

PROJETO BIOCAMP - UM AMBIENTE PARA SIMULAÇÃO DE TÉCNICAS DE BIOCOMPUTAÇÃO

CINTHYAN RENATA SACHS C. DE BARBOSA¹
VÂNIA M. FELIX DIAS²
MARCOS ANTÔNIO C. BATISTA³

BARBOSA, C.R.S.C. de; DIAS, V.M.R; BATISTA, M.A.C. Projeto Biocomp - Um ambiente para simulação de técnicas de biocomputação. *Semina: Ci. Exatas/Tecnol.* Londrina, v. 18/20, n. 4, p. 25-38, dez. 1997/1999.

RESUMO: *Este trabalho apresenta os resultados correntes do Projeto BIOCAMP. Este projeto tem por objetivo pesquisar os principais conceitos e aplicações das técnicas de biocomputação. O enfoque deste artigo é o SECAM, um Sistema Especialista para Diagnóstico de Câncer de Mama que auxilia médicos especialistas em oncologia mamária no diagnóstico de pacientes com possíveis indícios de possuir o Câncer de Mama.*

PALAVRAS-CHAVE: *biologia computacional; sistemas especialistas; inteligência artificial.*

1 INTRODUÇÃO

Muitas áreas da computação têm contribuído para o estudo da biologia. **Biologia Computacional** pode ser entendida no seu significado mais amplo como sendo a aplicação de técnicas e ferramentas da ciência da computação aos problemas de biologia (Meidanis & Setúbal, 1994), bem como criação/desenvolvimento de hardware e software com inspiração em sistemas biológicos (Ayrosa, 1992). Assim, o Projeto Biocomp teve como objetivo pesquisar os principais conceitos e aplicações das técnicas de biocomputação

Estudos na área de redes neurais (Ayrosa, 1992; Krose & Smagt, 1993; Souto & Oliveira, 1995), algoritmos genéticos (Goldberg, 1989; Esponda & Oliveira, 1995) e fractais (Mandelbrot, 1982; Peitgen & Saupe, 1992) foram feitos no início deste projeto. Por outro lado, Sistemas Especialistas também foram estudados com a finalidade de desenvolver um Sistema Especialista para Diagnóstico de Câncer de Mama, o SECAM, tendo como objetivo auxiliar médicos especialistas em oncologia mamária

no diagnóstico de pacientes com possíveis indícios de possuir o câncer de mama.

Sistemas Especialistas foram considerados na década de 80 um dos segmentos mais explorados das pesquisas de Inteligência Artificial (Michie, 1982; Hayes-Roth *et al.*, 1983; Shell, 1985; Jackson, 1986; Waterman, 1986; Carnota & Teszkiewicz, 1988); já no decênio subsequente, muitos outros interesses mostraram-se evidentes. Ainda assim, Sistemas Especialistas continuam a ser envolventes (Durkin, 1994; Oliveira, 1995a: Oliveira *era/.*, 1995; Rosa *et al.*, 1995; Pellegrini & Ojeda, 1996; Brasil, 1997).

Entende-se por Sistemas Especialistas (SEs), sistemas de Inteligência Artificial (IA) criados para resolver problemas em um determinado domínio de conhecimento. Um SE é um programa que se comporta como um consultor ou um conselheiro, assim não especialistas (e até mesmo especialistas) podem interrogar o sistema em busca de auxílio na obtenção de soluções para seus problemas e tomar decisões em sua área de domínio (Barbosa, 1992).

¹ Coordenadora do Projeto Biocomp.

² Autora do projeto.

³ Coordenador inicial do projeto e colaborador- Depto de Computação da Universidade Estadual de Londrina, Campus Universitário Londrina - Paraná - Brasil. CEP 86051-970 <cinthyan@uel.br; vania@uel.br; cassiolato@uel.br>

Atualmente, o Câncer de Mama é a neoplasia responsável pelo maior número de mortes e mutilações em mulheres no mundo todo. Sua incidência cresce constantemente nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), por volta do ano 2000* a taxa de mortalidade devido ao câncer de mama entre as mulheres dos países em desenvolvimento será maior do que as dos países desenvolvidos.

Somente no Brasil, aproximadamente 6000 mulheres morrem a cada ano com o câncer de mama. A cada 24 minutos é diagnosticado um novo caso de neoplasia mamária no país. Esta é a principal causa de morte entre as mulheres na faixa etária entre 35 a 54 anos.

Visto que o câncer mamário é responsável por um número significativo de mortes de milhares de pacientes em todo o mundo, o propósito deste trabalho é apresentar os passos iniciais necessários ao desenvolvimento de um sistema especialista de apoio ao diagnóstico médico de neoplasias mamárias.

Um diagnóstico precoce pode significar a preservação da mama, com bons resultados estéticos e, na maioria dos casos, alcançando a cura da doença.

No que concerne ao prognóstico, continua sendo tanto melhor quanto menor o tumor diagnosticado. Portanto, o diagnóstico precoce é fundamental, não sendo difícil de ser conseguido, pois a maioria dos tumores leva em média oito anos para atingir o diâmetro de 2 (dois) cm. A partir desse momento, o tumor cresce rapidamente e, com os meios propedêuticos disponíveis atualmente, um exame completo pode detectar tumores com menos de 1 (um) cm em mais de 95 (noventa e cinco) % das pacientes.

Numa doença em que o tempo é fundamental tanto no combate como no tratamento do câncer mamário, este trabalho procura auxiliar o médico com respostas rápidas e concretas sobre o diagnóstico de câncer de mama nas pacientes.

As queixas principais das pacientes, quando procuram um médico são: presença de nódulo mamário, dor e descarga mamilar.

Como elementos básicos e essenciais para a elaboração do diagnóstico de câncer de mama

com elevada chance de sucesso são a idade da paciente, a história familiar, os exames clínico, de mamografia, ultrassom e punção de biópsia aspirativa.

Dois problemas devem ser bem discutidos para se tornar um futuro promissor na utilização de sistemas especialistas na área médica. O primeiro problema refere-se ao entendimento de quais locais, realmente, servem aos propósitos do suporte à decisão médica por computadores e especialmente por sistemas especialistas. Para isso, dois aspectos importantes devem ser considerados. O primeiro é o papel das pessoas e computadores na solução de problemas, onde o computador deve apoiar as pessoas, como um complemento e não um substituto. O segundo refere-se à estrutura da clínica médica. Sistemas especialistas requerem que o conhecimento do médico seja estruturado e modelado. Mas, a clínica médica não é uma ciência formal em que se pode pensar sempre em alguns princípios. A maior parte do conhecimento é geralmente experimental, por este motivo deve-se procurar a formalização da descrição de doenças e da linguagem médica e, paralelamente, estar cientes do entendimento das doenças (Oliveira, 1995a).

Para maiores esclarecimentos sobre o câncer de mama são sugeridas várias bibliografias dentre estas (Nogueira, 1994; Caldeira & Budin, 1995; Crippa *et al.*, 1988; Donegan, 1996; Gebrin, 1985; Godinho, 1994; Lapayowker & Revesz, 1980; Luzzato *et al.*, 1987; Menezes, 1988; Mitchell & Basset, 1993; Pinotti, 1991; Schmitt & Bacchi, 1988; Sickles, 1986; Sterns *et al.*, 1982).

O uso do computador vem aumentando gradativamente nas aplicações para auxiliar o homem em diversas áreas. Uma das áreas é no campo médico, onde poucas aplicações não são de caráter algoritmizável, mas podem ser tratadas com soluções heurísticas que não garantem a solução, porém na maioria das vezes conduzem a resultados práticos de uma forma eficiente (Koguish, 1996).

2 ANATOMIA DOS SES E DO SECAM

O conhecimento pode ser codificado de

* Dados obtidos quando da submissão do artigo em 1997.

inúmeras formas e a maneira adequada vai depender do campo de aplicação. Alguns sistemas codificam o conhecimento na forma de exemplos, que são utilizados por analogia na análise de situações novas. Outros apoiam-se em modelos matemáticos associados a regras de bom-senso. Porém, a codificação mais usual do conhecimento nos Sistemas Especialistas é através de regras.

Um Sistema de Produção consiste de um conjunto de regras que constitui a base de conhecimento; estas regras são denominadas *Regras de Produção*.

Regras de Produção é um formalismo no qual vimos algum uso na teoria dos autômatos, gramáticas formais e no projeto de linguagens de programação, antes de ser usado na tarefa de modelagens psicológicas (Newell & Simon, 1972) e Sistemas Especialistas (Buchanan & Shortliffe, 1984).

Algumas dessas definições foram motivadas por restrições adicionais como a tentativa de modelar o processo cognitivo humano.

Os seres humanos tendem a expressar conhecimento e técnicas para resolver problemas em termos de um conjunto de regras do tipo:

situação → ação

que podem ser representadas com estruturas do tipo:

Se condição P **Então** conclusão C
ou
Se situação S **Então** ação A

Esta forma de representação de conhecimento é chamada *Regras de Produção* ou, simplesmente, *Regras* ou *Produções* (Hayes-Roth, 1985).

Regras de Produção é atualmente a escolha mais popular dos Engenheiros de Conhecimento para a construção de sistemas especialistas. Esta popularidade tem crescido enormemente basicamente pela variedade de sistemas bem sucedidos construídos com regras de produção e pelo grande número de sistemas especialistas utilizáveis com tais regras (Durkin, 1994).

As vantagens em usar regras de produção encontram-se em diversas bibliografias, dentre estas as de Durkin (1994) e de Arariboia (1988).

O PROLOG (Warren, 1977) é uma linguagem de Regras de Produção em que os programas são escritos como regras para provar relações entre objetos.

Koguish (1996) aborda que o PROLOG é uma linguagem que tenta fazer com que o computador "raciocine" ao encontro de uma solução. É especialmente adequado para diversos problemas típicos de inteligência artificial. Entre estes, os dois de maior importância são Sistemas Especialistas e Processamento de Linguagem Natural (Barbosa, 1997). Interessantes trabalhos podem ser realizados através da fusão dessas duas linhas de pesquisas (Oliveira, 1985).

Assim, a ferramenta escolhida para desenvolver o **SECAM** (Sistema Especialista para Diagnóstico de Câncer de Mama) foi a linguagem de programação Arity/Prolog (Arity/Prolog, 1988). O PROLOG (PROgramming in LOGig) é um sistema de programação lógica comumente utilizada na construção dos SEs.

A abordagem do SECAM teve como base o pioneiro sistema MYCIN (Buchanan & Shortliffe, 1984), um clássico Sistema Especialista em desenvolvimento desde 1970 na Universidade de Stanford (Califórnia), no Departamento de Ciência da Computação em associação com a Escola de Medicina. O MYCIN fornece diagnósticos e terapias apropriadas para pacientes com infecções bacteriológicas. Em Rich & Knight (1993) encontram-se alguns comentários sobre o MYCIN. Como este sistema, o conhecimento médico do SECAM está representado em termos de regras de produção. O que diferencia deste sistema é seu raciocínio progressivo (no MYCIN o raciocínio é regressivo). Abaixo serão descritos estes raciocínios.

Muitos outros estudos de sistemas especialistas na área médica também foram importantes no desenvolvimento do SECAM, dentre estes destacam-se os realizados por Weiss (1978); Pople, (1982); Negrão (1991) e Martins (1991).

Um Sistema Especialista dispõe, além da base de conhecimento, de rotinas para realizar o processo dedutivo, partindo de fatos e chegando as conclusões. Essas rotinas compõem a parte do Sistema Especialista chamada de *Mecanismo de Inferência*. O *motor de inferência* processa a Base de Conhecimento (área que contém a modelagem do conhecimento e, em alguns casos, heurísticas para manipular este conhecimento) e a Base de Dados (área de trabalho do sistema) usando uma linha de "raciocínio" a fim de propor alguma solução ao problema que está sendo analisado.

Define-se *sistemas especialistas baseados em*

regras como um programa de computador que processa informação de um problema específico contido na memória de trabalho com o conjunto de regras contidas na base de conhecimento, usando uma máquina de inferência para inferir novas informações (Durkin, 1994).

Sistemas Especialistas baseados em regras são freqüentemente organizados quanto a um (ou uma combinação) de três diferentes paradigmas de raciocínios (Buchanan & Shortliffe, 1984): "*forward chaining*", "*backward chaining*" e "*opportunistic reasoning*".

No encadeamento progressivo (*forward chaining*) a partir dos fatos buscam-se conseqüências até chegar a uma conclusão final. É usado quando existem relativamente poucas hipóteses para explorar. Este raciocínio inicia-se com uma coleção de fatos e extrai conclusões possíveis. As condições de parada variam de parar com a primeira hipótese plausível a parar somente quando nenhuma nova conclusão possa ser obtida. Diz-se que encadeamento para frente sua estratégia é dirigida para os dados (Oliveira, 1995b).

Por outro lado, encadeamento regressivo (*backward chaining*) parte de hipóteses e questiona o usuário em busca de indícios que o confirmem. Este raciocínio é dirigido à meta e não requer que todos os dados relevantes estejam disponíveis no momento em que a inferência for iniciada. Quando o usuário fornece muitos dados e quando o usuário tem preocupação quanto à ordem na qual os dados são solicitados, recomenda-se este tipo de raciocínio, o qual inicia-se com um hipótese (meta) para estabelecer, e pergunta quais fatos (cláusulas premissas das regras) precisariam ser verdadeiros, a fim de saber que a hipótese seja verdadeira. Alguns destes fatos podem ser conhecidos, pois eles foram fornecidos como dados iniciais; outros podem ser conhecidos após perguntar ao usuário sobre eles, e ainda outros podem ser conhecidos após iniciá-los como submetas e então é executado o "*backward-chaining*". As condições de parada variam da parada com a primeira hipótese verdadeira encontrada (ou "suficientemente verdadeira") à parada somente depois que todas as possíveis hipóteses relevantes tenham sido exploradas. Segundo Oliveira (1995b) a estratégia do encadeamento regressivo é dirigida para o objetivo.

Já no raciocínio oportunístico (*opportunistic reasoning*) são combinados alguns elementos dos

raciocínios dirigidos aos dados (*forward*) e dirigidos à metas (*backward*). É útil quando o número de possíveis inferências for muito grande, nenhuma única linha de raciocínio for adequada para ter sucesso, e o raciocínio do sistema deva ser responsável por tornar os novos dados conhecidos. Novas inferências podem ser obtidas à medida que novos dados são observados ou tornem-se conhecidos; e como novas conclusões são obtidas, novas questões sobre dados específicos tornam relevantes. Assim, um sistema de raciocínio oportunístico pode dar início a expectativas que auxiliam a diferenciar alguns elementos de dados de um montante de outros dados.

O projetista de um Sistema Especialista procurará sempre a forma mais adequada das técnicas de inferência que será indicada para a sua área de domínio. Ou seja, se um médico raciocina de forma diferente de um cientista político, o sistema especialista que diagnostica alterações na coluna vertebral (por exemplo) terá um mecanismo de inferência diferente daquele que administra a política salarial de um país. Sendo assim, diferentes campos de atividades imporão diferentes bases de conhecimento e diferentes mecanismos de inferência.

É a função do Engenheiro do Conhecimento (*Knowledge Engineer*) descobrir as diferenças e incorporá-las ao sistema. Ou seja, ele é responsável pela transferência do conhecimento do Especialista na área de aplicação para a Base de Conhecimento.

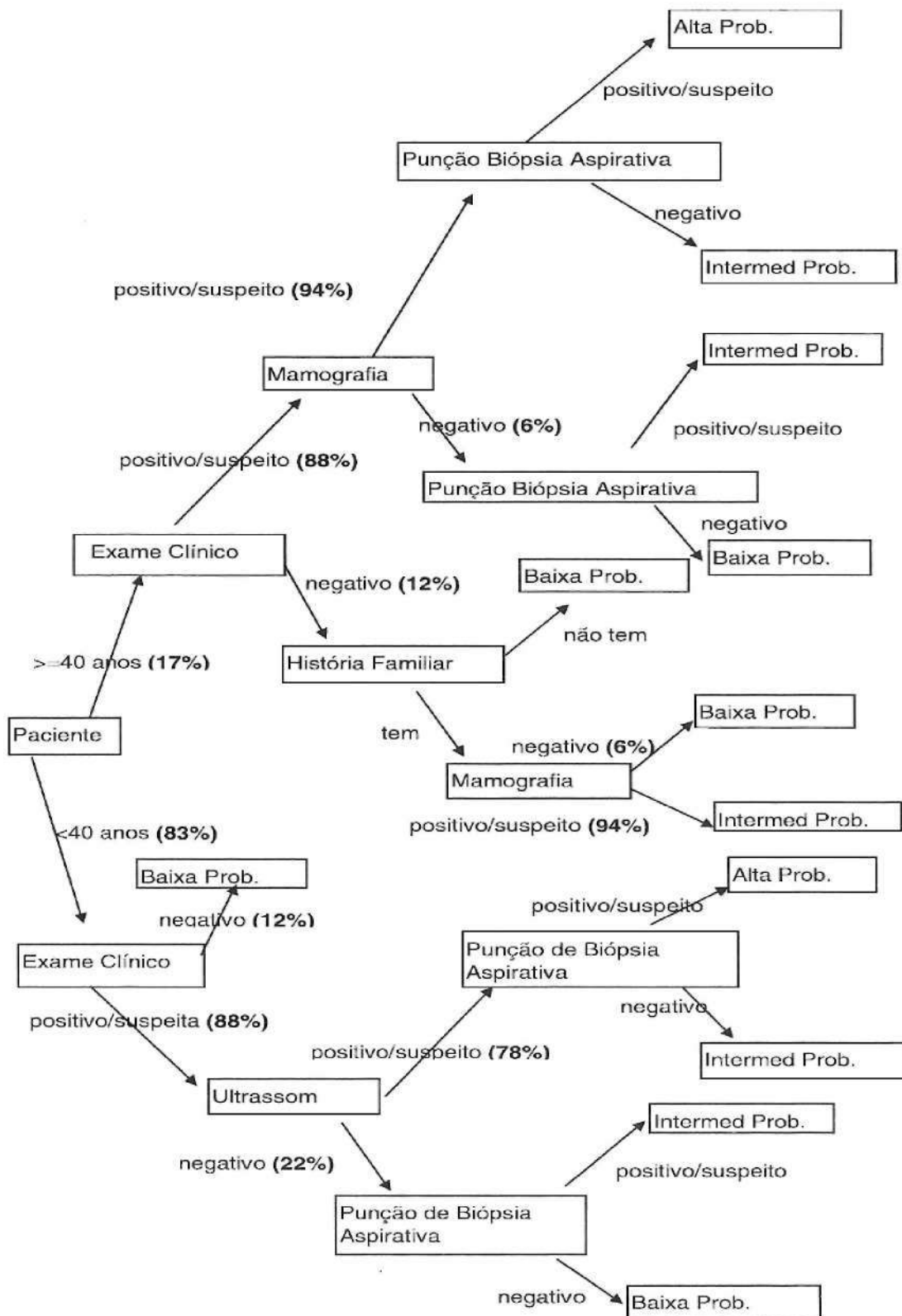
O papel do Especialista é fornecer as informações, os dados, o raciocínio adotado naquela área de especialização. Isto é, fornecer o conhecimento. A função do Engenheiro de Conhecimento é organizar esses dados e codificá-los, construindo a Base de Conhecimento e sintonizando o Mecanismo de Inferência de acordo com o tipo de lógica dedutiva, ou processo de racionalização adotado naquela área.

Duas estudantes do curso de Ciência da Computação da UEL que participaram do Projeto Biocomp fizeram este papel de Engenheiras do Conhecimento. Juntamente com o Médico Especialista em Câncer de Mama, foi possível montar a árvore de decisão, bem como as regras de produção (a partir da árvore de decisão) utilizáveis na implementação do SECAM. Tal árvore é exibida na Figura 1.

No processo de aquisição de conhecimento do SECAM as *engenheiras do conhecimento* utilizaram algumas técnicas de eliciação do

conhecimento (estas serão posteriormente abordadas) e basicamente foram realizadas pesquisas literárias sobre o câncer de mama.

Figura 1 – Árvore de Decisão.



3 TÉCNICAS E MÉTODOS DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO APLICADOS AO SECAM

No desenvolvimento de um sistema especialista, é na etapa de aquisição de conhecimento que o conhecimento do Especialista é adquirido e "transportado" em uma linguagem compreensível pela máquina. Segundo Koguishi (1996), esse processo é uma tarefa bastante complicada e vem sendo considerada responsável pela grande maioria dos problemas detectados nos sistemas.

Com o intuito de tornar a aquisição de conhecimento mais fácil e controlável, houve uma busca para a estruturação do processo (Gottgroy, 1990).

O processo de aquisição de conhecimento durante todo o ciclo de vida do desenvolvimento de um sistema baseado em conhecimento pode ser desenvolvido de diversas maneiras. Envolve cinco fases fortemente caracterizadas pelo tipo de interação existente entre o Especialista e o Engenheiro de Conhecimento e pelas características do conhecimento que flui nessa interação, são elas (Koguishi, 1996): identificação, eliciação, interpretação, formalização e implementação do conhecimento que o Especialista humano utiliza quando soluciona um problema de um dado domínio.

A seguir são mostrados alguns dos muitos fatores limites em cada fase (Buchanan & Shortliffe, 1984):

- a) a formalização e estruturação do conhecimento do domínio;
- b) a habilidade do Especialista em formular novo conhecimento baseado em experiências anteriores;
- c) o poder das ferramentas de apoio ao desenvolvimento como edição e depuração;
- d) a habilidade do Engenheiro de Conhecimento em entender as características da especialidade humana;
- e) o poder expressivo do formalismo de representação.

Há muitos programas que interagem com os Especialistas dos domínios para extrair conhecimento especializado. Estes programas fornecem suporte à inserção de conhecimento, manutenção da consistência da base de conhecimento e garantia de completeza da base de conhecimento.

Existem muitos sistemas e ferramentas que dão suporte aos processos de aquisição de conhecimento. Muitos Sistemas Especialistas são construídos com ferramentas chamadas "shells". O shell é uma parte do software no qual contém a interface com o usuário, uma forma de conhecimento declarada na base de conhecimento e um motor de inferência. O motor de inferência usa o shell ao construir um sistema para um domínio particular.

Os primeiros shells de sistemas especialistas ofereciam mecanismos para a representação do conhecimento, raciocínio e explicações. Mais tarde, foram acrescentadas ferramentas para a aquisição de conhecimentos. Mas, com o aumento das experiências com esses sistemas para solucionar problemas do mundo real, ficou claro que os shells dos sistemas especialistas precisavam fazer alguma coisa a mais também. Eles precisavam facilitar a integração dos sistemas especialistas com outros tipos de programas. Os sistemas especialistas não podem operar isoladamente, eles precisam acessar bancos de dados das corporações, e esse acesso precisa ser controlado como em outros sistemas. Eles em geral estão embutidos em programas aplicativos maiores, que usam basicamente técnicas de programação convencional. Então, uma das características importantes que um shell precisa ter, segundo Rich & Knight (1993), é uma interface entre o sistema especialista, escrita com shell e que seja fácil de usar, e um ambiente de programação maior e provavelmente mais convencional.

No entanto, nenhuma dessas ferramentas focaliza as primeiras etapas do processo de aquisição de conhecimento, nem fornece normas de representação ou auxilia na escolha do melhor formalismo.

A Eliciação do Conhecimento é a fase da coleta dos dados que o Engenheiro de Conhecimento trabalha diretamente com o conhecimento do Especialista, com o objetivo de permitir a construção de um modelo desse conhecimento. Não é difícil compreender porque a tarefa de eliciação do conhecimento não é nada simples. Primeiro, porque o conhecimento humano é complexo, confuso, incompleto, e muitas vezes contraditório e esses fatos são agravados quando o veículo utilizado para a sua transmissão é o "dado verbal", pois ele precisa ser interpretado e

não permite um uso direto do seu conteúdo. Por outro lado, a nossa linguagem é muito complexa, confusa e ambígua. Por exemplo, as palavras, freqüentemente, não têm referência especificada nas frases; palavras como sempre, nunca, podem implicar erroneamente na universalidade dos princípios, etc. A partir disso, a comunicação entre o Engenheiro de Conhecimento e o Especialista constitui-se num sério problema, não só pelo vocabulário usado pelo Especialista, mas devido a necessidade de interpretação requerida devido à grande margem de ambigüidade permitida.

Para entender o processo de solução de problema e representar verdadeiramente o conhecimento do Especialista o Engenheiro de Conhecimento necessita conhecer e entender essas ricas estruturas e habilidades envolvidas nas informações fornecidas pelo Especialista. Mas como normalmente o Engenheiro de Conhecimento é uma pessoa que iniciou a familiarização com o vocabulário do domínio, existe uma enorme dificuldade de acompanhar as explicações do Especialista e de tirar do discurso as palavras chaves. Mas de toda forma, para que o Engenheiro de Conhecimento possa trabalhar o discurso do Especialista e captar os pontos chaves, ele necessita interpretar esse discurso sem projetar o seu modo de pensar no discurso verbal do Especialista, sendo este um fato muito importante.

Além disso, a mente do Especialista não é constituída de "partes do conhecimento" que podem ser extraídas uma a uma. Na realidade é necessário captar todo o aspecto de conhecimento que está envolvido não só na especialidade, mas também no próprio conhecimento humano.

Muitas vezes o Especialista desempenha excepcionalmente suas funções, entretanto possuem dificuldade de descrever detalhadamente o seu conhecimento e da forma como o utiliza. Na verdade pode-se dizer que a maioria dos Especialistas não tem consciência do próprio conhecimento. Por isso são necessárias técnicas que auxiliem tanto o Especialista como o Engenheiro de Conhecimento no processo de eliciação do conhecimento (Kogushi, 1996).

Como a área de métodos e técnicas na aquisição de conhecimento é nova, e em plena evolução, muitos conceitos ainda estão mal definidos e alguns pontos que considera-se fundamental ainda estão em aberto. Na realidade, várias técnicas ou métodos podem ser usados na

eliciação do conhecimento, mas para isso eles precisam ser formalizados. Existem várias técnicas ou métodos para a eliciação de conhecimento que precisam fornecer uma interpretação coerente dos dados gerados para permitir seu mapeamento numa base de conhecimento. Atualmente, a combinação das diversas técnicas e métodos vem sendo realizada de forma não estruturada, empírica, pela intuição e/ou experiência do próprio Engenheiro de Conhecimento.

As técnicas têm aplicação muito limitada, além da utilização de apenas uma das técnicas ou métodos serem insuficientes para a eliciação dos vários tipos de conhecimentos especializados. Uma boa opção para guiar a utilização das técnicas e métodos é o mapeamento destes pelo tipo de conhecimento que eliciam.

A seguir temos uma classificação usada neste trabalho (Gottgroy, 1990):

- conhecimento declarativo: representa fatos sobre o mundo ou domínio. Inclui definições, relações, descrições, conceitos, características, modelos, teorias e restrições, que podem ser representados em termos de classificações e relações. É o conhecimento encontrado nos livros textos.
- conhecimento procedural: está relacionado com os procedimentos e regras para uso ou raciocínio sobre o conhecimento declarativo e também com os processos de controle que contém informações sobre quando e como aplicar os procedimentos e as regras. Pode ter a forma de heurística ou "regras de bolso", estratégias, procedimentos algorítmicos específicos e podem variar no nível de abstração.

A seguir são descritas rapidamente as técnicas e métodos utilizados no desenvolvimento do SECAM:

- Pesquisas Bibliográficas:

Para a eliciação do conhecimento utilizou-se bastante a pesquisa bibliográfica. Foram realizadas várias leituras em vários artigos, revistas e livros sobre a abordagem da doença de "Câncer de Mama", além de pesquisas em dicionários na área de medicina, pois as engenheiras de conhecimento eram leigas no assunto. O objetivo era familiarizar-se com o vocabulário utilizado pelos Especialistas, além de buscar conhecimento básico sobre o Câncer de Mama nas mulheres.

- Entrevistas:

São os métodos de eliciação mais conhecidos e utilizados. As entrevistas consistiram basicamente de conversas entre as Engenheiras do Conhecimento, Andréa Minowa e Célia M. Koguish, e o Especialista em Câncer de Mama, o Dr. Carlos César Montesino Nogueira. As Engenheiras do Conhecimento tomaram notas e gravaram as conversas, e posteriormente fizeram as análises das anotações e das gravações. As entrevistas têm como característica básica o uso do dado verbal na forte interação entre o Especialista e o Engenheiro de Conhecimento seja através de questionamentos diretos ou através de explicações. O uso de gravador e posterior transcrição permitiu maximizar o tempo disponível do Especialista e observou-se que, às vezes, pontos julgados de pouca importância numa primeira instância revelou-se de importância extrema após a análise. Assim, o ideal é utilizar tanto a gravação como as anotações, pois as anotações são importantes guias para observar o comportamento do Especialista durante a conversa como "expressões faciais" e gestos, que a gravação não consegue captar e que podem revelar ou indicar caminhos de decisão.

Existem dois tipos de entrevistas que foram utilizadas nesta eliciação de conhecimento:

- Entrevista Não-Estruturada, Estilo Livre, Informal:

Foi realizada nos primeiros contatos com o médico especialista, uma vez que pode-se conseguir mais rapidamente a porção de conhecimento especializado e a completude do que pode ser obtido. Foi proposto ao médico que ele falasse livremente sobre o domínio específico de Câncer de Mama com o objetivo de familiarização do vocabulário utilizado pelo Especialista, além de permitir ao Especialista iniciar a articulação do projeto de inferência entre os diversos objetos do domínio. E basicamente, para se definir o projeto do sistema.

- Entrevista Estruturada:

As Engenheiras do Conhecimento selecionaram questões favoráveis, visando objetivos específicos para condução da conversa,

objetivando se aprofundar no domínio do problema. Foram utilizadas estratégias como questões investigativas e estudos de casos. Onde esta última estratégia consistia de reuniões com as engenheiras de conhecimento, os médicos especialistas e os estagiários do Ambulatório do Hospital das Clínicas no Campus Universitário de Londrina, onde se discutiam casos de pacientes com alguma possibilidade de possuírem o câncer de mama.

A seqüência de afunilamento iniciou-se com questões abertas e terminou com questões diretas.

Ressaltamos que neste tipo de entrevista é preciso que o Engenheiro de Conhecimento já esteja familiarizado com o jargão utilizado pelo Especialista e tenha noção do problema a ser resolvido. O sucesso do método na aquisição de conhecimento depende bastante do Engenheiro de Conhecimento, através de seleção adequada de estratégias e direcionamento para uma boa execução das mesmas, a fim de que o Especialista se recorde da informação relevante.

- Codificação por Listas Adaptado:

Foi pedido ao Especialista que listasse os sinais, sintomas, fatores e exames dependentes dos diagnósticos envolvidos a serem analisados. O Especialista ordenou os itens selecionados de acordo com a importância decrescente que assumiam na definição diagnóstica.

Foi elaborado um grafo com as associações para conclusão diagnóstica. Os códigos dos itens selecionados e ordenados formam a linha de base para a elaboração do grafo e o diagnóstico dado.

Infelizmente, não foi possível ao médico atribuir notas dentro da escala de 0 a 10 para todos os nós que compunham o grafo. Então, daí surgiu a dificuldade de pesquisa literária na busca desses dados.

O grafo obtido corresponde a um modelo aproximado do Especialista e pode ser mapeado no formalismo de representação de conhecimento, as regras de produção.

Pode-se dizer que os métodos e técnicas para a aquisição de conhecimento agrupadas pelas suas similaridades derivam ou combinam de dois grandes métodos: "Entrevistas", onde questionamos o Especialista diretamente sobre seu processo de solução do problema; "Observação", onde

observamos o Especialista na solução de problemas que podem ser casos reais ou simulados.

A introspecção e verbalização dos processos cognitivos do Especialista, a interpretação subjetiva do Engenheiro de Conhecimento e a transcrição são características importantes e complicadas, pois a eficiência dos métodos é extremamente dependente da maneira de ser do Especialista, da facilidade em formalizar e expressar o seu conhecimento, da capacidade de percepção e interpretação do Engenheiro de Conhecimento e de como ele conduz o processo, onde o Engenheiro de Conhecimento deve se preocupar com questões como controlar as divagações do Especialista, não permitir monotonia das sessões, fazer com que o Especialista se sinta à vontade, estar familiarizado com o domínio para ganhar a confiança do Especialista (Bell, 1988).

Por vários motivos, dentre estes a necessidade de ter um guia para o mapeamento das técnicas para dar início a fase de elicitação de conhecimento na construção de sistema especialista, propõe-se as seguintes fases para o processo de elicitação de conhecimento (Kogushi, 1996):

* Identificação do problema:

- identificar os usuários e suas expectativas;
- identificar os Especialistas, a partir dos requisitos como disponibilidade, interesse, etc;
- nos contatos iniciais do Engenheiro de Conhecimento e o Especialista delimitar o domínio do problema, a partir do problema proposto, das expectativas do usuário e das necessidades do Especialista para a solução do problema.

Assim, o Engenheiro de Conhecimento poderá avaliar se o sistema especialista proposto cumprirá o seu papel na solução dos problemas do usuário.

- o Engenheiro de Conhecimento deve familiarizar-se com o jargão utilizado pelo Especialista;
- o Especialista precisa ser familiarizado e engajado com o processo em que ele participará.

• Estruturação do conhecimento:

- identificação dos elementos que o Especialista necessita para a solução dos problemas relativos ao domínio do problema;

- identificação dos conceitos básicos do domínio e que relações básicas existem entre os conceitos;
- identificação da forma como o Especialista articula o seu conhecimento;

Os métodos como "Entrevistas" e "Observação" são os mais indicados para a execução dos passos até agora citados, pois permitem elicitar qualquer tipo de informação permitindo ao Engenheiro de Conhecimento uma visão ampla do domínio. Normalmente, os primeiros contatos com os Especialistas e o Engenheiro de Conhecimento são realizadas através da "Entrevista não-estruturada". A partir daí, o Engenheiro de Conhecimento pode optar por outros métodos mais específicos que auxiliem na especificação dos requisitos no domínio do problema.

• Aprofundar as relações existentes entre os diversos elementos do domínio e nas estratégias utilizadas pelo Especialista:

Na realidade busca-se a elicitação do critério estrutural que o Especialista pode usar para organizar os conceitos do domínio. É importante separar a busca de uma organização global das maiores divisões do domínio e quais conceitos pertencem de maneira apropriada a cada sub-divisão especializada, pois para cada uma podem ser usadas diferentes técnicas.

• Preencher os "gaps" (buracos) do conhecimento:

É importante notar a grande valia da combinação dos diversos enfoques, ou seja, o uso de técnicas com ferramentas automáticas ou com algoritmos de aprendizado automático.

Finalmente, foram destacadas nesta seção as técnicas e métodos utilizados para a aquisição do conhecimento desenvolvimento do SECAM. Maiores detalhes vide Kogushi (1996). Em Minowa (1996) é abordado o Controle de Qualidade do Sistema Especialista de Apoio à Decisão Médica para Diagnóstico de Câncer de Mama. Cabe ainda ressaltar que foi escolhido para o desenvolvimento do SECAM o modelo de Prototipagem Evolutiva por diversos fatores que são descritos em (Kogushi, 1996).

4 BASE DE CONHECIMENTO DO SECAM

Para a implementação do SECAM na linguagem Arity/Prolog utilizou-se como dados de entrada o Nome, Idade e História Familiar da paciente, resultados do Exame Clínico, do Exame de Mamografia, do Exame de Ultrassom e do Exame de Punção Biópsia Aspirativa. Com a inferência destas informações é fornecido ao médico-usuário um diagnóstico e a sugestão da medida a ser tomada que se situa em três faixas:

- 1) a paciente tem *alta possibilidade* de estar com o Câncer de Mama;
- 2) a paciente tem *possibilidade intermediária* de estar com o Câncer de Mama;
- 3) a paciente tem *baixa possibilidade* de estar com o Câncer de Mama.

A utilização deste tipo de faixa é abordada em (Oliveira *et al.*, 1995).

A base do conhecimento do SECAM está armazenada em formas de regras de produção, como exemplo de regras do sistema temos:

```
ifthen ((Idade = = maior_40,  
        Clinico = = positivo),  
  
        mostra_mo (Mo))
```

traduzindo para linguagem natural temos:

```
SE Idade-da-paciente é maior que 40 E  
Exame-clínico deu positivo ou suspeito  
ENTÃO  
A paciente deve ser submetida ao exame  
de mamografia.
```

Como as heurísticas são baseadas em regras que são aprendidas com a experiência, nem sempre pode-se estar completamente certo de que uma regra SE_ENTÃO esteja correta. Ou seja, muitas regras estão baseadas na experiência (ou intuição) do especialista. Portanto, não existe uma teoria capaz de gerar um algoritmo. O que se faz é trabalhar com dados e regras imprecisas, aos quais estão associados um *fator de certeza* (confiança na validade de um fato ou regra).

Em Sistemas Especialistas muitos métodos são usados para lidar com incertezas que surgem ou

de dados incompletos ou incertos, ou associações incertas entre dados e conclusões.

Há vários formalismo para tratar estes fatores de certeza (Monard & Prado, 1989), mas todos eles são questionados (Pearl, 1986; White, 1985).

Em se tratando de Câncer de Mama nunca se tem uma probabilidade de que um determinado exame forneça cem por cento de certeza de que a paciente tenha a doença. Assim podemos atribuir um método conhecido como *Fator de Confiança/Certeza* (FC), que indicam simples números para proposições, que representa aumento em crença ou probabilidades ou uma combinação de utilidades e probabilidades.

O SECAM é um sistema baseado em regras com possibilidade de tratamento de incertezas.

Assim como a regra que foi descrita acima pode não funcionar sempre, pode-se atribuir à regra um FC. Os valores variam de -1 a +1, onde o FC negativo indica uma predominância de evidência contrária de que uma regra esteja correta e o FC positivo indica a predominância de confirmação de que a regra esteja correta.

Através de pesquisas bibliográficas conseguiu-se obter alguns dados probabilísticos que num trabalho futuro podem ser utilizados como FC para o aperfeiçoamento do SECAM. No Quadro 1 são fornecidos dados probabilísticos dos fatores que influenciam na decisão diagnóstica para o Câncer de Mama.

Suponha que atribui-se um FC de 0.94 à regra do SECAM que foi abordada e suponha que não se tem realmente certeza de que o Exame Clínico seja positivo, então atribui-se um FC de 0.88 àquela cláusula. Então pode-se representar a regra da seguinte forma:

```
SE Idade é maior que 40 (FC = 0.83) E  
Exame Clínico é positivo (FC = 0.88)  
ENTÃO  
A paciente deve ser submetida ao exame  
de Mamografia (FC=0.94).
```

pode-se então calcular o FC de que a paciente deva fazer o exame de Mamografia multiplicando o FC mínimo das cláusulas conectados pelo operador E na parte SE pelo FC da regra. No exemplo resulta em:

$$\text{mínimo } (0.83, 0.88) * 0.94 = 0.83 * 0.94 = 0.78$$

Quadro 1 - Dados probabilísticos dos fatores que influenciam na decisão diagnóstica para o Câncer de Mama

FATORES	VARIAÇÕES	PROBABILID.
Idade da Paciente	< = 40	17%
	> 40	83%
História Familiar	Mãe e Irmã	R Relativo = 13,6
	Mãe ou Irmã	R Relativo = 2,1
Menopausa Tardia	sim	R Relativo = 1,9
	não	não encontrado
Gânglio Axilar	sim	25%
	não	não encontrado
Dor	sim	23%
	não	não encontrado
Retração do Mamilo e/ou Pele	sim	13%
	não	não encontrado
Presença de nódulo	sim	8%
	não	não encontrado
Tamanho do nódulo	< 2cm	10%
	2 a 5cm	56%
	> 5cm	25%
Aumento do volume do nódulo	sim	10%
	não	não encontrado
Assimetria	sim	6%
	não	não encontrado
Eritema	sim	6%
	não	não encontrado
Exame Clínico	Negativo	12%
	Positivo	88%
Exame de Mamografia	Negativo	6%
	Positivo	94%
Exame de Ultrassom	Negativo	22%
	Positivo	78%

Fonte: Schmitt & Bacchi (1988); Mitchell & Basset (1993); Crippa *et al.* (1988).

tem-se então 0,78 de certeza de que a paciente deva fazer o exame de Mamografia.

Te'm-se a seguir os passos para o cálculo do FC (Levine *et al.*, 1988):

1. a partir de uma regra, pegue o FC mínimo das cláusulas conectadas por E;
2. caso haja conectivos OU na regra, pegue o valor máximo do FC de todas as cláusulas E que são conectadas por OU;
3. multiplique o FC final das cláusulas pelo FC da regra;
4. caso haja mais de uma regra levando à mesma conclusão, pegue como FC final o FC máximo de todas as regras.

CONCLUSÕES

Os principais objetivos deste trabalho foram tanto o estudo de técnicas computacionais com inspiração em mecanismos da natureza como sua aplicação na solução de problemas de origem biológica.

Na primeira fase do desenvolvimento do Projeto Biocomp foi implementado o *problema do labirinto* (Yamauchi *et al.*, 1995) utilizando algoritmos genéticos (Goldberg, 1989; Esponda & Oliveira, 1995), podendo comprovar com bom desempenho em relação a outras técnicas comumente utilizadas na solução do mesmo. Duas Disseminações foram feitas nesta etapa do Biocomp, sendo uma no IV Encontro Anual de Iniciação Científica - CNPQ/UEM/UEL/UEPG e

outra no III Encontro Interuniversitário dos Estudantes de Informática do Paraná.

Posteriormente, em uma fase mais avançada, foram feitos estudos relativos aos sistemas especialistas culminando na implementação do SECAM (tais estudos também podem ser encontrados em Barbosa & Dias (1997)). Para poder atingir esse objetivo foram utilizadas as técnicas de aquisição e representação de conhecimento apropriados ao caso.

Algoritmos genéticos têm sido propostos (Roache *et al.*, 1995) para validação de sistemas especialistas. Assim, pode-se futuramente utilizar destes algoritmos para validação do SECAM.

Estudos futuros podem complementar o sistema SECAM com uma abordagem híbrida utilizando técnicas não simbólicas como redes neurais, por exemplo (de acordo com Ohno-Machado (1995) redes neurais artificiais têm sido bastante utilizadas como classificadores em

biomedicina), como forma de aquisição, validação, exploração de bases de conhecimento a fim de capturar conhecimentos não completamente explícitos em forma de regras.

Durante a fase de aquisição de conhecimento pode-se verificar a ocorrência de grafos mínimos, construídos pelos especialistas, que indicam a solução dos problemas tratados. Estes grafos mínimos são regras heurísticas que expressam "germes" de conhecimento, elicitados dos especialistas. Comportamento semelhante verifica-se (Rosa *et al.*, 1995) nas redes neurais. Uma investigação profunda neste sentido pode ainda ser feita.

No tocante ao SECAM especificamente, o sistema ainda deve ser incrementado, pois sistemas especialistas, especialmente aplicados à área médica para produção de diagnóstico, requerem anos de experiência, dedicação e atenção adquiridos em um processo contínuo.

Agradecimentos

Os nossos agradecimentos às 14 pessoas envolvidas no Projeto Biocomp, onde 6 professores atuaram como autores, coordenadores e colaboradores e 7 alunos participaram como colaboradores ou através de bolsas iniciação científica. Em especial, o agradecimento ao Dr. Carlos César M. Nogueira, médico especialista na área de oncologia mamária do CCS/UEL que muito contribuiu nesta fase final do projeto.

BARBOSA, C.R.S.C. de, DIAS, V.M.F., BATISTA, M.A.C. BIOCAMP Project-An environment for Simulation of Biocomputation Techniques. *Semina: Ci. Exatas/Tecnol.* Londrina, v. 18/20, n. 4, p. 25-38, dez. 1997/1999.

ABSTRACT: *This work presents the current results of the BIOCAMP project. This project has the purpose of researching the main concepts and use of the biocomputational techniques. This article focuses on SECAM, an Expert System for Diagnosis of Breast Câncer that helps specialists in breast oncology in the medical diagnosis of women with possible symptoms of having breast câncer.*

KEY WORDS: *computational biology; expert systems; artificial intelligence.*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARARIBOIA, G. *Inteligência Artificial: um curso prático*, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988.
- ARITY/PROLOG. *The Arity/Prolog Language Reference Manual*. Massachusetts: Arity Corporation, 1988.
- AYROSA, Pedro Paulo S. *Representação do Conhecimento em Sistemas Conexionistas: Tópicos em Análise*. Rio de Janeiro, 1992. Dissertação (Mestrado) – COPPE-Sistemas, UFRJ.
- BARBOSA, Cinthyan Renata Sachs C. de. *Sistema Especialista Pedagógico*. Rio Claro, 1992. 120p. Trabalho de Conclusão – DEMAC-UNESP.
- BARBOSA, Cinthyan Renata Sachs C. de. *Interfaces em Linguagem Natural para Banco de Dados*. Porto Alegre: CPGCC da UFRGS, 1997. 165p. Trabalho Individual, n.º 640.
- BARBOSA, Cinthyan Renata Sachs C. de; DIAS, Vânia Maria Felix. BIOCAMP - um Ambiente para Simulação de Técnicas de Biocomputação. In: SIMPÓSIO ANUAL DE ESTUDANTES DO CESULON, 5., 1997, Londrina. *Anais...* Londrina: CESULON, 1997. p.83-85.
- BELL, J. *The Human Side of Knowledge Engineering*. JB Associates, 1988.
- BRASIL, L. et al. Extração de Regras para Sistemas Especialistas Conexionistas. *Avances Recientes en Bioingeniería: Investigación y Tecnología Aplicada*, Valencia, Venezuela, p.39-46, Jun. 1997.
- BUCHANAN, B. G.; SHORTLIFFE, E. J. *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Reading, MA, Addison-Wesley, 1984.
- BUCHANAN, B. G.; SMITH, R. G. *Fundamentals of Expert System*. 1989. p. 151-192.
- CALDEIRA, J. R.; BUDIN, R. M. A. Aspectos Epidemiológicos de Câncer de Mama em Jaú-SP e a Alta Incidência de Casos Avançados em Mulheres Idosas. *Revista Brasileira de Cancerologia*, São Paulo, v.41, n.1, p.15-17, jan./mar. 1995.
- CARNOTA, R. J.; TESZKIEWICZ, A. D. Sistemas Expertos y Representación del Conocimiento, In: ESCOLA BRASILEIRO ARGENTINA DE INFORMÁTICA. 3., 1988, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 1988.
- CRIPPA, C. G.; MARTINS, B. L.; MOREIRA FILHO, C. M. Nódulo de Mama: Correlação Clínica e Histopatológica. *ACM: Arquivos Catarinense de Medicina*, Florianópolis, v.17, n.4, p.189-195, Dez. 1988.
- DONEGAN, W. L. Evaluation of Palpable Breast Mass. *The New England Journal of Medicine*, Milwaukee, v.327, n.13, p.937-941, Jun. 1996.
- DURKIN, J. *Expert System: Design and Development*. New Jersey: Prentice-Hall, 1994.
- ESPONDA, F.; OLVERA, M. M. Período de Vida y Extinción en los Algoritmos Genéticos. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 15., 1995, Canela. *Anais...* Canela: SBC, 1995. p.1317-1328.
- GEBRIN, L. H. et al. Citologia Aspirativa no Carcinoma da Mama. *Jornal Brasileiro de Ginecologia*, Rio de Janeiro, v.95, n.7, p.267-269, Jul. 1985.
- GODINHO, E.; XIMENES, C. A.; FREITAS JR. R. de. Mamografia: o uso do método no Hospital das Clínicas da UFG. *Jornal Brasileiro de Ginecologia*, Rio de Janeiro, v.104, n.8, p.269-272, Ago. 1994.
- GOLDBERG, D. E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. New York: Addison-Wesley, 1989.
- GOTTGOTROY, M. P. B. *O Processo de Aquisição do Conhecimento na Construção de Sistemas Especialistas*. Rio de Janeiro, 1990. Dissertação (Mestrado) – COPPE-UFRJ.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. A.; LENAT, D. B. (Ed.). *Building Expert Systems*. New York: Addison-Wesley, 1983.
- HAYES-ROTH, F. Rule-Based Systems. *Communications of ACM*, New York, p.287-298. 1985.
- JACKSON, P. *Introduction to Expert Systems*. New York: Addison-Wesley, 1986.
- KOGUISHI, C. M. *Sistema Especialista para Diagnóstico de Câncer de Mama*. Londrina, 1996. 115p. Trabalho de Conclusão – DCOP-UJEL.
- KRÖSE, B. J. A.; SMAGT, P. P. *An Introduction to Neural Networks*. Amsterdam: The University of Amsterdam, 1983.
- LAPAYOWKER, M. S. REVESZ, G. Thermography and Ultrasound in Diagnosis of Breast Cancer. *Câncer*, New York, v.46, p.933-938, 1980.
- LEVINE, R. I.; DRANG, D. E.; EDELSON, B. *Inteligência Artificial e Sistemas Especialistas*. São Paulo: McGraw-Hill, 1988.
- LUZZATO, Rui; GRAUDENZ, Martim G.; DIAS, Cintia L. Câncer de Mama: Análise de 3016 Casos de Patologia Cirúrgica (1968/1982). *Revista AMRIGS*, Porto Alegre, v.31, n.2, p.106-108, Abr./Jun. 1987.
- MANDELBROT, B. B. *The Fractal Geometry of Nature*. New York: W.H Freeman and Co., 1982.
- MARTINS, C. A. *Sistema Especialista para Auxílio Farmacêutico na Escolha de Antibióticos - Tuberculose - infecção Urinária - Cólera*. Ribeirão Preto, 1991. Trabalho de Conclusão – UNAERP.
- MEIDANIS, J.; SETÚBAL, J. C. *Uma Introdução à Biologia Computacional*. In: ESCOLA DE COMPUTAÇÃO, 9., 1994, Recife, 1994. [Anais... Recife, 1994]. 131p.
- MENEZES JR., D. M. A. Afecções benignas da mama. *Jornal Brasileiro de Ginecologia*, Rio de Janeiro, v.98, n.6, p.339-347, Jun. 1988.
- MICHIE, D. *Introductory Readings in Expert Systems*. Gordon and Brach, 1982.
- MINOWA, A. *Controle de Qualidade do Sistema Especialista de Apoio à Decisão Médica para Diagnóstico de Câncer de Mama*. Londrina, 1996. 99p. Trabalho de Conclusão – DCOP-UJEL.

- MITCHELL, G. W.; BASSET, L. W. *The Female Breast and Its Disorders*. Rio de Janeiro: Revinter, 1993.
- MONARD, M. C.; PRADO, A. H. A. *Uso de Incerteza em Sistemas Baseados em Conhecimento*. ILTC, mai. 1989. 36p.
- NEGRÃO, Rafael Robson. *Protótipo de um Micro Sistema Especialista para apoio Diagnóstico Médico Urologista*. Londrina, 1991. Monografia (Especialização) – UEL.
- NEWELL, A.; SIMON, H. A. *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1972.
- NOGUEIRA, Carlos Cesar Montesino. *Termografia para a Avaliação da Resposta do Câncer de Mama avançado ao tratamento neoadjuvante*. Ribeirão Preto, 1994. 80p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo.
- OHNO-MACHADO, L. Sistemas mistos de diagnóstico: Combinação de redes bayesianas e redes neurais no auxílio ao diagnóstico médico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAI, 2., 1995, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ICMSC, 1995. p.139-144.
- OLIVEIRA, Carlos Alberto de. Interface em Linguagem Natural para Sistemas Especialistas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, 2., 1985, São José dos Campos. *Anais...* São José dos Campos, 1985. p.173-177.
- OLIVEIRA, K. M. *Avaliação da Qualidade de Sistemas Especialistas*. Rio de Janeiro, 1995. Dissertação (Mestrado) – COPPE-UFRJ.
- OLIVEIRA, K. M.; ROCHA, A. R.; RABELO JR, A. Verificação Validação de Sistemas Especialistas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. 15., 1995, Canela. *Anais...* Canela: SBC, 1995. p.351-362.
- OLIVEIRA, K. M. *Desenvolvimento de Sistemas Especialistas*. Salvador: UFBA, 1995. Notas de Aula.
- PEARL, J. *Bayes Decision Methods*. Los Angeles: University of California, Jan. 1986. (Technical Report CSD – 850023).
- PEITGEN,; SAUPE, D. *Fractals for Classroom - Part One: Introduction to Fractals and Chaos*, New York: Springer-Verlag, 1992.
- PELLEGRINI, G. F.; OJEDA, R. G. Procedimentos de Avaliação de Sistemas Especialistas na Área Médica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA; FORUM NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM SAÚDE, 15., 1996, Campos do Jordão, *Anais...* Campos do Jordão, 1996. V.2, p.721-722.
- PINOTTI, J. A. Enfoque: Câncer de Mama. *Revista Ginecológica Obstétrica*, São Paulo, v.2, n.2, p.151-152, July 1991.
- POPLE, H. E. Heuristics methods for imposing structure on ill structured problems. The structuring of medical diagnosis. In: SZOLOVITS, P. (Ed.). *Artificial Intelligence in Medicine*. Colorado: Westview Press, 1982. p.119-185.
- RICH, E.; KNIGHT, K. *Inteligência Artificial*. São Paulo: Makron Books, 1993. 722p.
- ROACHE, E. et al. Genetic Algorithms for Expert System Validation. 1995. In: WESTERN MULTICONFERENCE SOCIETY FOR COMPUTER SIMULATION, 1995, Las Vegas, NE. *Proceedings...* Las Vegas, 1995.
- ROSA, S. I. V. de.; LEÃO, B. F.; HOPPEN, N. Um Modelo Híbrido para Sistemas Especialistas. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 15., 1995, Canela. *Anais...* Canela: SBC, 1995. p.639-648.
- SCHMITT, F. C.; BACCHI, C. E. Frequência e características das neoplasias malignas de mama em Botucatu-SP. *Jornal Brasileira de Ginecologia*, Rio de Janeiro, v.98, n.4, p.209-211, Abr. 1988.
- SHELL, P. S. *Expert Systems: A Practical Introduction*. McMillan, 1985.
- SICKLES, E. A. Breast Calcifications: Mammographic Evaluation. *Radiology*, San Francisco, v.160, n.2, p.289-293, Apr. 1986.
- SOUTO, M. C. P.; OLIVEIRA, W. R. de. Computational Complexity and Design of Artificial Neural Networks. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES NEURAI, 2., 1995, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ICMSC, 1995. p.213-218.
- STERN, E. et al. Thermography in Breast Diagnosis. *Radiology*, San Francisco, v.50, p.323-325, 1982.
- WARREN, D. H. D.; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, F. PROLOG - The Language and its Implementation Compared with Lisp. *SIGART Newsletter*, v.64, p.109-115, Aug. 1977.
- WATERMAN, D. A. *A Guide to Expert Systems*. New York: Addison-Wesley, 1986.
- WEISS, S. M. et al. A model-based method for computer-aided medical decision-making. *Artificial Intelligence*, v.11 n.1-2, p.145-172, 1978.
- WHITE, A. P. *Inference Deficiencies in Rule-based Expert Systems. Research and Development in Expert Systems*, Cambridge University Press, 1985. p.39-50.
- YAMAUCHI, H.; HASHIMOTO, F.; SATO, J. Algoritmos Genéticos no Problema do Labirinto. In: ENCONTRO INTERUNIVERSITÁRIO DOS ESTUDANTES DE INFORMÁTICA DO PARANÁ, 3., 1995, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 1995.