relação à conclusão final. Este processo é feito em partes e primeiro se obtém conceitos parciais. O sistema representa estes conceitos através de atributos, respectivamente associados à classe de *faturamentos*, à

classe *pareceres* e às classes *balancetes* e *situação* que funcionam uma como suporte da outra.

A estruturação das regras consiste em considerar sobre quais objetos elas são aplicadas e o conteúdo das mesmas. No SENACRE, as regras são aplicadas sobre as quatro classes da base de conhecimento na busca dos conceitos intermediários.

A ordem de aplicação das regras já é a caracterização do motor de inferência.

3.4.3 Motor de Inferência do SENACRE

O motor de inferência representa a forma de encadeamento das regras. No SENACRE, o raciocínio é conduzido a partir de dados que são combinados no sentido de uma conclusão. Este é o princípio do encadeamento para frente, que é a forma de encadeamento indicada para o SENACRE.

O processo de raciocínio principal que estrutura o tipo de problema que o SE resolve, ver seção 2.2.1, caracteriza o motor de inferência do sistema. Mesmo assim, nada impede que em partes da estrutura principal possam haver algumas cadeias de inferência que tanto podem assumir a forma de encadeamento para frente como para trás. Basta que em determinado momento da aplicação do encadeamento para frente, algum estado intermediário passe a representar também uma conclusão.

Especificamente no caso do SENACRE é exatamente isto que ocorre. Há uma estrutura principal onde as regras são aplicadas através de um encadeamento para frente, mas há certos momentos em que são acionadas regras que atuam sobre os dados na forma de encadeamento para trás, ou seja, alguns dados podem expressar conclusão. Por exemplo, durante o encadeamento para frente, o sistema identifica qual é o conceito para os indicadores de estrutura. Assim que este conceito é atribuído, é acionado um encadeamento para trás que busca o caminho que levou a este conceito, dado que um conceito para indicadores de estrutura é a conclusão de um processo. Esta cadeia de inferência tem inclusive o poder de alterar o conceito dos indicadores de estrutura, caso a resposta do encadeamento para trás considere insuficientes as razões para determinado conceito. Na seção 4.3 há um exemplo desta inferência. A figura 3.1 demonstra esquematicamente o sentido do encadeamento para frente que caracteriza o motor de inferência principal do SENACRE. A figura 3.2 demonstra a idéia do encadeamento para trás como motor de inferência secundário.

O motor de inferência também é utilizado para visualização do raciocínio e, deste modo, é aproveitado para demonstrar o caminho seguido até as conclusões, como é apresentado na seção seguinte.

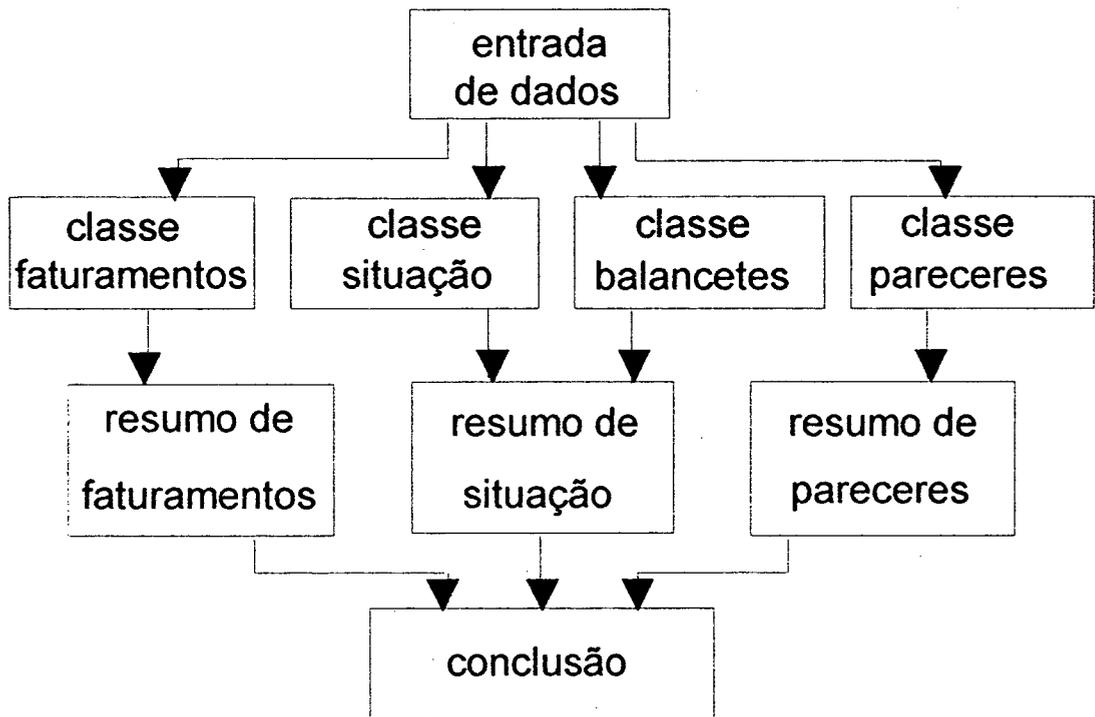


Figura 3.1 - Esquema básico do encadeamento para frente

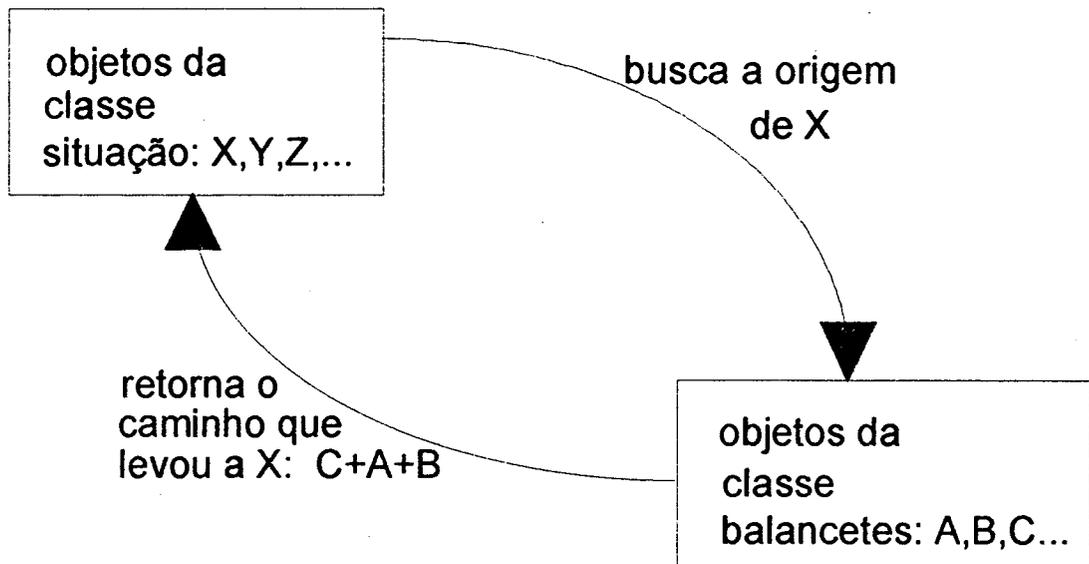


Figura 3.2 - Esquema do encadeamento para trás

3.4.4 Mecanismo de Justificativa do SENACRE

No SENACRE o mecanismo de justificativa está implementado através do botão *explicação* da janela *análise*. Ao acionar este botão surge uma janela que descreve a situação econômico-financeira do cliente, condição global e outros atributos envolvidos com a conclusão. Através deste mecanismo o sistema pode auxiliar um especialista humano quanto á verificação precisa da análise de todos os elementos pertencentes ao domínio do problema.

O processo de implementação do SENACRE é previsto para iniciar com um período onde um especialista faz sua análise e depois compara com a análise feita pelo sistema. Com o mecanismo de justificativa, o usuário pode identificar a origem de possíveis discrepâncias nas análises.

3.4.5 Interface do SENACRE

A interface do SENACRE é bastante amigável, pois apresenta um ambiente com janelas e botões de fácil compreensão, graças à implementação em ambiente "windows" proporcionada pela ferramenta utilizada em seu desenvolvimento.

A interface do SENACRE consiste numa janela de introdução, uma janela *principal*, uma janela de *funções*, uma janela de *ajuda* e uma janela de *análise*. A janela de introdução está representada na figura 3.3.

A janela principal apresenta dois grupos de botões: um primeiro grupo de botões dispostos verticalmente, que referem-se à entrada de dados; e um segundo grupo de botões que acionam as janelas restantes, *funções*, *ajuda* e *análise*, conforme pode ser visto na figura 3.3.

A janela de *funções* oferece opções de inicialização e de retorno ao menu inicial. Esta janela é destinada a futuras implementações de operações com arquivos.

A janela *ajuda* fornece opções de esclarecimentos sobre itens do sistema e de revisão de valores de dados inseridos no mesmo.

A janela *análise* consta de três botões: *analisa*, *resultado* e *explicação*, que representam as funções essenciais do sistema, que serão descritas de acordo com o desenvolvimento da apresentação.

Retornando à janela principal e ao grupo de entrada de dados, temos: 1. *Entrar Dados*, 2. *Pareceres*, 3. *Balancetes* e 4. *Faturamento*.

Através do botão 1. *Entrar Dados* são digitados dados como nome do cliente e o valor do crédito solicitado.

Ao ser acionado o botão 2. *Pareceres*, surgem quatro pequenas janelas de escolha simples, onde o usuário deverá indicar uma das opções. As janelas referem-se a quatro pareceres que constam da pasta de dados do cliente que acompanham sua solicitação de crédito. As opções para cada um dos pareceres são: "a favor", "indiferente", "com restrições" e "contra".

O terceiro botão é 3. *Balancetes*. Ao acionar este botão inicia-se um processo de surgimento de uma série de janelas onde são digitados dados do balancete e da situação. Os dados sobre a situação são índices de estrutura, liquidez e rentabilidade e ainda a pontuação de um questionário, já mencionado no capítulo 3.

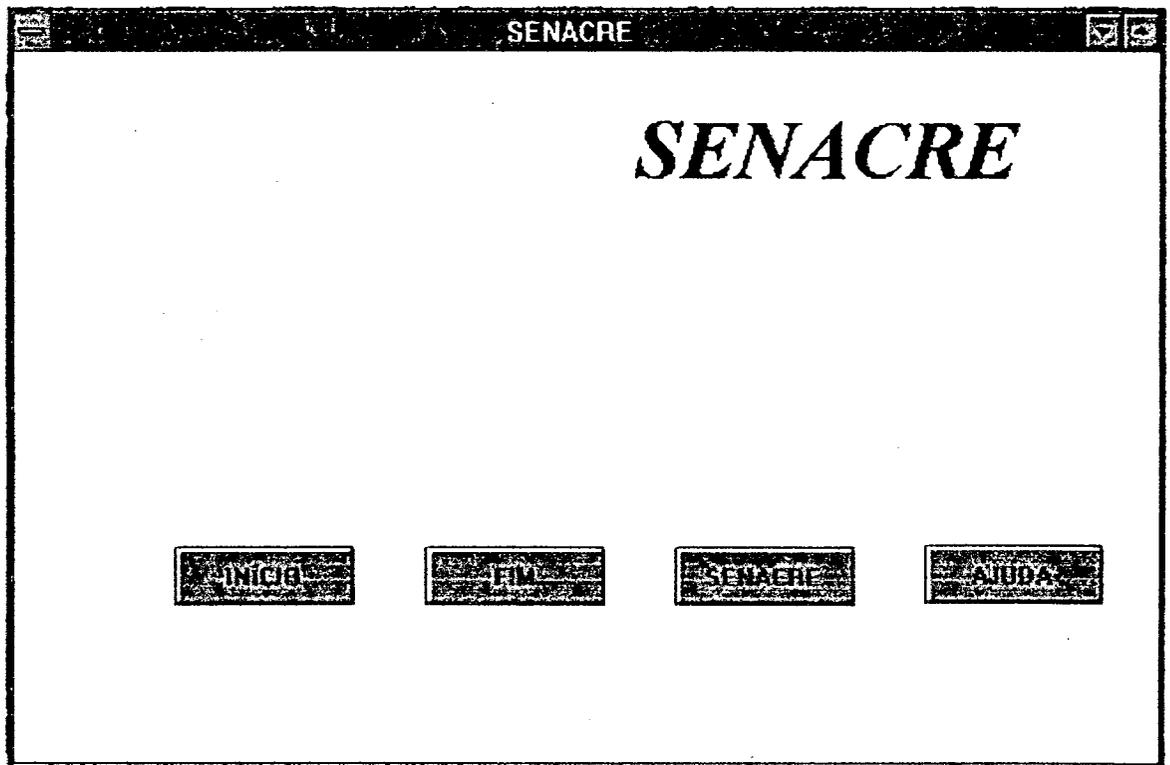


Figura 3.3 - Janela de introdução do SENACRE

A última janela pergunta se outros balancetes serão analisados, em caso positivo, este procedimento se repete e métodos de comparação de tendências são acionados. O último botão é o *4. Faturamento*. Ao acioná-lo, inicia o surgimento consecutivo de 12 janelas para que sejam digitados os 12 últimos faturamentos.

Para o usuário, assim que for digitado o último faturamento, o botão *Análise* já pode ser acionado. Ao entrar na janela *Análise*, o primeiro botão a ser acionado é o *analisa*: neste momento podem surgir janelas fazendo perguntas ao usuário se faltarem informações para o sistema concluir sua análise; caso contrário, assim que o botão voltar à posição original, pode ser acionado o botão *resultado*.

O último botão é o *explicação*, ao ser acionado, surge uma janela com um resumo sobre a análise, apontando quais os conceitos fundamentais que levaram o sistema a sua conclusão.

As janelas mencionadas aqui serão apresentadas no capítulo 4 onde já consta um exemplo.

3.4.6 Aprendizagem do SENACRE

A aprendizagem no SENACRE se dá pela aquisição manual de novo conhecimento. No sistema de aprendizagem, o componente crítico do SENACRE é o próprio usuário, o de aprendizagem e o "procedural" são representados pelo engenheiro do conhecimento e o executor é o próprio sistema já atualizado.

A atualização do conhecimento é necessária sempre que for identificada alguma alteração em norma ou filosofia da instituição financeira onde o sistema estiver sendo aplicado, ou quando as características conjunturais se modificarem.

3.4.7 O Raciocínio do SENACRE

As seções apresentadas até o momento já caracterizam o SENACRE com relação aos seus elementos físicos e não físicos. Nesta seção, mostra-se como são conduzidos os objetos e informações do domínio no sentido da conclusão de forma um pouco mais ampla do que o esquema simplificado mostrado na seção 3.4.3. A figura 3.4 demonstra de forma esquemática este desenvolvimento.

A figura 3.4. mostra no primeiro nível uma representação dos itens que caracterizam a entrada de dados.

No segundo nível, os elementos são agrupados de acordo com a classe a que pertencem dentro da estrutura de representação de conhecimento do SENACRE.

Todas as classes terminam com um conceito conclusivo que resume esta classe. No terceiro nível estão os resumos das classes que são reduzidas a três.

O quarto nível é caracterizado por um objeto denominado *Parecer Final* que agrega as informações do nível anterior e é formado através de um conjunto de regras que definem seus atributos. Os atributos deste objeto são responsáveis pelo cálculo do valor final a ser autorizado para o cliente.

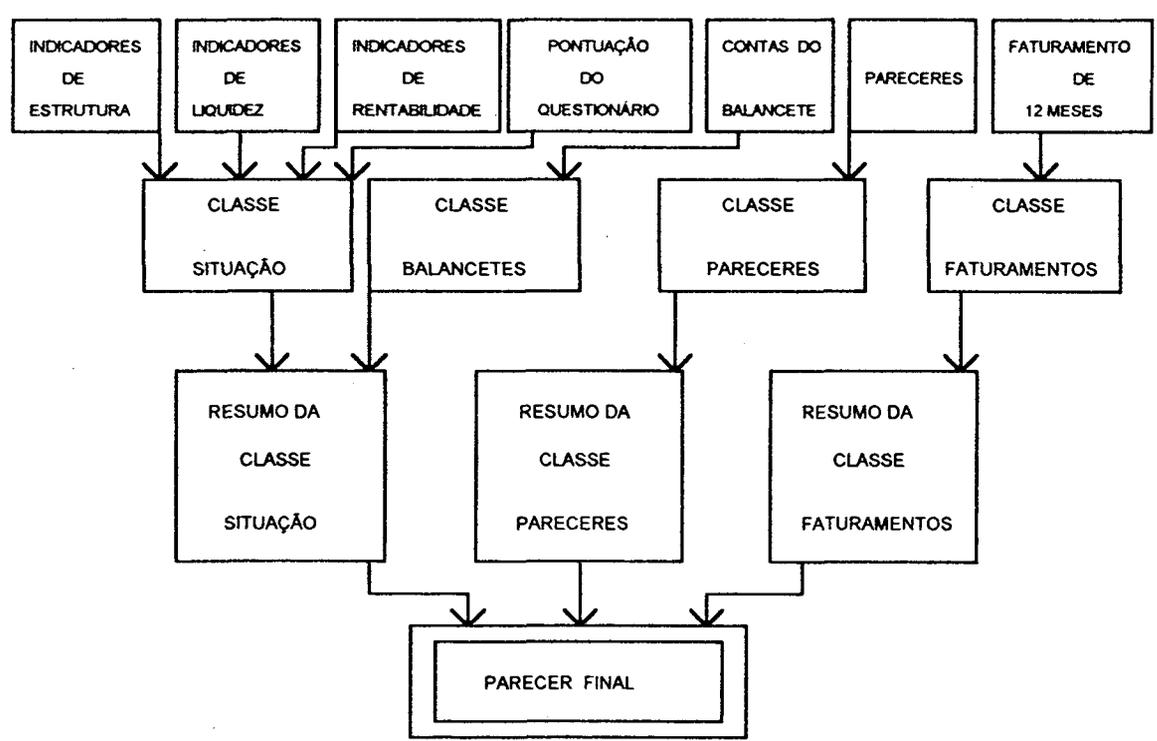


Figura 3.4 - O Raciocínio do SENACRE

3.4.7.1 Classe Pareceres

Como vimos, a classe *pareceres* modela o posicionamento de opiniões mais próximas do cliente. São quatro pareceres que geram o resumo de pareceres.

Conforme já descrito na seção 3.4.5, a entrada de dados para a classe *pareceres* é feita através de janelas de escolha de opções. As opções estão em ordem decrescente de valor - "a favor", "indiferente", "com restrições" e "contra"- e seus pesos para cada parecer se equivalem de uma maneira tal que para um parecer "a favor" agregado a um "com restrições", resulta num resumo de pareceres "indiferente".

A forma encontrada para representar estes pareceres foi através do uso de pesos positivos e negativos. Um dos pareceres tem representatividade tão superior aos demais que se este parecer receber um valor "a favor", somente com todos os outros três pareceres apresentando valores "contra", torna-se possível o resumo resultar num valor "com restrições".

Na taxonomia que representa o domínio do problema, *pareceres* é uma das quatro classes principais. Logo que encontrado o resumo dos pareceres, será atribuído um conceito para este objeto, que será um conceito conclusivo para a classe *pareceres*. O conceito será um dos quatro abordados em todo o sistema:

Bom, Satisfatório, Regular e Insuficiente. As quatro opções dos pareceres representam, respectivamente, estes conceitos.

Ainda sobre esta classe, observa-se que o botão 2. *Pareceres* é o segundo botão de entrada de dados para induzir o usuário a preenchê-los no início do processo, principalmente em função de um dos pareceres, o do especialista. É imprescindível que esta opção seja preenchida pelo especialista assim que ele tenha o primeiro contato com a pasta do cliente. Há duas razões para isto: a primeira refere-se à tentativa de passar para o sistema um sentimento muito humano, normalmente citado como "primeira impressão". Foi constatado na aquisição de conhecimento que o especialista humano analisa os processos sempre guiado por uma imagem bastante subjetiva que defina uma postura, às vezes de boa vontade, às vezes de indiferença. A outra razão diz respeito a uma forma de manter o especialista no sistema. Através deste mecanismo o especialista interfere na resolução do problema. A idéia de manter um especialista operando o sistema pretende suprir lacunas do sistema computacional, garantindo a presença de características muito humanas como a criatividade. Este mecanismo pode tomar outro vulto em projetos que incluam auto-aprendizagem, por exemplo.

3.4.7.2 Classes Situação e Balancetes

Na taxonomia que representa o universo do problema, *balancetes* e *situação* são duas classes.

Como descrito na seção 3.3, um dos elementos que dispõe o usuário é o *resumo da situação do balanço*. Os dados da situação constam deste documento, e consistem em valores numéricos e conceitos para todos os índices, pontuação do questionário e o limite indicativo de crédito. Estes índices são resumidos pelo sistema (conforme seção 3.5.3) a fim de gerar um conceito conclusivo sobre a situação.

O sistema não é alimentado com todas as contas das demonstrações financeiras, pois muitas já são indiretamente informadas através dos índices. Utiliza-se somente as contas que servem para conferir os índices e checar a consistência das demonstrações financeiras. Estes dados são muito utilizados nos motores de inferência secundários, seção 3.4.3. Ao se conferir os índices, pretende-se avaliar a razão de determinado índice estar em determinado nível, seja baixo ou alto.

Como a classe *balancetes* atua como suporte da classe *situação*, define-se apenas um conceito conclusivo para ambas, o conceito conclusivo da *situação*.

3.4.7.3 Classe Faturamentos

Na classe *faturamentos* avaliam-se diversas informações sobre o cliente com relação ao volume de seu faturamento. A exemplo das outras, esta classe também é caracterizada por um conceito conclusivo. O conceito desta classe desenvolve-se através de funções que calculam médias dos faturamentos, comparações com outros dados do sistema, enfim, funções numéricas que avaliam o faturamento conforme observado na aquisição de conhecimento.

3.4.7.4 Parecer Final

A partir dos conceitos conclusivos das classes *pareceres*, *situação* e *faturamentos*, o sistema infere um outro conceito, que sintetiza os demais, denominado *Parecer final*. A obtenção deste objeto se dá por regras que comparam o *Parecer final* com o crédito solicitado, patrimônio líquido e valor do último faturamento para inferir o valor final de liberação. Esta última comparação, sempre feita pelos especialistas humanos, pretende minimizar possíveis incoerências, (e.g., liberar um valor superior ao patrimônio líquido do cliente ou deixar de liberar um valor que representa menos de 10% do último faturamento).

O conceito do objeto *Parecer Final* tem por objetivo representar a idéia do especialista humano quando chega no final da análise da documentação do cliente. O próximo passo será estabelecer um montante de crédito a ser liberado a partir deste conceito que resume a condição da empresa de receber algum empréstimo, segundo a filosofia da instituição financeira.

Como definido na seção 3.3, na exposição do problema, foram identificadas quatro tendências neste momento da análise. Estas quatro tendências são representadas pelos conceitos *insuficiente*, *satisfatório*, *regular* e *bom*. Esta é a razão pela qual os conceitos intermediários do sistema são direcionados para um destes quatro conceitos. O conceito do objeto *Parecer final* já indica qual o patamar de crédito a ser autorizado para o cliente.

A implementação do SENACRE como um sistema especialista realmente eficiente e capaz de realizar o que se propõe foi complementada com uma modelagem difusa para o tratamento da imprecisão identificada no problema. A próxima seção pretende esclarecer os termos desta modelagem.

3.5 MODELAGEM DIFUSA

3.5.1 Introdução

A implementação do sistema SENACRE envolve a aplicação da TCD para que se atinja o objetivo de reproduzir o raciocínio dos especialistas humanos, considerando a imprecisão inerente às informações e regras destes especialistas.

A presente seção tem por objetivo apresentar os elementos envolvidos na aplicação da TCD. Para tanto, após uma breve introdução sobre as formas de imprecisão identificadas com relação à estrutura do conhecimento, são apresentadas: seção 3.5.2, Imprecisão na Classe Situação, salienta-se esta classe por ser onde foi identificada a imprecisão que mais poderia deturpar os resultados caso não tivesse recebido a modelagem difusa; a seção 3.5.3 explica como foram criados os conjuntos difusos; em 3.5.4 apresenta-se a principal composição difusa; a seção 3.5.5 relata outras composições; e, finalmente, a seção 3.5.6 descreve como funciona o cálculo da atribuição de um valor a liberar ao cliente mediante esta modelagem. Esta estrutura de apresentação pretende demonstrar a implementação da modelagem difusa seguindo o andamento do raciocínio do sistema.

Através do processo de aquisição do conhecimento, verificou-se imprecisão em alguns itens desde a entrada de dados. As classes que contém imprecisão são as classes *situação* e *faturamentos*.

A classe *situação* se desenvolve a partir da entrada dos valores dos índices que medem o desempenho do cliente. Estes índices resultam da aplicação de fórmulas que envolvem contas do balancete (ou balanço). Os índices são classificados pelos especialistas em um dos seguintes conceitos: *Bom*, *Satisfatório*, *Regular* ou *Insuficiente*. O cálculo dos índices é feito através das fórmulas apresentadas no quadro 3.1. Pela própria natureza matemática das fórmulas, o intervalo possível dos resultados é sempre $[0, \infty)$. Entretanto, os intervalos dos níveis dos índices para cada um dos conceitos acima mencionados variam conforme o segmento de mercado em que o cliente atua. O banco onde foi realizada a aquisição de conhecimento usa como referencial os intervalos dos indicadores apresentados no quadro 3.2. Para o trabalho em exposição foi adotado apenas o segmento de indústria da construção civil visando praticidade.

QUADRO 3.1
Fórmulas dos Indicadores

Indicadores de Estrutura		
equação	título	fórmula
1	participação de capital de terceiros	$\frac{\text{capital de terceiros}}{\text{patrimônio líquido}}$
2	grau de imobilização	$\frac{\text{ativo permanente}}{\text{patrimônio líquido}}$
Indicadores de Liquidez		
equação	título	fórmulas
3	liquidez geral	$\frac{\text{ativo circulante} + \text{realizável}}{\text{passivo circulante} + \text{exigível}}$
4	liquidez corrente	$\frac{\text{ativo circulante}}{\text{passivo circulante}}$
5	liquidez seca	$\frac{\text{ativo circulante} - \text{estoques}}{\text{passivo circulante}}$
Indicadores de Rentabilidade		
equação	título	fórmulas
6	giro do ativo	$\frac{\text{receita bruta}}{\text{total do ativo}} * 100$
7	rentabilidade das vendas	$\frac{\text{lucro líquido}}{\text{vendas}} * 100$
8	rentabilidade do ativo	$\frac{\text{lucro líquido}}{\text{total do ativo}} * 100$
9	rentabilidade do patrimônio líquido médio	$\frac{\text{lucro líquido}}{\text{patrimônio líquido médio}} * 100$

Com a análise do quadro 3.2 é possível constatar que alimentar o SENACRE somente com os conceitos dos índices provocaria a agregação de uma informação insuficiente no desenvolvimento do raciocínio do sistema. De acordo com a aquisição de conhecimento, o analista de crédito observa os conceitos dos índices e também seus valores numéricos. Fica claro que o especialista humano agrega a seu raciocínio não somente o conceito do índice como também uma idéia da distância deste conceito com relação aos conceitos adjacentes.

QUADRO 3.2

Intervalos dos Conceitos dos Indicadores para o Segmento indústria de construção civil:

FONTE: Documento Interno do BESC

indicadores	Insuficiente	Regular	Satisfatório	Bom
Part. de Cap. de 3os.	(111,∞)	(73.0,111]	(21.0,73.0]	[0,21.0]
grau de imobilização	(122,∞)	(100,122]	(57,100.0]	[0,57.0]
liquidez geral	[0,0.54]	(0.54,0.85]	(0.85,1.66]	(1.66,∞)
liquidez corrente	[0,0.76]	(0.76,1.19]	(1.19,1.79]	(1.79,∞)
liquidez seca	[0,0.38]	(0.38,0.68]	(0.68,1.38]	(1.38,∞)
giro do ativo	[0,0.31]	(0.31,0.70]	(0.70,0.87]	(0.87,∞)
rentabilidade vendas	[0,1.08]	(1.08,5.00]	(5.00,10.6]	(10.6,∞)
rentabilidade do ativo	[0,1.78]	(1.78,4.35]	(4.35,12.8]	(12.8,∞)
rentabilidade pl.médio	[0,0.6.0]	(6.0,10.09]	(10.09,23.7]	(23.7,∞)

Por exemplo, se o especialista lê um conceito *Satisfatório* para a rentabilidade do ativo, ele também verifica se o valor numérico do conceito está mais próximo do número 4 ou do número 12. Seria ingênuo pensar um ser humano raciocinando apenas com uma das informações. Assim, a representação de cada um dos nove índices deve participar do processo de raciocínio com o conceito e também com o nível numérico para que se obtenha no sistema a mesma importância dada a este valor pelo especialista humano.

O especialista encara cada indicador por seu conceito e confirma sua idéia com o valor numérico. Por exemplo, se um indicador de imobilização (fórmulas no quadro 3.1) está com conceito *Bom*, o analista procura saber se o nível deste indicador está mais ou menos próximo de zero, conduzindo em seu raciocínio uma idéia de mais ou menos *Bom*, devido ao fato do intervalo deste conceito variar entre os níveis zero e cinquenta e sete, vide quadro 3.2. Os conceitos são exemplificados por alguns valores presentes na aplicação, capítulo 4.

A proposta para representação deste conhecimento impreciso que caracteriza o raciocínio do especialista humano é a utilização da TCD. Conjuntos Difusos podem representar estes conceitos agregando imprecisão ao raciocínio no sistema computacional.

Revisando a representação de conhecimento identificamos ainda alguma imprecisão na atribuição do conceito concernente à classe *faturamentos*. As comparações feitas entre a média dos faturamentos e outros valores são facilitadas quando tratadas por conjuntos difusos. São feitas comparações do nível dos faturamentos no intuito de confirmar uma capacidade de solvência da empresa. Uma abordagem não difusa teria dificuldade em considerar se o valor solicitado é muito maior do que a média do faturamento de forma dinâmica.

A aplicação da TCD com relação à estrutura de representação do conhecimento do problema é a seguinte: a conclusão da classe *pareceres*

permanece não difusa, somente as conclusões das classes *situação* e *faturamentos* são difusas.

A próxima seção apresenta o desenvolvimento do tratamento dado à classe *situação* com a utilização da TCD.

3.5.2 Imprecisão na Classe Situação

O resultado de todos os índices que medem o desempenho do cliente estão contidos num universo de valores em função das fórmulas que os originam, ver quadro 3.1. Este universo em questão é sempre o mesmo intervalo: $[0, \infty)$.

Conforme mostra o quadro 3.2, este mesmo universo possui diferentes subconjuntos para os diferentes índices, cada um deles associados a quatro conceitos. Isto deve-se ao fato de que a origem destes intervalos está num estudo estatístico que determina, por exemplo, que o grau de imobilização de um cliente que atua no segmento de indústria da construção civil será considerado *Bom* somente se seu nível estiver no intervalo $[0, 57]$. Certamente, se o segmento de atuação fosse de comércio, este intervalo seria bem inferior, devido às menores exigências de ativo permanente no segmento comercial.

A fim de modelar estes intervalos associados a cada conceito, definimos por representar cada intervalo com um conjunto difuso. Assim, fica estabelecido o grau com que cada nível numérico participa de cada conceito. Por conseguinte, cada índice será representado por quatro conjuntos difusos que estarão associados aos conceitos *Bom*, *Satisfatório*, *Regular* e *Insuficiente*. Estes conceitos representam rótulos de conjuntos difusos.

Os conjuntos difusos são, então, criados a partir de:

- subconjuntos do universo de cada índice associado a cada conceito;
- e de uma função de pertinência que mapeará o intervalo de cada subconjunto.

Por exemplo, o grau de imobilização é calculado através de sua fórmula (conforme quadro 3.1) que proporciona um universo numérico de resultados possíveis de $[0, \infty)$. Este universo possui quatro subconjuntos, cada um associado a um conceito, respectivamente: $(122, \infty)$, *Insuficiente*; $(100, 122]$, *Regular*; $(57, 100]$, *Satisfatório* e $[0, 57]$, *Bom*. Estes são os subconjuntos do universo que servem para criar o universo de discurso de cada conjunto difuso, são o eixo das variáveis base. Para o mapeamento destes universos usam-se funções. As funções de pertinência para os conjuntos difusos referentes ao grau de imobilização estão apresentadas no quadro 3.3 as seguintes:

QUADRO 3.3
Funções de pertinência para grau de imobilização

Função de pertinência para o conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Bom</i>	$\mu_{IB}(x) = 1 - (x/57)$	$x \in U$
Função de pertinência para o conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Satisfatório</i>	$\mu_{IS} = 1 - ((x-58)/42)$	$x \in U$
Função de pertinência para o conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Regular</i>	$\mu_{IR}(x) = (x-101)/21$	$x \in U$
Função de pertinência para o conjunto difuso grau de imobilização de rótulo <i>Insuficiente</i>	$\mu_{II}(x) = (x-123)/77$ $\mu_{II}(x) = 1$	$0 \leq x \leq 200$ $x > 200$

A representação gráfica destes conjuntos difusos está apresentada nas figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8.

A necessidade da aplicação dos conjuntos difusos parte da leitura dos índices de estrutura, liquidez e rentabilidade. Assim que um valor numérico é digitado para um índice, uma função é acionada para representar o valor deste índice através de conjuntos difusos. Um índice passa a ser um objeto representado por atributos que caracterizam o conjunto difuso a que pertence. Propõe-se um exemplo para acompanhar o raciocínio com um valor numérico digitado para o grau de imobilização de 41.03.

Primeiro, o sistema identifica em qual subconjunto do universo se encontra o valor numérico do índice e a qual conceito está associado este subconjunto. Para o grau de imobilização de nível 41.03, o sistema identifica pertinência no subconjunto associado ao conceito *Bom*, em razão deste valor pertencer ao intervalo $[0,57]$, conforme quadro 3.2.

Segundo, o sistema usa as funções apresentadas no quadro 3.3 para calcular qual o grau de pertinência do valor deste índice no conjunto difuso associado ao referido conceito. O grau de pertinência do grau de imobilização de nível 41.03 no conjunto difuso de rótulo *Bom* é 0.280175, resultado da operação $1 - (41.03/57)$.

Seja o índice um objeto, este objeto índice contém três atributos: o nível, que é o valor numérico do índice digitado; o conceito, que é o rótulo do conjunto difuso; e o grau de pertinência, que associa o nível ao conjunto difuso. Desta forma, o sistema atribui valores a dois atributos deste objeto índice - ao rótulo e ao grau. O objeto índice grau de imobilização tem o atributo rótulo com valor *Bom* e o atributo grau com valor 0.280175.

Com a execução desta função, os índices são identificados não mais por seu nível, mas pelo par de atributos rótulo e grau. Ou, simplesmente, por um conceito difuso. O conceito difuso que apresenta características similares a uma variável difusa fica caracterizado pela tripla (X,U,R) , conforme seção 2.3.5. X representa o nome ou rótulo da variável; U é o universo; R representa o conjunto difuso.

Por conveniência, adotamos a representação (X,R) . A idéia de suprimir o universo surge do fato deste ser o mesmo para todos os conjuntos que serão tratados, $([0,\infty])$. X permanece como o rótulo do conjunto difuso e R será simplificado no grau que resulta da função de pertinência. A representação do grau de imobilização fica (*Bom*,0.280175).

O que denominamos conceito difuso é o par de atributos que qualifica os objetos índices: rótulo e grau. A analogia feita do conceito difuso com a variável difusa deve-se ao fato da origem de ambas ser a mesma, exceto por um detalhe: a definição de variável difusa envolve um conjunto difuso originário de uma restrição difusa no universo de discurso U . No presente trabalho, o conceito difuso caracteriza-se por variáveis difusas oriundas de conjuntos difusos que se originam de intervalos limitados por restrições não difusas.

Lembramos que a aplicação da TCD prevê apenas o tratamento da imprecisão identificada no raciocínio dos especialistas humanos, portanto mantêm-se os intervalos rígidos utilizados pelos analistas com relação aos conceitos para os índices. Os conjuntos difusos tratam apenas a imprecisão contida dentro destes intervalos.

Por esta razão, as funções de pertinência que constituem os conjuntos difusos aqui criados não são consequência de restrições difusas, mas de seu significado e sua utilização. O significado do conjunto difuso é um dos aspectos que ajuda a definir sua função de pertinência. O outro aspecto é a utilização do conjunto difuso. Ambos aspectos considerados na definição das funções de pertinência são abordados na seção a seguir.

O sistema em questão foi estruturado para utilizar um quadro com intervalos de conceitos para indicadores diferenciado para cada segmento de indústria, devido à própria diferença de estrutura contábil dos mesmos. O SENACRE, em sua versão demonstrativa, tem a opção de segmento de indústria da construção civil para utilizar o quadro associado ao segmento do cliente.

Para cada segmento de indústria são necessários que se definam trinta e seis (36) funções para a representação dos conjuntos difusos que representam os índices do balanço. São dois indicadores de estrutura, três de liquidez e quatro de rentabilidade, perfazendo o total de nove índices. Cada índice é representado por quatro conjuntos difusos, cujos rótulos são: *Bom*, *Satisfatório*, *Regular* e *Insuficiente*.

3.5.3 A Criação dos Conjuntos Difusos

A criação de um conjunto difuso, como já mencionado no capítulo 2, é uma tarefa de responsabilidade de seu criador, neste caso o engenheiro do

conhecimento, e tem como exigência fundamental sua fidelidade com relação ao conjunto real permitindo coerência e consistência de sua aplicação dentro da TCD.

Ao criar conjuntos difusos que representem os índices, observa-se que alguns índices representam uma situação melhor da empresa quanto mais alto for seu valor numérico, isto acontece com os índices de liquidez e de rentabilidade. Já para os índices de estrutura, seus níveis serão melhores quanto mais baixos os seus valores numéricos.

Através do processo de aquisição de conhecimento observou-se claramente que os conceitos associados aos índices dividem-se em dois grupos opostos. *Bom* e *Satisfatório* são os conceitos com significados positivos no que tange à imagem da empresa. *Regular* e *Insuficiente* são os conceitos negativos. O termo positivo, no presente contexto, pretende denotar que quanto mais positivo for o conceito conclusivo do cliente, maior será o seu crédito. Isto nos faz concluir que se as funções de pertinência dos conjuntos difusos *Bom* e *Satisfatório* forem funções crescentes, conseqüentemente, as funções de pertinência dos conjuntos difusos *Regular* e *Insuficiente* serão decrescentes.

Quanto à forma, constata-se primeiramente que as funções de pertinência dos conjuntos difusos associados aos conceitos dos índices são retas. A razão para a utilização de retas reside no fato de que não há nenhum valor numérico ou faixa de valores, dentro do intervalo, com algo que se distingua dos demais. Isto exige uma proporcionalidade que é propriedade somente das retas.

Em segundo lugar, examina-se que tipo de retas podem melhor representar os conjuntos. Uma função triângulo parece adequada na medida em que coloca a altura do conjunto difuso exatamente no ponto médio dos elementos, fazendo com que, por exemplo, um elemento de um conjunto *Satisfatório*, seja mais satisfatório quanto mais afastado estiver dos outros conjuntos.

Os conjuntos difusos são construídos a partir dos subconjuntos do universo de cada índice. Isto torna claro que os conjuntos têm o significado intrínseco de continuidade. Mesmo não havendo interseção entre os intervalos. Temos um intervalo global crescente, p. exemplo, $[0, \infty)$, e subdivisões deste intervalo que seguem respectivamente os conceitos *Insuficiente*, *Regular*, *Satisfatório* e *Bom*. Um elemento que esteja no intervalo *Satisfatório* deve ter um comportamento de proporcionalidade quanto a seu grau de pertinência. Quanto mais próximo estiver do intervalo do conceito *Bom*, maior será seu grau de pertinência. Este raciocínio rejeita a idéia da função triângulo em favor de uma simples reta.

As figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 mostram os gráficos dos quatro conjuntos difusos para o índice de Grau de Imobilização.

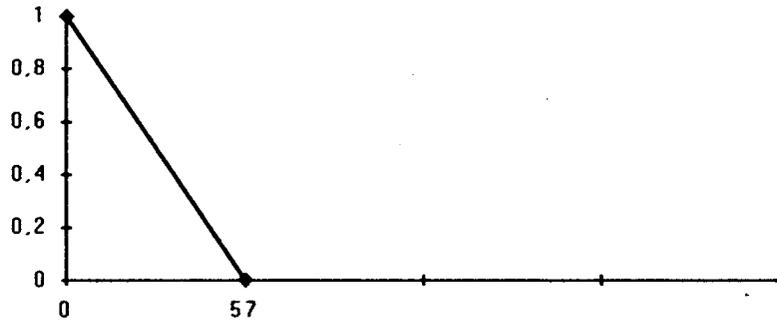


Figura 3.5 - Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo *Bom*

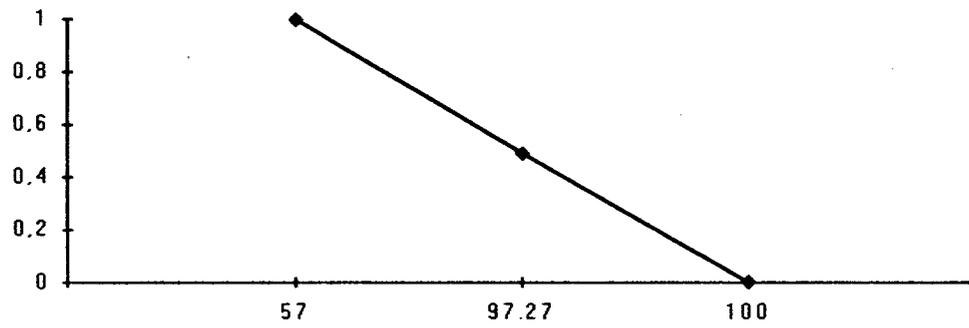


Figura 3.6 - Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo *Satisfatório*

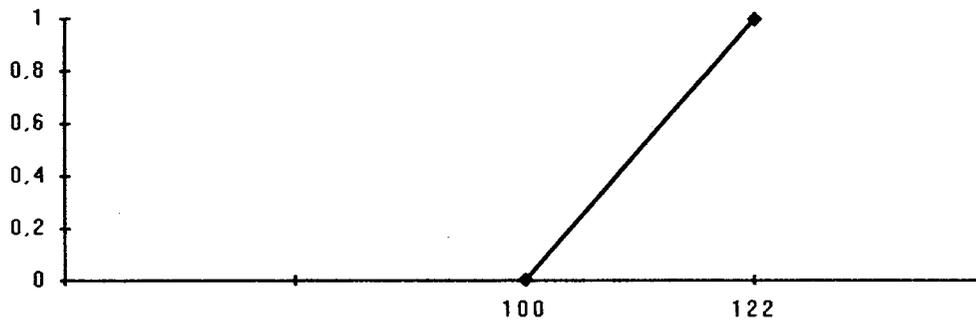


Figura 3.7 - Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo *Regular*

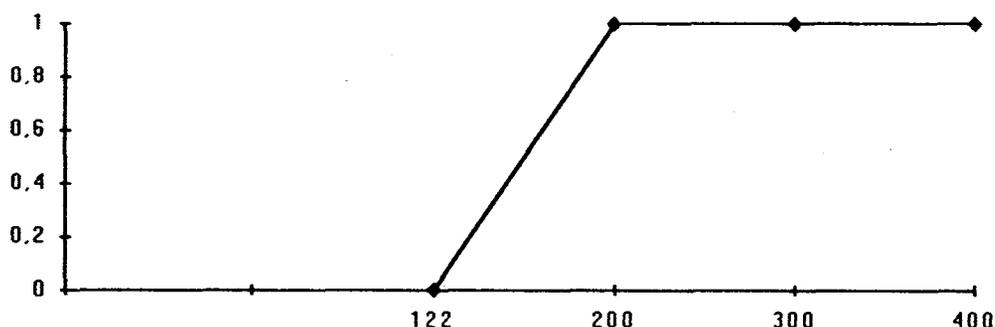


Figura 3.8 - Representação gráfica da função de pertinência do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo *Insuficiente*

O quadro 3.4 apresenta as fórmulas que representam as funções de pertinência dos conjuntos difusos.

QUADRO 3.4

Fórmulas que representam as funções de pertinência para os conjuntos difusos associados aos demais indicadores.

indicador	Bom	Satisfatório	Regular	Insuficiente
part.cap.3os	$\mu(x)=1-(x/21)$	$\mu(x)=1-(x-22)/51$	$\mu(x)=(x-74)/37$	$\mu(x)=(x-112)/88$ $\mu=1, x>200$
grau imobilização	$\mu(x)=1-(x/57)$	$\mu=1-(x-58)/42$	$\mu(x)=(x-101)/21$	$\mu(x)=(x-123)/77$ $\mu(x)=1$
liquidez geral	$\mu(x)=(x-1.66)/0.84$ $\mu=1, x>2.5$	$\mu(x)=(x-0.86)/0.8$	$\mu(x)=1-(x-0.55)/0.3$	$\mu(x)=1-(x/0.54)$
liq. corrente	$\mu(x)=(x-1.8)/0.7$ $\mu=1, x>2.5$	$\mu(x)=(x-1.2)/0.59$	$\mu(x)=1-(x-0.77)/0.42$	$\mu(x)=1-(x/0.76)$
liquidez seca	$\mu(x)=(x-1.39)/1.11$ $\mu=1, x>2.5$	$\mu(x)=(x-0.69)/0.69$	$\mu(x)=1-(x-0.39)/0.29$	$\mu(x)=1-(x/0.38)$
giro do ativo	$\mu(x)=(x-0.88)/0.62$ $\mu=1, x>1.5$	$\mu(x)=(x-0.71)/0.16$	$\mu(x)=1-(x-0.32)/0.38$	$\mu(x)=1-(x/0.31)$
rent vendas	$\mu(x)=(x-10.61)/9.39$ $\mu=1, x>20$	$\mu(x)=(x-5.01)/5.59$	$\mu(x)=1-(x-1.09)/3.91$	$\mu(x)=1-(x/1.08)$
rent ativo	$\mu(x)=(x-12.81)/12.19$ $\mu=1, x>25$	$\mu(x)=(x-4.36)/8.44$	$\mu(x)=1-(x-1.79)/2.56$	$\mu(x)=1-(x/1.78)$
rent pl médio	$\mu(x)=(x-23.71)/26.29$ $\mu=1, x>50$	$\mu(x)=(x-10.10)/13.6$	$\mu(x)=1-(x-6.01)/4.08$	$\mu(x)=1-(x/6)$

3.5.4 A Composição dos Conjuntos Difusos

Até aqui foi apresentado como usar os conjuntos difusos para representar o conhecimento impreciso. Agora apresentamos os tratamentos dados a estes conjuntos a fim de realizar inferências e prosseguir no caminho do processo de raciocínio do especialista.

Como descrito na seção 3.4, o raciocínio segue no sentido de obter conceitos conclusivos para as classes *pareceres*, *situação* e *faturamento*, a fim de buscar uma diretiva de comportamento para a conclusão final. A classe *pareceres* permanece com conceito não difuso.

A classe *situação* ,(conforme seção 3.5.2), a partir da entrada de dados, recebe conceitos difusos para os nove índices em análise. Estes índices são agrupados em conceitos gerais para os objetos indicadores de estrutura, indicadores de liquidez e indicadores de rentabilidade. Para obtenção destes índices gerais criam-se novos conceitos difusos. Os conjuntos difusos iniciais serão compostos e seus conceitos difusos serão mapeados neste novo conceito difuso geral.

No exemplo citado na seção anterior, o grau de imobilização foi representado em termos de uma variável difusa porque originou-se do conjunto difuso grau de imobilização de rótulo *Bom* , representado por (B,0.280175) que é apenas um conceito difuso. Este conceito é composto com o conceito difuso participação de capital de terceiros, representado por (S,0.286363). Desta composição obtém-se o conceito geral para o objeto indicadores de estrutura que é igualmente um conceito difuso. O objeto indicadores de estrutura não tem associado a ele nenhum conjunto difuso, dado que não há elementos como níveis numéricos que representem um domínio. O conceito difuso geral procura manter o caráter difuso dos conceitos difusos que o originam.

A exemplo dos conceitos difusos iniciais que representam os índices, os conceitos difusos gerais, que representam resumos dos índices, são igualmente representados por uma dupla (C,G). C é o rótulo oriundo da composição dos rótulos dos conjuntos difusos iniciais. G é o grau de pertinência que indica a intensidade do conceito difuso, também resultado da composição dos graus de pertinência dos conjuntos difusos iniciais.

Compor conjuntos difusos significa obter um conjunto difuso a partir de dois ou mais conjuntos difusos iniciais. No presente trabalho compõe-se conjuntos difusos como conceitos difusos; obtendo-se, por conseguinte, um conceito difuso como resultado. O aspecto mais importante a ser lembrado trata-se de como esta composição é abordada pelos especialistas humanos. Do processo de aquisição de conhecimento, observou-se dois pontos.

O primeiro refere-se ao fato de que não há diferença alguma de importância entre os índices iniciais a serem compostos - diferenças de importância já foram consideradas na definição dos intervalos dos conceitos como, por exemplo, no caso da liquidez seca que passa para conceitos melhores a partir de níveis numéricos mais baixos devido a sua característica de liquidez independente do ciclo dos estoques. Como referência para análise de índices, ver [GIT84].

O segundo ponto a considerar consiste em tentar obter o resultado obtido pelo especialista humano, como fica expresso numa frase frequentemente ouvida na etapa de aquisição do conhecimento:

- Se a participação de terceiros tem conceito bom e a imobilização é regular, então o nível dos indicadores de estrutura é satisfatório. Esta frase dá a idéia clara de média.

Trata-se médias em conjuntos difusos de acordo com o que se viu na revisão bibliográfica, item 2.2.7, onde há uma proposta de cálculo de média para um conjunto difuso, enquanto pretende-se obter a média de dois conjuntos difusos. Mesmo assim, a proposta descrita sugere a utilização da média dos graus de pertinência.

Por outro lado, entende-se média simples como uma medida de tendência central que soma volumes e divide esta soma pelo número de parcelas somadas. O conceito mais próximo ao volume de um conjunto difuso é sua cardinalidade. Como descrito na seção 2.2.4, a TCD descreve somente uma cardinalidade em termos de um número: a cardinalidade escalar, que é igualmente a soma dos graus de pertinência de um conjunto difuso. Estendemos estes conceitos e idéias no sentido de utilizarmos sempre a média simples dos graus de pertinência dos dois conjuntos difusos iniciais para obter o grau de pertinência do conceito difuso composto.

No exemplo da composição dos conceitos difusos grau de imobilização e participação de capital de terceiros, a média simples dos graus de pertinência resulta no valor 0.283269.

Para dois conjuntos difusos definidos num mesmo rótulo, o conceito difuso composto apenas mantém este rótulo.

Quando os conjuntos difusos a serem compostos não estão definidos no mesmo rótulo pode-se fazer o mapeamento destes rótulos num só. Esta idéia fracassa pelas propriedades dos conjuntos iniciais. Os conjuntos não têm interseção e, apesar de terem uma propriedade de continuidade sobre o universo de discurso, os conjuntos têm comportamentos opostos. A outra maneira, que se mostrou bastante eficiente na aplicação prática, é tomar a média dos rótulos conforme os especialistas humanos. Se os conjuntos a serem compostos estão associados aos rótulos *Bom* e *Regular*, o rótulo da composição é *Satisfatório*. Se os rótulos forem *Satisfatório* e *Insuficiente*, o rótulo da composição será *Regular*. Para as composições de conjuntos difusos em que os rótulos originam-se de subconjuntos adjacentes do universo de discurso, a composição manterá o rótulo do conjunto que apresentar o grau de pertinência máximo. No exemplo do conceito difuso geral para indicadores de estrutura, os rótulos dos conceitos compostos são adjacentes, *Bom* e *Satisfatório*. O grau de pertinência máximo é encontrado no conceito difuso de participação de capital de terceiros. O conceito difuso para indicadores de estrutura é , então, representado pela dupla (*Satisfatório*,0.283269).

Quando é necessário gerar conceitos difusos gerais a partir de mais de dois conjuntos difusos, as composições serão feitas duas a duas. Isto ocorre na geração dos conceitos difusos gerais para índices de liquidez e de rentabilidade.

A geração do conceito difuso conclusivo para a classe *faturamentos* não utiliza composições. O conceito terá atribuído um conceito que varia seu grau de pertinência em função de outros valores dados no sistema. Uma das características de uma classe faturamentos com conceito *Bom* e grau de pertinência alto (próximo de um) é ser o valor da média do faturamento dos últimos meses muito superior ao montante de crédito solicitado pelo cliente. Mais precisamente na colocação muito superior é que reside a imprecisão que é medida pelo grau de pertinência deste conceito.

3.5.5 Outras Composições

Ao concluir o processo de geração dos conceitos difusos gerais para os índices de liquidez, estrutura e rentabilidade, torna-se necessário gerar um outro conceito difuso que sintetize estes três conceitos, denominado resumo dos índices. Este conceito difuso ainda é composto com o outro objeto da classe situação que é o questionário, que também é representado por um conceito difuso.

A composição do conceito difuso resumo dos índices com o conceito difuso questionário gera o conceito difuso conclusivo da classe *situação*. Esta composição difere bastante das composições anteriores.

Retomando a aquisição de conhecimento, observa-se que o conceito difuso para o objeto questionário não tem relevância suficiente para alterar o conceito da classe *situação*, mas apenas para alterar o grau de pertinência deste conceito difuso. Numa composição entre um conceito para o objeto questionário com valor (Insuficiente,0.90) e um conceito para situação (Bom,0.95), resultaria um conceito conclusivo (Bom,0.05). Além disso, entende-se que quanto mais importante for o conceito do questionário mais ele afetará o conceito conclusivo.

A fim de preencher estes dois requisitos observados na aquisição de conhecimento, estabelece-se que o conceito conclusivo mantém o mesmo rótulo do conceito difuso resumo dos índices e seu grau de pertinência será obtido da soma ou da diferença limitada dos graus de pertinência dos dois conceitos que geram a composição.

Para finalizar, observa-se ainda que se o rótulo do conceito difuso do questionário é *Bom* ou *Insuficiente*, ou seja, um dos extremos. Neste caso, basta realizar a soma ou diferença limitada conforme os casos descritos no quadro 3. Se o rótulo do conceito difuso para o questionário for *Satisfatório* ou *Regular*, significa que o conceito não é tão importante assim e, portanto, não deve interferir com o mesmo peso que os rótulos extremos. Nestes casos, o grau de pertinência é dividido por dois antes da operação de soma ou diferença limitada.

Quadro 3.5

Operações de soma limitada e diferença limitada

conceito difuso resumo dos índices	conceito difuso para questionário	tipo de operação
Bom	Bom	soma
Satisfatório	Bom	soma
Regular	Bom	diferença
Insuficiente	Bom	diferença
Bom	Insuficiente	diferença
Satisfatório	Insuficiente	diferença
Regular	Insuficiente	soma
Insuficiente	Insuficiente	soma

3.5.6 A Liberação Através dos Conjuntos Difusos

O sistema chega na etapa em que já tem atribuídos os valores para os conceitos difusos conclusivos das classes *situação* e *faturamento*, bem como o conceito conclusivo não difuso da classe *pareceres*.

A fim de uniformizar a operação, trata-se o conceito conclusivo não difuso da classe *pareceres* como um conceito difuso com grau de pertinência 1. A composição destes três conceitos gera o objeto Parecer final.

Parecer final é um objeto representado por um conceito difuso que volta a ser caracterizado plenamente por um conjunto difuso. A partir do conceito difuso parecer final é feito um mapeamento para valores que representam a atribuição de crédito associada a cada rótulo. Estes valores são multiplicados pelo montante de crédito solicitado, o que resulta no crédito a ser liberado.

Conforme observado na aquisição de conhecimento, seção 3.4.1, há quatro tendências diferenciadas de níveis de liberação a partir do valor solicitado. Cada rótulo é mapeado como um conjunto difuso no sentido de inferir fatores de multiplicação para cada intervalo associado a cada rótulo. Como exemplo, cita-se o rótulo *Bom* que está associado à tendência de liberação máxima. A representação gráfica do conjunto difuso fica conforme figura 3.9. Se o atributo grau de pertinência do conceito difuso Parecer Final é 0.5, por exemplo, o atributo nível será 2.005, e este será o fator a ser multiplicado pelo crédito solicitado a fim de resultar o crédito a ser liberado.

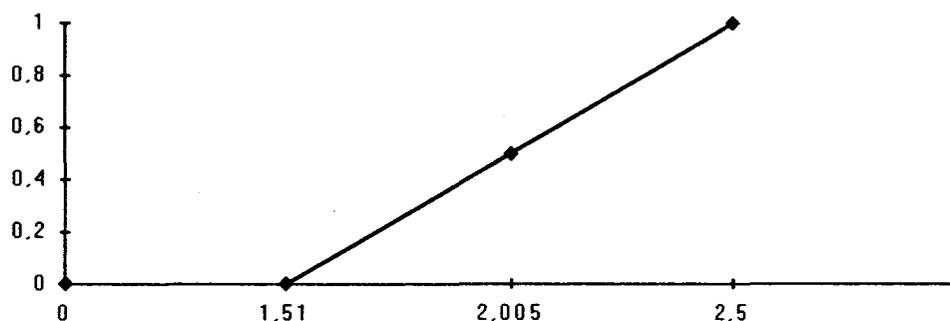


Figura 3.9 - Representação gráfica do conjunto difuso associado ao objeto *Parecer Final* de rótulo *Bom*

3.6 CONCLUSÕES DA IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do SENACRE atingiu seus objetivos. É um sistema baseado em conhecimento que acumula muita quantidade de conhecimento em uma área específica, sendo portanto, capaz de desempenhar a tarefa de análise de crédito, conforme os especialistas humanos.

Quanto à classificação apresentada em [HAL86], o SENACRE ainda não pode ser enquadrado, por ainda ser um protótipo, mas os elementos que o envolvem o colocam como candidato à classe um.

Além disso, é oportuno lembrar que o presente sistema foi desenvolvido para ser aplicado exclusivamente na instituição financeira onde foi feita a aquisição de conhecimento. Para ser implementado em outras instituições, nova etapa de aquisição seria necessária.

O SENACRE é um protótipo de um sistema especialista que, apesar de já apresentar resultados excelentes, ainda necessita de aprimoramento que será alcançado na próxima fase onde serão feitos testes definitivos de verificação de confiabilidade e onde serão revisadas regras e outros itens tais como representação e justificativa.

A etapa de aquisição de conhecimento consiste em uma tarefa de caráter interdisciplinar, pois para uma aquisição bem sucedida é necessário aplicar conceitos da Psicologia. Com a experiência proporcionada pelo exercício da Engenharia do Conhecimento, espera-se contribuir com a área cognitiva. Um grande número de SEs estatisticamente comprovados eficientes podem provar hipóteses sobre aquisição de conhecimento. Esta idéia é compartilhada por expoentes como Robert R. Hoffman que cita o "paradoxo do especialista", [HOF87] como um exemplo de hipótese que as pesquisas com SEs podem ajudar a resolver.

Da experiência obtida com o processo de aquisição de conhecimento no desenvolvimento do SENACRE, originaram-se algumas considerações. Lembramos que estas considerações só são pertinentes para áreas de conhecimento em que os especialistas interajam diariamente.

A primeira consideração refere-se aos aspectos de que as entrevistas devem ser feitas com o maior número possível de especialistas, não só para agregar um conhecimento mais completo, mas para que o engenheiro do conhecimento possa delinear a estrutura do domínio do problema a partir dos pontos comuns nos raciocínios destes especialistas.

A ordem das entrevistas deverá surgir naturalmente, assim como o início das mesmas. Para o início da aplicação das entrevistas estruturadas, propõe-se que o engenheiro do conhecimento proceda com uma etapa inicial de observação

aos especialistas até que parta de algum deles a iniciativa de expor algo sobre seu trabalho.

Realizar entrevistas de curta duração, e somente uma por dia, tem por objetivo dar tempo ao engenheiro do conhecimento de tomar nota do máximo de informações possíveis sobre o que observou do especialista sem provocar a curiosidade do especialista com relação a exatamente o quê o engenheiro está observando.

Todo o especialista deve ser entrevistado várias vezes, até que o engenheiro do conhecimento certifique-se da uniformidade do processo de raciocínio do mesmo.

Ao se tratar de um grupo de profissionais que interagem diariamente, há de se levar em consideração que o prestígio dos especialistas pode ser abalado, assim todos os especialistas devem ser entrevistados exatamente o mesmo número de vezes.

Os SEs exclusivamente baseados em regras têm em seu número de regras de produção, uma medida. O sistema em questão, por ser um sistema híbrido, não apresenta tal característica. As regras de produção utilizadas no SENACRE são apenas 39, os métodos são 69 e são aplicadas 48 funções, muitas delas com passagem de argumentos, que são usadas diversas vezes, o que torna estas informações ainda menos relevantes.

As outras etapas e tarefas que envolvem o desenvolvimento de um SE, de caráter bem mais objetivo, estão mais claramente apresentadas no capítulo de Aplicação.

O SE aqui desenvolvido tornou-se capaz de executar o objetivo de resolver o problema da análise de crédito agregando a mesma imprecisão identificada no raciocínio dos especialistas humanos, ao utilizar a TCD como ferramenta para tratamento da imprecisão. Isto nos leva a concluir que a TCD é realmente uma ferramenta eficaz para o tratamento da imprecisão.

A implementação do SENACRE foi plenamente satisfatória, como pode ser constatado através do exemplo apresentado no capítulo seguinte.

4 APLICAÇÃO

4.1 INTRODUÇÃO

A forma escolhida para apresentar uma aplicação do SENACRE foi através de um exemplo real de uma empresa cliente da instituição financeira onde foi realizada a pesquisa.

Dados confidenciais da empresa cliente são preservados. Apenas apresenta-se a empresa como sendo do segmento de atividade para o qual o sistema fora designado.

A apresentação do exemplo seguirá a lógica de utilização do SENACRE, ou seja, serão apresentadas figuras copiadas da tela do sistema submetido ao exemplo em questão. Além disto, a seção Inferências apresenta como , no exemplo, o sistema conduziu o raciocínio na direção da conclusão. Assim, inicia-se a apresentação com a janela *principal* do SENACRE, conforme figura 4.1, a seguir.

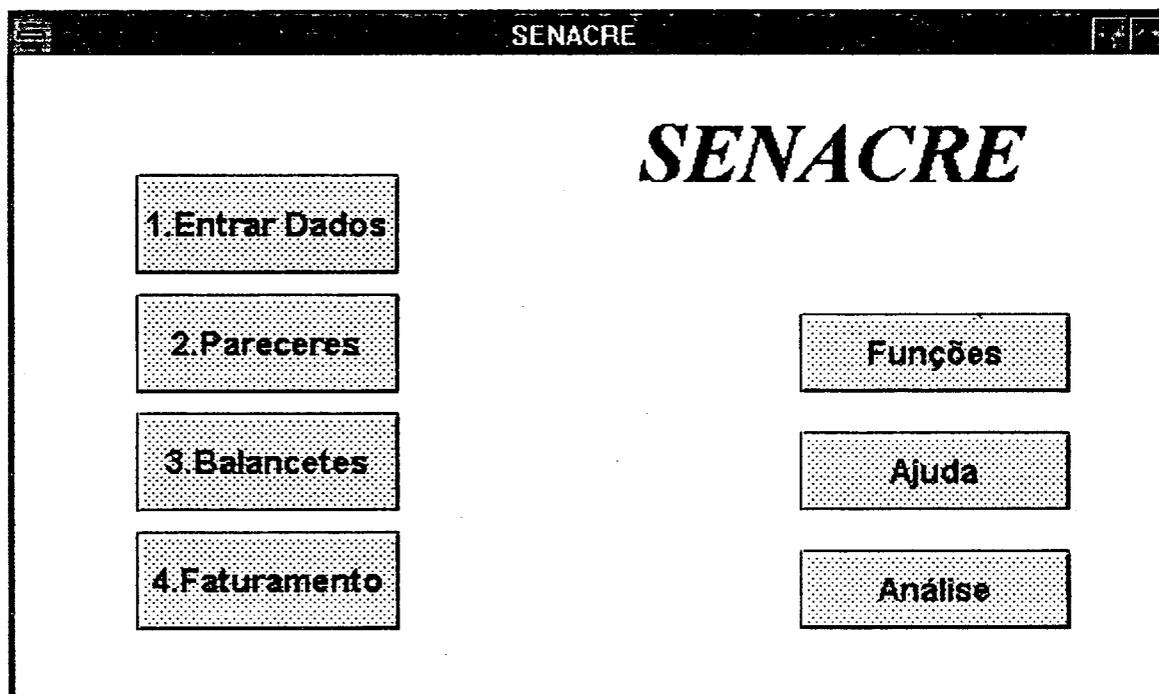


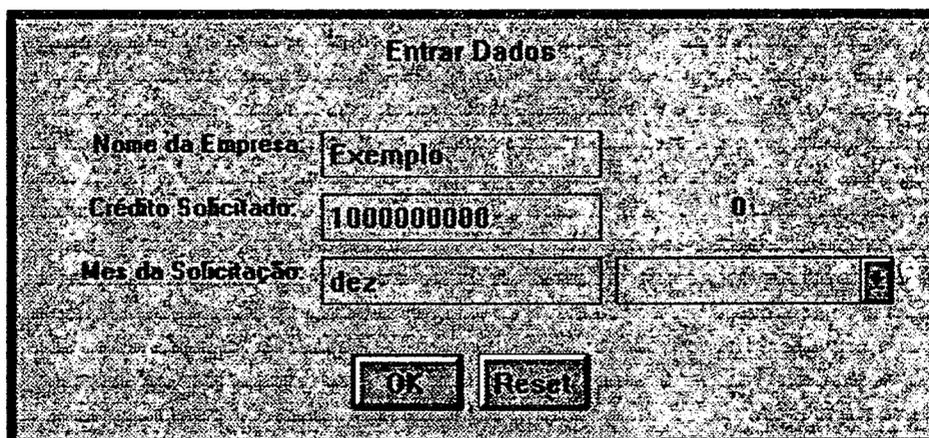
Figura 4.1 - Janela principal do SENACRE

Como a própria disposição dos botões sugere, o primeiro botão a ser pressionado para a execução do programa é o botão *Entrar Dados*.

4.2 ENTRADA DE DADOS

A entrada de dados no SENACRE está disposta nos quatro botões numerados conforme já mencionado na seção 3.4.5 sobre a interface. Apresentamos esta entrada de dados resumidamente, abrangendo apenas o necessário para um bom entendimento do exemplo.

A empresa cliente tem o nome de exemplo e sua solicitação de crédito, feita no mês de dezembro de 1992, é de CR\$ 1.000.000.000,00 (hum bilhão de cruzeiros), conforme figura 4.2.



Entrar Dados

Nome da Empresa: Exemplo

Crédito Solicitado: 1.000.000.000 01

Mes da Solicitação: dez

OK Reset

Figura 4.2 - Janela de entrada de dados

O botão *Pareceres* aciona menus de opções sobre pareceres. No exemplo, todos os pareceres foram favoráveis à liberação do crédito solicitado.

O botão *Balancetes* gera o surgimento de uma série de janelas onde são informados dados sobre a empresa solicitante, conforme figuras 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7.

Passivo Circulante

Fornecedores:	9205697447
Empréstimos Diversos:	386235363
Total do Passivo Circulante:	9591932810

OK Reset

Figura 4.3 - Janela do passivo circulante

Patrimônio Líquido

Total do Patrimônio Líquido:	7088558304
------------------------------	------------

OK Reset

Figura 4.4 - Janela do patrimônio líquido

Indicadores de Estrutura

Grau de Participação de Capital de Terceiros:	137,2
Grau de Imobilização:	41,03

OK Reset

Figura 4.5 - Janela dos indicadores de estrutura

Indicadores de Liquidez

Liquidez Geral :	1.43
Liquidez Corrente :	1.45
Liquidez Seca :	0.83

OK Reset

Figura 4.6 - Janela dos indicadores de liquidez

Indicadores de Rentabilidade

Giro do Ativo :	0.4
Rentabilidade das Vendas :	55.98
Rentabilidade do Ativo :	22.35
Rentabilidade do Patrimônio Líquido Médio :	63.43

OK Reset

Figura 4.7 - Janela dos indicadores de rentabilidade

A partir dos dados constantes das figuras acima, o processo de raciocínio do SENACRE se desenvolve através de um motor de inferência principal e alguns secundários, conforme tratados na próxima seção.

4.3 INFERÊNCIAS

A decisão quanto ao motor de inferência para o SENACRE, conforme já mencionado na seção 3.4.3 é de um encadeamento para frente, dado que há uma busca de uma solução final a partir de várias informações.

4.3.1 Encadeamento Para Frente

No desenvolvimento do motor de inferência do SENACRE, o encadeamento para frente ocorre a partir dos dados apresentados na seção anterior e são conduzidos na busca da conclusão.

Esta condução dos dados se dá através de sucessivas valorações dos atributos dos objetos que constituem a estrutura do universo do conhecimento.

No exemplo em questão, o motor de inferência é executado através da atribuição de valores a atributos difusos, como demonstrado no quadro 4.1:

Quadro 4.1
Atributos da classe situação

objeto	nível	conceito difuso
participação terceiros	137.2	S,0.286363
grau imobilização	41.03	B,0.280175
ind. estrutura		S,0.283269
liquidez geral	1.43	S,0.712500
liquidez corrente	1.45	S,0.423728
liquidez seca	0.83	S,0.202898
ind liquidez		S,0.385506
giro do ativo	0.40	R,0.789473
rentab vendas	55.98	B,1
rentab ativo	22.35	B,0.782608
rentab pl médio	63.43	B,1
ind. rentab		S,0.89302059

Quadro 4.2
Resumos das classes

objeto	conceito difuso
classe situação	S,1
classe pareceres	S,1
classe faturamentos	R,0.322033

Quadro 4.3
Objetos conclusivos

objeto	nível	conceito difuso
Parecer final		S,1
Liberar	1.414	S,0.82798125
Valor autorizado		1.400.000.000,00

4.3.2 Encadeamento para Trás

Alguns motores de inferência secundários foram incluídos no processo de raciocínio no intuito de confirmar informações e chegar a conclusões.

Um dos encadeamentos para trás presentes no SENACRE verifica qual o conceito dos indicadores de rentabilidade. Se este conceito for um dos extremos, *Insuficiente* ou *Bom*, o encadeamento para trás será disparado no para buscar a origem deste conceito. A busca verifica se o resultado final do exercício é inferior ao operacional para caracterizar um resultado escritural ou decorrente de capacidade administrativa. Apesar do exemplo não apresentar conceito extremo, podemos observar que não houve aumento no resultado final a partir do resultado operacional, conforme mostra figura 4.8.

The image shows a software window with a title bar that reads "Demonstração do Resultado do Exercício". Inside the window, there are three rows of data, each with a label on the left and a numerical value in a rectangular box on the right. The first row is "Receita Bruta" with the value "6713493700". The second row is "Resultado Operacional" with the value "5234400360". The third row is "Resultado do Exercício" with the value "3758394850". At the bottom of the window, there are two buttons: "OK" and "Reset".

Item	Valor
Receita Bruta	6713493700
Resultado Operacional	5234400360
Resultado do Exercício	3758394850

Figura 4.8 - Demonstração do resultado do exercício

4.4 RESULTADOS

Os resultados demonstrados nos quadros da seção anterior são visualizados pelo usuário do sistema através da janela análise, chamada pressionando-se o botão Análise na janela principal, conforme já mencionado na seção 3.4.5. A janela Análise é mostrada na figura 4.9

Nesta janela está o botão que aciona a análise, os botões que fornecem o resultado e a explicação.

O acionamento do botão *analisa* dispara o raciocínio, ou seja, o motor de inferência do SENACRE, (no presente exemplo, o tempo levado para sua execução foi inferior a 5 segundos).

No exemplo em questão, os botões Resultado e Explicação fazem surgir as janelas demonstradas nas figuras 4.10 e 4.11.

A janela pertinente à explicação apresenta um breve resumo da análise no intuito de explicar o caminho que o sistema seguiu. Este resumo menciona o

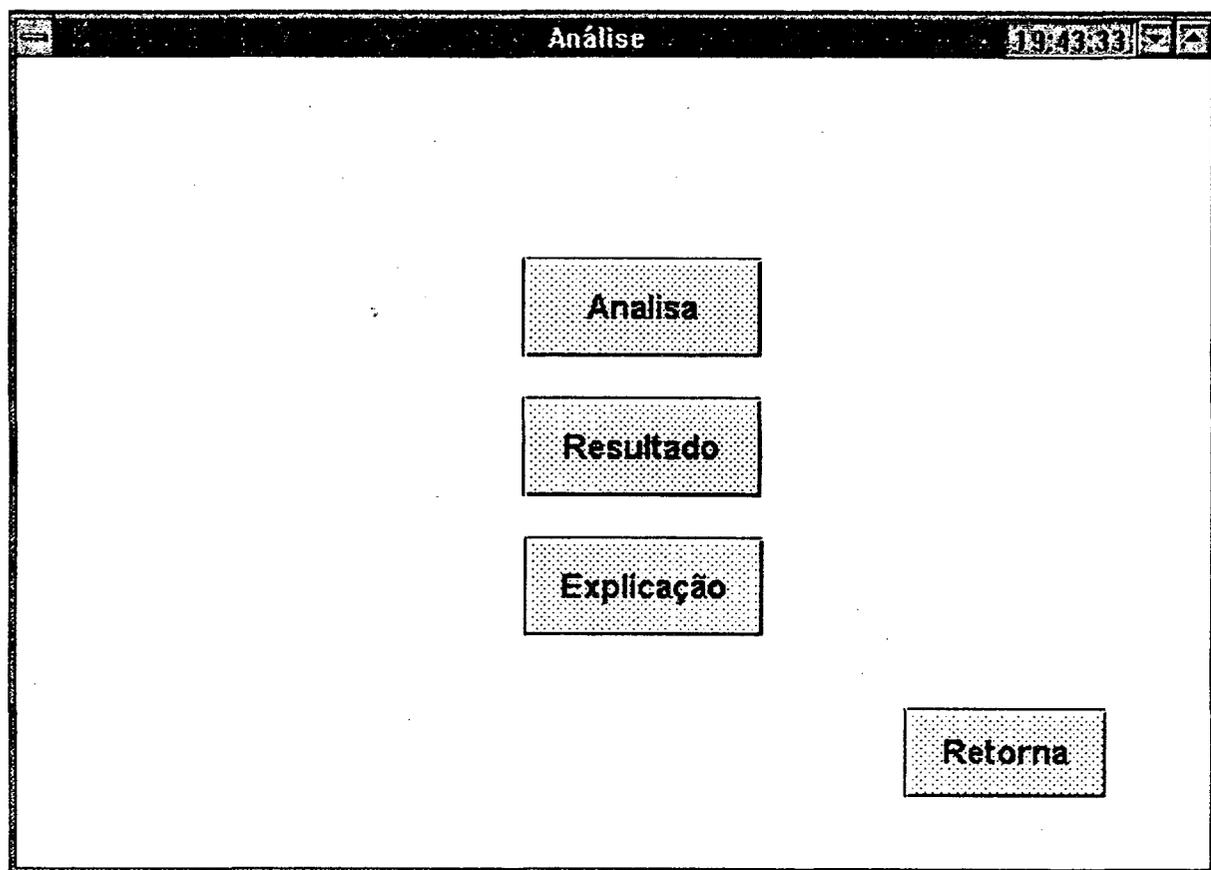


Figura 4.9 - Janela análise

desempenho global, que indica o conceito do objeto Parecer final; o panorama econômico-financeiro, que indica o conceito conclusivo da classe *situação* e da classe *faturamentos*, o seu conceito conclusivo.



Figura 4.10 - Janela de resultado



Figura 4.11 - Janela de Justificativa

4.4.2 Outros Exemplos

O desempenho do SENACRE foi testado em alguns outros exemplos conforme mostra o quadro 4.4, em cruzeiros. O quadro apresenta o montante de crédito solicitado pelo cliente e os valores atribuídos pelo especialista humano e pelo sistema.

Quadro 4.4 -Outros exemplos

Exemplo	Crédito solicitado	Crédito concedido especialista	Crédito concedido SENACRE	data
A	10.000.000.000	20.000.000.000	15.000.000.000	ago/93
B	5.000.000.000	6.000.000.000	5.830.000.000	jun/93
C	10.000.000.000	15.000.000.000	14.600.000.000	ago/93
D	4260000.000	500.000.000	600.000.000	ago/93
E	25.000.000.000	40.000.000.000	36.000.000.000	ago/93
F	1.000.000.000	1.500.000.000	1.400.000.000	nov/92

O exemplo A apresenta a maior distância entre os valores atribuídos pelo especialista e pelo sistema. Neste exemplo, o especialista humano aumentou o valor de crédito devido a uma visita "in loco". Isto significa dizer que, dentro das limitações da análise documental, o especialista humano havia atribuído um valor inferior, a exemplo do sistema.

Os valores foram transformados em dólares a fim de facilitar a visualização das variações. Os valores para os dólares utilizados foram: novembro de 1992, Cr\$ 9.046,84; junho de 1993, Cr\$ 48.106,40; e agosto de 1993, Cr\$ 82.735,00.

Os valores do crédito solicitado e créditos atribuídos pelo especialista humano e pelo sistema, já padronizados em dólares, estão apresentados no quadro 4.5 e estão representados graficamente na figura 4.12.

Quadro 4.5 - Valores dos exemplos em dólares

Exemplo	Crédito solicitado	Crédito concedido especialista	Crédito concedido SENACRE	Variação %
A	120867.83	241735.66	181301.75	-25
B	103936.27	124723.53	121189.70	-2.83
C	120867.83	181301.75	176,467.03	-2.66
D	51,489.70	6,043.39	7,252.07	20
E	302,169.58	483,471.32	435,124.19	-10
F	110,535.83	165,803.75	154,750.17	-6.66

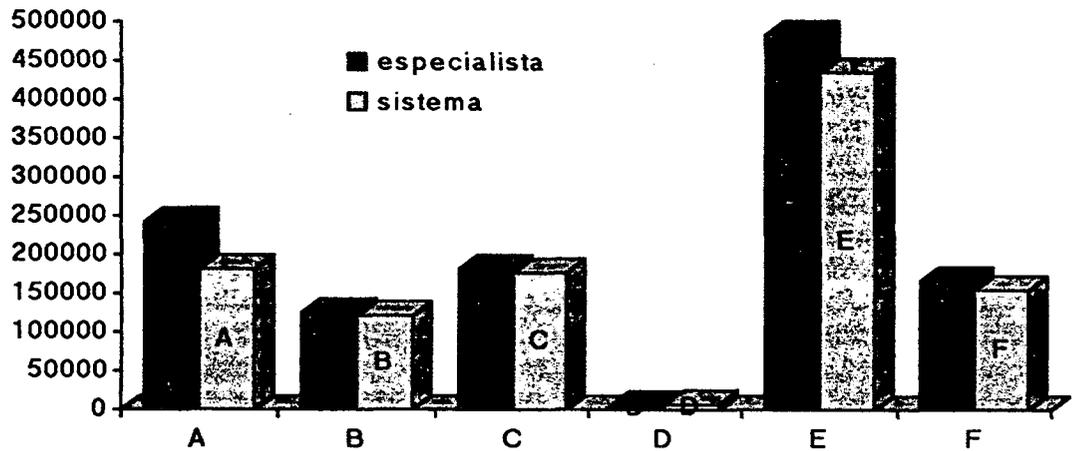


Figura 4.12 - Valores atribuídos pelo especialista e pelo sistema

4.5 CONCLUSÃO

O exemplo apresentado nesta seção corresponde a uma das muitas análises testadas com o SENACRE. Em todas as análises comparadas até o momento, o sistema se mostrou eficiente, indicando em sua conclusão um valor igual ou muito próximo do valor indicado pelos especialistas humanos.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Da proposta de apresentar um Sistema Especialista Difuso para Análise de Crédito, depreende-se três objetivos básicos:

- desenvolver um sistema especialista;
- que este SE seja difuso;
- e que este SE seja orientado para a tarefa de análise de crédito.

O sistema especialista modela a tarefa do especialista dentro do universo de conhecimento específico que se propõe. A capacidade de agregar o conhecimento e experiência de muitos especialistas ao mesmo tempo faz do SE uma ferramenta não só de racionalização operacional, como também de uniformização e controle dos procedimentos.

O SENACRE é realmente uma aplicação prática onde a TCD é usada como uma ferramenta muito eficiente para sustentar o objetivo fundamental dos SEs de atingir os mesmos resultados que os especialistas humanos perante determinado problema. A eficiência da utilização da TCD é sustentada pela impossibilidade de implementação do mesmo sistema capaz de atingir os mesmos objetivos com alguma outra metodologia, sem incorrerem em perda de rapidez e praticidade tanto de execução como de implementação.

O sistema SENACRE representa o conhecimento impreciso inerente ao raciocínio dos especialistas humanos, necessário para resolver problemas do mundo real, através de conjuntos difusos que conduz esta imprecisão até o resultado final em harmonia com o especialista humano.

Mais do que uma alternativa às modelagens matemáticas convencionais, a TCD mostra-se uma ferramenta própria para problemas mal definidos, complexos e imprecisos.

A tarefa de análise de crédito mostrou-se adequada à implementação de um sistema especialista, dada sua característica de ser bastante técnica e de atuar sobre um universo de conhecimento relativamente limitado. Além disto, demonstrou ser uma área cujos especialistas apresentam um perfil de comportamento que não traz grandes obstáculos para a execução da aquisição de conhecimento.

O SE aqui proposto, como já mencionado, se propõe a resolver problemas de análise de crédito conforme são resolvidos pelos analistas do BESC. O SENACRE, ainda em fase de maturação, só pode ser implementado na própria

instituição financeira onde foi feita a aquisição de conhecimento. A fim de aplicarmos o presente trabalho em outra instituição financeira, o processo de aquisição de conhecimento deve ser repetido.

As instituições bancárias, bem como a administração financeira de empresas públicas ou privadas oferecem um campo bastante adequado para aplicação de técnicas de IA, principalmente de sistemas especialistas difusos, como pode-se concluir na presente dissertação.

Este trabalho constitui um passo a mais no sentido de aprimorar a utilização das ferramentas computacionais buscando a evolução organizacional.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Na linha de utilização de técnicas que sejam capazes de simular o raciocínio humano individualizando o raciocínio simbólico do abstrato, a utilização de redes neurais é uma complementação recomendada para o trabalho apresentado. A utilização de redes neurais incrementa tanto o aspecto de aprendizagem do sistema especialista, como pode representar um dispositivo capaz de adaptar-se a novas realidades, além do aspecto da representação do conhecimento abstrato, exercido com o lado direito do cérebro.

Na linha de sistemas especialistas para análise de crédito, pode ser considerada a confecção de um sistema básico que agregue todos os elementos em comum tratados por diferentes instituições financeiras. A sugestão é proceder a uma análise orientada a objetos capaz de abordar o tema em toda a sua complexidade, garantindo a presença de todos os elementos possíveis de serem considerados em qualquer análise de pessoa jurídica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [BAR82] BARR, A., FEIGENBAUM, E. A.. The Handbook of artificial intelligence. Addison-Wesley, 1982.v. 2
- × [COR89] CORDINGLEY, E.S. Knowledge Elicitation Techniques for Knowledge-based Systems. In: DIAPER, D. Book knowledge elicitation - principles, techniques and applications, Chichester: John Wiley & Sons, 1989. p. 89-172
- × [DIA89] DIAPER, D. Knowledge elicitation - principles, techniques and applications. Chichester: John Wiley & Sons, 1989. p.96-97
- [DUB80] DUBOIS, D. , PRADE, H.. Fuzzy sets and systems: theory and applications. Academic Press, 1980.
- [DUT85] DUTTA, Amitava . Reasoning with imprecise knowledge in expert systems. Information Sciences , v. 37, n.1,p.3-24, 1985.
- [FER75] FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. Novo dicionário da língua portuguesa. Rio de Janeiro: Editora Nova Fronteira, 1975.
- [FIS87] FISCHLER, M.A. , FIRSCHEIN, O. Intelligence: the eye, the brain and the computer. Addison-Wesley, 1987 referência em [MOR92].
- [GAI85] GAINES, B.R. , SHAW, M.L.G.. Induction of inference rules for expert systems. Fuzzy Sets and Systems , North-Holland, v. 18, p. 315-318, 1985.
- [GIT84] GITMAN, L.J. Princípios de administração financeira. 3. ed. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1984. 781 p.
- [HAL86] HALL, Lawrence.O'Higgins , KANDEL, Abraham . Designing fuzzy expert systems. Verlag TÜV Rheinland, 1986.
- [HAY83] HAYES-ROTH, F., WATERMAN, D.A. , LENAT, D. B. - Building expert systems, Addison-Wesley, 1983 referência em [MOR92].
- [HOF87] HOFFMAN, R.R.. The Problem of extracting the knowledge of experts from the perspective of experimental psychology. AI Magazine, p. 53-67, 1987.

- [INT90] INTERRANTE, L.D. , BIEGEL, J.E.. Design of knowledge-based systems: matching representations with application requirements. Computers and Engineering, v. 19, n. 1-4, p. 92-96, 1990.
- [KAN86] KANDEL, Abraham. Fuzzy mathematical techniques with applications. Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- [KAU75] KAUFMANN, A. Introduction to theory of fuzzy sets. New York: Academic Press, 1973. v.1 referência em [PAC91].
- [LEU88] LEUNG, K.S. , LAM, W.. Fuzzy concepts in expert systems. Computer, p. 43-56, september 1988.
- [LEU89] LEUNG, K.S., LAM, W.. A Fuzzy expert system shell using both exact and inexact reasoning. Journal of Automated Reasoning, v.5, p. 207-233, 1989.
- [MOR92] MORALES, A.B.T.. Modelagem lingüística: alternativa na análise de processos complexos. Florianópolis: UFSC, 1992. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1992.
- X [MIN75] MINSKY, Marvin. A framework for representing knowledge. In: Winston P., (ed.) The Psychology of computer vision. McGraw-Hill, 1975 referência em [WAT86].
- [PAC91] PACHECO, Roberto C.S.. Tratamento de imprecisão em sistemas especialistas. Florianópolis: UFSC, 1991. 288 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 1991.
- [SHA89] SHADBOLT, W., BURTON, M. The empirical study of knowledge elicitation techniques. Sigart Newsletter, special issue on knowledge elicitation techniques, ACM Press, n. 108, p. 15-18, april 1989.
- X [WAT86] WATERMAN, D.A. A Guide to expert systems. Addison-Wesley Publishing Company, 1986.
- [ZAD62] ZADEH, L.A.. From Circuit theory to system theory. Proc. Institute of Radio Engineers, v.50, p. 856-865, 1962 referência em [GAI85] e [KAN86].
- [ZAD65] ZADEH, L.A.. Fuzzy Sets. Inform. and Control, v.8, p. 338-353, 1965 referência em [GAI85] e [KAN86].

- [ZAD71] ZADEH,L.A.. On fuzzy algorithms. California: Electron. Res. Lab., University of , Memo. M-325,1971, em [ZAD73].
- [ZAD73] ZADEH,L.A.. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, v. SMC-3, n. 1, p 28-44, january, 1973.
- [ZAD75a] ZADEH,L.A.. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part I. Informations Sciences, v. 8, p. 199-249, 1975.
- [ZAD75b] ZADEH,L.A.. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part II. Informations Sciences, v. 8, p. 301-357, 1975.
- [ZAD75c] ZADEH,L.A.. The Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part III. Informations Sciences, v. 9, p. 43-80, 1975.
- [ZAD83] ZADEH,L.A.. The Role of fuzzy logic in the management of uncertainty in expert systems. Fuzzy Sets and Systems , North-Holland, v. 11, p.199-227,1983.
- [ZIM85] ZIMMERMANN,Hans Jürgen. Fuzzy set theory and its applications. Kluwer-Nijhoff, 1985 referência em [MOR92].

BIBLIOGRAFIA

1. [LEV88] LEVINE, Robert I., Drang, Diane E., Edelson, Barry Inteligência artificial e sistemas especialistas. São Paulo: McGraw-Hill,1988.
2. [KER91] KERN,Vinicius Medina. Uma abordagem de inteligência artificial para o problema de programação da produção. Florianópolis: UFSC,1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina,1991.
3. [THE88] THE,Jessé S.M.L.N.. Um Sistema de treinamento para operadores de reservatórios baseado em técnicas de inteligência artificial. Florianópolis: UFSC,1988. 108 p.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina,1988.