

## ECGxpert : SISTEMA ESPECIALISTA PARA INTERPRETAÇÃO DE ELETROCARDIOGRAMAS

por

1 2  
S.I.J. Gieseler e N. Wiederhecker

**RESUMO** -- O Eletrocardiograma (ECG) é o exame mais largamente utilizado no diagnóstico e acompanhamento de cardiopatias, exigindo entretanto para sua correta interpretação anos de treinamento. Sua modelagem por métodos formais ( estatísticos ) é difícil e se baseia em procedimentos não usuais à medicina. O grande volume de conhecimento heurístico disponível, com o qual se faz uso de dados clínicos quantitativos e qualitativos, torna adequado o uso da técnica de Sistemas Especialistas (SE). O SE desenvolvido foi escrito em PROLOG, sob ambiente MS-DOS, sendo baseado em regras e capaz de interpretar um ECG a partir do dados obtidos de perguntas ao usuário. O sistema mimetiza o comportamento de um especialista na sequência de interpretação e nas evidências que busca para provar determinado diagnóstico. Serve tanto como apoio na clínica quanto como ferramenta didática, dado que explica as perguntas feitas e os resultados da interpretação. Os resultados obtidos de testes parciais sugerem a robustez e adequação do SE, demonstrando a validade do trabalho e justificando sua continuação.

**INTRODUÇÃO**

A interpretação de Eletrocardiogramas (ECG), apesar da longa utilização deste exame, ainda é complexa dada a grande quantidade de informação nele contida e as relações temporais e causais entre seus diversos elementos, o que faz com que uma mesma informação apareça sob diversas formas. Além do método convencional, visual, de interpretação dispõe-se de sistemas automáticos, desde modelos simples para análise apenas de arritmias (HEALTH DEVICES, 1985), até sistemas complexos que trazem embutidos modelos completos de diagnóstico (Mayahara et allii, 1984).

Uma modelagem determinística é difícil, ainda mais devido a variações na aquisição do sinal e nas condições do próprio paciente, pode-se ter variações no ECG para um mesmo quadro clínico. A maioria dos sistemas automáticos baseia-se em modelos estatísticos formais, dependentes de probabilidades a priori e assim de grandes massas de dados, sendo incapazes de lidar com dados clínicos qualitativos e usando técnicas clássicas de programação, procedimentos, mais adequadas quando se dispõe de um modelo que possa ser simulado por um algoritmo. Além disto, a forma de abordagem e solução nestes sistemas utiliza procedimentos analíticos diversos à medicina, dentro de técnicas

-----

1  
Mestrando do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ, Cx. Postal 68510  
CEP 21945, Rio de Janeiro, RJ.

2  
Professor do Programa de Engenharia Biomédica da COPPE/UFRJ

estatísticas e de processamento de sinais, usando dados não comuns ao método convencional e ignorando o conhecimento heurístico médico, base do método convencional de interpretação, que paradoxalmente é padrão de comparação com qualquer outro sistema. O grande volume de conhecimento heurístico, com o qual se faz uso de dados clínicos quantitativos e qualitativos, torna adequada a implementação de um Sistema Especialista (SE).

### ELETCARDIOGRAFIA

O ECG é o exame mais largamente utilizado no diagnóstico e acompanhamento de cardiopatias (Muniz et alli, 1973), donde se conclui sobre a enorme importância da sua correta interpretação. O ECG é o registro gráfico da atividade elétrica do coração, a qual mantém uma relação (acoplamento eletromecânico) com a atividade mecânica (sístole, diástole). É formado por uma série de elementos (ondas, complexos, segmentos, etc) que representam a despolarização (ativação) e repolarização das diversas partes do coração à passagem do estímulo.

A interpretação do ECG deve ser feita não apenas buscando padrões morfológicos, mas considerando também dados como idade, sexo, biotipo, uso de medicação e história clínica do paciente, devendo o bom interpretador ser também um bom clínico e bom cardiologista (Muniz, 1973; Lipman, 1984). A interpretação completa do ECG compreende a análise do traçado e síntese diagnóstica (Muniz, 1973). A análise do traçado consiste da obtenção das medidas rotineiras e da descrição das características normais e anormais de cada elemento do ECG. A sequência de interpretação segue o impulso elétrico pelo coração, testando a normalidade para cada novo elemento do ECG. Se um conjunto de evidências levar a suspeita de determinado diagnóstico, outras evidências que auxiliem neste diagnóstico devem ser buscadas. A síntese diagnóstica compreende o diagnóstico eletrofisiológico e a correlação clínico-eletrocardiográfica, usualmente executada pelo clínico. Cabe nesta fase reunir, resumir e se possível correlacionar as informações sobre as anormalidades do ECG, de forma mais geral, dado que combinações de diferentes patologias podem mostrar a mesma informação de formas diferentes.

### SISTEMAS ESPECIALISTAS

Sistemas Especialistas são programas de computador que simulam o raciocínio de especialistas, utilizando-se de conhecimento obtido destes, para solução de problemas dentro de áreas restritas. A grande diferença entre os SEs e os programas convencionais não é o uso de conhecimento, embutido em qualquer algoritmo de programação convencional, mas o fato de programa e conhecimento estarem separados, podendo-se assim corrigir ou adicionar conhecimento, quase "ensinando" o sistema. Os SEs não tem um modelo "formal" para definir sua estrutura, entretanto a maioria das implementações tem em comum 4 módulos (Barr et alli, 1981; Waterman, 1985):

- a) Base de Conhecimento : contém fatos e heurísticas ( regras ) para abordagem e solução do problema
- b) Módulo de Inferência : busca o conhecimento e simula raciocínio aproximado, capaz de manipular informações incompletas, imprecisas ou contraditórias
- c) Módulo de Explicação : explica ao usuário a sequência de raciocínio utilizada, as perguntas feitas e as conclusões obtidas
- d) Módulo de Interfaceamento : executa a comunicação com o usuário, fazendo perguntas ou provendo auxílio

As pesquisas de Inteligência Artificial (IA) levaram ao desenvolvimento de novos paradigmas e técnicas de programação, mais adequadas ao desenvolvimento de sistemas "inteligentes" que manipulam símbolos e conhecimento ao invés de números e dados. A linguagem PROLOG executa processamento simbólico com base em lógica, adotando uma representação declarativa da tarefa aliada a ferramentas poderosas de busca a base de fatos (Brobow, 1984; Kawanobe, 1984). O uso da linguagem PROLOG é interessante no desenvolvimento de SEs baseados em regras pois seu paradigma de programação ( cláusulas-regra, busca para-trás e encadeamento reverso ) se adequam bem a manipulação de conhecimento em forma de regras, além de sua adordagem declarativa tornar mais simples a tarefa de implementação .

### ESTRUTURA DO ECGxpert

O SE desenvolvido compreende 2 programas ( figura 1 ) : ECGregra, que traduz as regras da forma texto para forma PROLOG, detectando erros de sintaxe ou referência, e ECGxpert, o sistema especialista, que com base nas regras e fatos infere o(s) diagnóstico(s). A estrutura do ECGxpert segue a estrutura geral de um SE : base de conhecimento, módulo de inferência, módulo de explicação e módulo de interface.

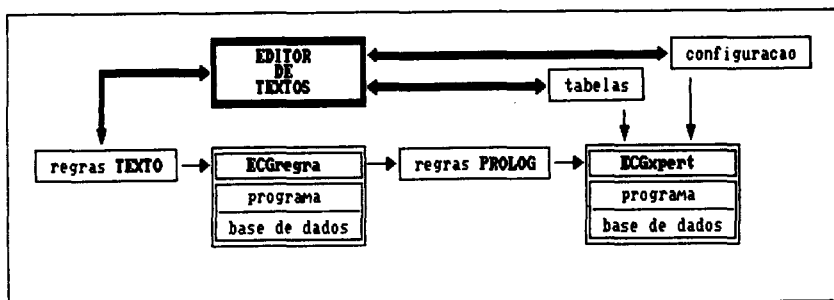


Fig. 1. Estrutura do ECGxpert

### Base de Conhecimento

A base de conhecimento é formada por regras de produção, .X se E1 e E2 ... En, que especificam regras de sequência de interpretação, regras de diagnóstico ou regras de dado, e por definições de pergunta/resposta, que especificam qual a pergunta a ser feita para obter determinada evidência e que tipo de resposta pode ser aceita. Regras de dado calculam evidências, como por exemplo frequência cardíaca, utilizando predicados de PROLOG. Tabelas uni- e bi-dimensionais podem ser inseridas para especificar intervalos de normalidade de parâmetros. A figura 2 mostra um exemplo da cada uma das formas de representação de conhecimento.

A base de conhecimento para testes e depuração do sistema foi estruturada com base em literatura (Tocchio, 1986; Lipman, 1984; Carneiro, 1983). Uma vez testada a funcionalidade do programa, buscou-se junto à especialistas do Hospital Universitário da UFRJ o conhecimento da forma correta de abordagem da interpretação e das regras de diagnóstico. A aquisição do conhecimento foi feita durante sessões rotineiras de interpretação de ECGs onde o especialista era facilmente acompanhado e interrompido durante o raciocínio. Paralelamente a inserção do conhecimento no sistema, testou-se as respostas com um conjunto de ECGs obtidos do arquivo do HU/UFRJ, procedimento este comum na maioria das implementações de SEs (Mayahara, 1984).

```

* Regra de Sequencia *
ecgxpert
se
le_p,
analisa_p,
le_pr,
analisa_ritmo_atrial,
analisa_ritmo_juncional,
analisa_pr,
le_qrs,
analisa_ritmo_ventricular,
analisa_qrs,
hipotese( paciente_normal ).

* Regra de Diagnostico *
diagnostico : crescimento_biatrial / 90
se
amplitude_p( d2 ) entre 2.5 e 100 forma 0.5,
duracao( onda_p ) for maior,
forma_p( d2 ) for bifida.

* Pergunta / Resposta *
forma_p
pergunta 'qual a forma da onda P'
resposta arredondada,meseta,bifida,bifasica
mensagem 'veja graficos de auxilio .

```

Fig.2. Exemplos de regras ECGxpert

### **Módulo de Inferência**

É a parte do sistema que mais se aproxima daquilo que se considera "inteligência" ou "raciocínio", sendo formado de 2 partes : a busca o conhecimento e seu processamento para obter um diagnóstico. A busca, dado que o sistema foi escrito em PROLOG, baseia-se no paradigma de busca reversa sobre regras heurísticas na forma PROLOG. O processamento do conhecimento utiliza o método do programa MYCIN (Shortlife et alii, 1985), que buscou uma representação plausível para os números que o especialista fornece quando perguntado sobre a confiança que tem na conclusão de determinada regra diagnóstica, além de definir métodos que processem informações parciais na busca de conclusões gerais.

O método baseia-se em probabilidade lógica, onde uma evidência E implica logicamente na hipótese H com força X, assim caso  $P(H/E) > P(H)$ , aumenta a crença em H, caso contrário diminui. Obtém-se assim uma medida de crença (+), ou descrença (-), que somadas geram o Fator de Confiança (FC) na hipótese H. Pode-se generalizar este método para várias evidências, além de poder-se levar conclusões de determinada regra a serem evidências de outra regra. Dada uma regra de produção A se B e C, obtém-se de especialistas o FC em A considerando que conhecemos B e C com 100 % de certeza, que será colocado junto a regra na base de conhecimento. Durante a inferência o sistema obterá o FC verdadeiro considerando os FC individuais de B e C, provavelmente diferentes de 100 %.

### **Módulo de Interface**

A comunicação com o usuário é baseada em perguntas e respostas, mais naturais para médicos do que listas de comandos comuns na Engenharia, para obtenção dos parâmetros do ECG; e em comandos, para controle do programa. As respostas do usuário são testadas com a especificação da base de conhecimento, não aceitando-se respostas incorretas ( figura 3 ). Caso algum dado seja fornecido incorretamente ou caso deseje-se testar o comportamento do sistema para um dado levemente diferente, pode-se elimina-lo reiniciando a interpretação com os outros dados ainda intactos. O usuário ainda dispõe de uma tela com a lista de comandos e sua função, além de textos e gráficos de auxílio. Ao final da interpretação todos os dados fornecidos ou calculados podem ser armazenados em disco para uso futuro. Finalmente, um arquivo de configuração, na forma de texto, permite alterar cores, lista de evidências do relatório da interpretação bem como textos e gráficos de auxílio.

### Módulo de Explicação

A explicação consiste em mostrar ao usuário a regra considerada, porém sob uma forma mais clara que a codificação da base de conhecimento. O sistema responde a perguntas "por que", especificando porque determinada evidência está sendo perguntada; "como" explicando como se chegou a determinada conclusão e "?" mostrando um comentário à pergunta inserido na base de conhecimento. Além disto pode-se ter a qualquer instante acesso a um relatório parcial de dados e diagnósticos, útil no acompanhamento da interpretação.

ECGxpert 3.2 - INTERPRETACAO DE ELETROCARDIOGRAMAS		02/03/1989
Programa de Engenharia Biomedica - COPPE - UFRJ		11:06
FC	%	
qual a idade do paciente ? 25		
INTERPRETACAO PARCIAL DO ECG		
crescimento_atrial_esquerdo ( 85.0 )		
qual a forma da onda P ( vl ) ? anormal		
EU considero apenas a(s) resposta(s)		
arredondada , bifida , meseta , pontiaguda , isoeletrica , bifasica ou ?		
qual a forma da onda P ( vl ) ? bifida		

Fig. 3. Tela do ECGxpert

### **RESULTADOS**

O sistema dispõe até o momento de regras para diagnóstico de 25 ritmos e 20 distúrbios cardíacos, num total de 18 regras de sequência de interpretação, 66 regras para diagnóstico, 7 regras de dado, 34 especificações de pergunta/resposta e 3 tabelas.

Para fins de testes introduziu-se 50 ECGs no sistema sendo 15 obtidos da literatura e 35 do arquivo clínico do Hospital Universitário da UFRJ, contendo exemplos de 75 % das patologias diagnosticáveis pelo sistema, com cerca de 5 exemplos por patologia. Cada ECG era acompanhado de 1 laudo clínico, obtido em uma sessão de rotina de interpretação de ECGs, não sendo portanto consenso de 1 ou mais especialistas. Em 70% (35) dos casos o sistema obteve todos os diagnósticos do laudo, sendo 48% (24) com diagnósticos incorretos associados. Em 10% (5) obteve apenas parte dos diagnósticos, sendo 8% (4) com diagnósticos incorretos associados. Finalmente, em 20% (10) dos casos o sistema não obteve nenhum dos diagnósticos do laudo, sendo 18% (9) com diagnósticos incorretos associados.

### **DISCUSSÃO**

Utilizou-se ECGs de rotina, com apenas 1 laudo por ECG, fornecido por 1 médico, pois os testes realizados tinham por objetivo testar a funcionalidade e operacionalidade do sistema, montando a estrutura geral da base de conhecimento, para posterior depuração em discussões com especialistas e estudo de casos especiais. Esta abordagem permite depurar gradualmente a sistema com base em dados de fácil acesso, como literatura e laudos clínicos, e discussões com não especialistas. Assim, ao discutir com os especialistas o sistema já estará completamente estruturado, agilizando a obtenção e representação de seu conhecimento.

Os testes realizados, apesar de parciais, mostram a robustez e operacionalidade do SE implementado, permitindo facilmente colher, implementar e depurar o conhecimento de especialistas na busca de diagnósticos corretos. Os 70% dos casos em que o SE acertou os diagnósticos são promissores como resultado do 1º teste de uma base de conhecimento cujas regras de diagnóstico ainda não foram submetidas à crítica de especialistas. A taxa elevada de diagnósticos em excesso, usualmente 2 por laudo, com repetição contínua de determinados diagnósticos ( WPW,HPE ), mostra claramente que as regras ainda não estão suficientemente específicas. O refinamento das regras, através da crítica de especialistas, e um aumento no número de ECGs testados certamente elevarão o nível de "inteligência" do sistema e com isso sua eficiência.

O uso de regras para representação do conhecimento de interpretação de ECGs foi muito adequada, dado que tanto os especialistas quanto a literatura usam especificações do tipo evidências-hipótese na descrição de distúrbios eletrocardiográficos. A linguagem PROLOG permitiu reduzir em muito as horas de implementação em frente ao computador, dado que não se perdeu tempo programando "como" fazer, mas apenas "o que" fazer. No ambiente criado para o programa, baseado em perguntas e respostas, e complementado por várias formas de auxílio ao usuário, buscou-se simplicidade e obteve-se eficiência. A parte mais crítica do sistema é o modelo de raciocínio aproximado, que utiliza a confiança do usuário em cada uma das evidências, mas não pondera a força com que esta evidência, em comparação com as outras da mesma regra, influencia na hipótese da regra, o que deveria ser considerado nas futuras implementações.

O ponto fundamental no desenvolvimento ( escolha da forma de representação do conhecimento, forma de raciocínio e tipo de ambiente de trabalho ) e implementação ( busca/depuração de conhecimento e testes ) de um SE é a necessidade de um envolvimento estreito entre engenheiro "do conhecimento" e médicos especialistas, dados que o objetivo principal nada mais é do que tornar a experiência do especialista, completamente abstrata, em algo concreto dentro de computadores, ainda completamente "burros", exigindo-se paciência, disposição e tempo, obtendo-se porém resultados surpreendentes.

#### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos em testes preliminares demonstraram a robustez e eficiência do SE implementado, além de sua viabilidade como forma alternativa de abordagem do problema e interpretação de ECGs. Entretanto, um SE exige intenso trabalho de "aprendizado" para tornar-se completamente funcional, podendo-se apenas então partir para comparações de eficiência com outras formas de abordagem.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos devem ser feitos a equipe do Setor de Cardiologia do Hospital Universitário/UFRJ, em especial ao Dr. Decache e Dr. Ivar da Cunha; ao Prof. Arvind Caprihan pelo apoio na fase inicial da tese e ao CNPq pelo custeio da bolsa de mestrado.

## REFERÊNCIAS

- BARR, A. and FEINGENBAUM, E., (1981), The Handbook of Artificial Intelligence, Stanford.
- BROBROW, D.G., (1984), "If PROLOG is the answer, what is the question ?", In:Proceedings of International Conference on Fifth Generation Computer Systems, Tokio, ICOT, p. 138-145.
- CARNEIRO, E.F., (1983), O Eletrocardiograma, Atheneu, Rio de Janeiro.
- HEALTH DEVICES : Arrhythmia Monitoring Systems, (1985), Playmounth, ECRI, v. 14, n. 10.
- KAWANOBE, K., (1984), "Current Status and Future Plans for the Fifth Generation Computer System Project", In:Proceedings of International Conference on Fifth Generation Computer Systems, Tokio, ICOT, p. 3-17.
- LIPMAN, B., (1984), Clinical Electrocardiography, Year Book Medical, Chicago.
- MAYAHARA, H., DOMAE, A. and SATO, T., (1984), "The Reproducibility of Interpretation of 10 Computer ECG Systems by Means of Microprocessor-Based ECG Signal Generator", Computers and Biomedical Research, v. 15, n. 4, pp. 311-325.
- MUNIZ, M.F. e LUNA, R.L., (1973), Eletrocardiografia Clínica, Guanabara KOOGAN, Rio de Janeiro.
- SHORTLIFE, E.H. and BUCHANAN, B.G., ( 1985 ), Ruled Based Expert Systems : the MYCIN experiments of the Stanford Heuristic Programming Project, Addison Wesley.
- TOCCHIO, H., (1986), Interpretação Clínica do Eletrocardiograma, Atheneu, Rio de Janeiro.
- WATERMAN, D.A., (1985), A Guide to Expert Systems, Addison Wesley, New York.

## ECGXPRT : AN EXPERT SYSTEM FOR ELECTROCARDIOGRAM INTERPRETATION

**ABSTRACT** -- The Electrocardiogram (ECG) is one of the most widely used tools in diagnosis as well as treatment of cardiac diseases. In spite of that, the physician needs years of training to get a correct interpretation. Besides, the formal modeling through statistics or signal processing techniques is not easy and uses techniques not common to medicine. Considering the great amount of heuristic knowledge and the use of non numeric clinical data the development of an Expert System (ES) seems appropriate. The ES is written in PROLOG under MS-DOS, is based in rules and interprets ECGs based on the usual ECG parameters obtained through questions to users. It works in the same way as the specialists do, considering the interpretation sequence as well as the evidences searched to prove a diagnostic. It's helpful in clinic and also as a didactic tool assuming that it explains the questions and the results of interpretation. The partial results have shown the power, efficiency and suitability of the system.