

INSTRUMENTOS PARA MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICO-HOSPITALARES: UM EXEMPLO

M.A.C. Farias** e S.E. de Lucena*

RESUMO -- A manutenção de inúmeros equipamentos médico-hospitalares requer não somente manutenção corretiva mas também preventiva, que freqüentemente deve ser feita próxima ao local onde os equipamentos são utilizados. Para tal, são necessários instrumentos de teste que apresentem as características de confiabilidade, exatidão, portabilidade e auto-suficiência. Este trabalho descreve um simulador de ECG e arritmias cardíacas, que satisfaz estes requisitos, e possibilita a manutenção adequada de monitores cardíacos e eletrocardiógrafos (simples e complexos). O simulador desenvolvido é comparado com os descritos na Literatura, e com instrumentos comerciais.

INTRODUÇÃO

Nos hospitais brasileiros, os custos de manutenção dos equipamentos médico-hospitalares, realizada por serviços contratados a terceiros (geralmente, pelo próprio fabricante), são tão onerosos que tornam a manutenção inviável e, às vezes, ameaçam o funcionamento adequado de Instituições (no caso de unidades coronarianas, estes custos chegam a 25% do valor da aquisição, ao ano). Além disso, a manutenção preventiva realizada pelos serviços contratados é de baixa qualidade. Por outro lado, por causa da dificuldade das firmas atenderem às ocorrências em um tempo razoável ("tempo de resposta"), a relação custo/benefício dos equipamentos médicos crescem bastante. No Hospital de Clínicas de São Paulo, este "tempo de resposta" é de três dias, em média, para os serviços próprios e aproximadamente 1 mês para o orçamento por parte de terceiros, segundo uma publicação da SEPLAN-CNPq intitulada "A Instrumentação Biomédica e o Problema da Engenharia de Manutenção nos Hospitais Brasileiros" (1985).

A manutenção adequada de inúmeros equipamentos médico-hospitalares (tais como monitores cardíacos, eletrocardiógrafos, desfibriladores e cardioversores) implica não somente em manutenção corretiva, como também em manutenção preventiva, que deve ser feita para tais equipamentos, pelo menos, duas vezes por ano, e de preferência nas proximidades dos locais de utilização dos mesmos.

Constatou-se, a partir das atividades do Centro de Engenharia Biomédica da Universidade Estadual de Campinas, a inexistência de equipamento de fabricação nacional que possibilite testar o funcionamento de monitores cardíacos e eletrocardiógrafos, desde os mais simples (analógicos e de um só canal apenas) até os mais modernos (digitais, com detecção automática de arritmias e geração de relatórios e curvas de tendências).

Para suprir esta necessidade resolveu-se desenvolver um simulador de ECG e arritmias cardíacas com as seguintes características: alta confiabilidade e exatidão, versatilidade, portabilidade, auto-suficiência, fácil utilização e calibração, e baixo custo. Mais ainda, o simulador que passa-se a denominar SIM-UNICAMP V.II (2ª versão) foi construído com componentes que podem ser encontrados no mercado nacional. Como o conjunto das arritmias simuladas a-

*Aluno de pós-graduação, Faculdade de Eng. Elétrica, FEE-UNICAMP.

**Docente e pesquisadora do Deptº de Eng. Biomédica (DEB)/FEE, e do Centro de Engenharia Biomédica (CEB) da UNICAMP, Caixa Postal 6040, CEP 13081, Campinas-SP, Brasil.

brange as mais importantes arritmias geralmente monitoradas (as contrações ventriculares prematuras), o instrumento revelou-se de grande utilidade no ensino e treinamento de estudantes e da enfermagem da UTI do Hospital de Clínicas da UNICAMP. Uma versão simplificada deste simulador foi apresentada, sob a forma de resumo, no X Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica (1987).

DESCRIÇÃO DO SIMULADOR (SIM - UNICAMP V.II)

A simulação de ECG/arritmias cardíacas pode ser feita com circuitos analógicos, digitais ou híbridos. Os circuitos digitais podem, ou não, incluir unidades microprocessadoras (CPUs). Os simuladores de ECG/arritmias mais simples utilizam quase que exclusivamente só técnicas analógicas, enquanto que os de grande complexidade fazem largo uso de circuitos digitais com microprocessadores.

Este projeto de simulador resultou em um circuito híbrido, sem microprocessador, embora a técnica de simulação de ritmo empregada seja digital, e consiste em gravar previamente todos os ritmos numa memória do tipo EPROM e reconvertê-los para a forma analógica através de um conversor digital/analógico. Esta técnica vem sendo bastante utilizada, principalmente na geração de sinais com formas bizarras, como a maioria dos sinais biológicos (Smith, 1982). Ela se mostra muito flexível porque permite que se mude a forma de uma onda através de modificações de seus códigos digitais correspondentes.

Não é incomum denominar-se de arritmia os padrões de ECG que diferem do ritmo sinusal normal com frequência fixa entre 60 e 100 bpm. No entanto, arritmia significa ausência de ritmo. Assim, não é estritamente correto dizer que certos padrões anormais, como taquicardia sinusal, são arritmias. Por outro lado, padrões do tipo contrações prematuras que acontecem esporadicamente são alterações temporárias de um ritmo básico. Já a fibrilação ventricular caracteriza-se pela completa ausência de ritmo.

No SIM-UNICAMP V.II optou-se por denominar de ritmos todos os padrões de ECG que podem ser simulados pelo instrumento. Estes ritmos podem ser classificados em duas grandes classes: ritmos propriamente ditos (normal e anormais) e eventos.

Passa-se a descrever o simulador, cujo diagrama em blocos é apresentado na Figura 1.

Os ritmos estão gravados em áreas bem estabelecidas da memória de ritmos. Quando a tecla correspondente a um certo ritmo é pressionada, o circuito discriminador de área habilita aquela área, onde o ritmo está gravado, a ser lida. A leitura é efetuada de modo seqüencial, da primeira à última posição de memória, pelo circuito de leitura de área. Quando se trata de um ritmo propriamente dito, o padrão de ECG gravado é lido não somente de modo seqüencial mas também ciclicamente. No entanto, quando qualquer tecla que corresponde a um evento é acionada, a área de memória correspondente é lida uma única vez, e em seguida o circuito de retorno automático ao ritmo normal seleciona por si só o ritmo sinusal com 60 bpm.

Durante a leitura de uma área, a memória fornece os códigos digitais do ritmo ao conversor D/A, que os converte para a forma analógica. Porém, este sinal apresenta o inconveniente dos degraus introduzidos pelo método de conversão D/A. O filtro passa-baixas (Butterworth de 2ª ordem com frequência de corte de 25 Hz) serve principalmente para amenizar estes degraus.

O sinal fornecido pelo filtro passa-baixas é simultaneamente somado com as espículas de marca-passo artificial ou com os pulsos de calibração, caso um destes sinais tenha sido selecionado, e amplificado para um dente quatro

níveis diferentes, determinado pela posição da chave de ganho do amplificador/somador.

Na saída do amplificador/somador o ritmo simulado já apresenta a forma desejada e sua amplitude pode alcançar 1 (um) Volt. Este ponto é usado como a "saída alta" do simulador. Uma rede atenuadora reduz este sinal para os níveis fisiológicos (cerca de 2 mV) e provê também as saídas para as derivações padrão dos planos frontal e horizontal (V, RA, LA, LL e RL).

Uma bateria comum de 9 V, regulada em 5 V, é a fonte de alimentação do simulador. O circuito detector de subtensão desativa um LED quando for necessário substituir a bateria. Normalmente, o LED pisca em sincronismo com a onda R do complexo QRS (se este existir).

Existe uma variedade muito grande de padrões anormais do ECG. Não é o propósito deste instrumento simular todos estes padrões, mas sim somente um subgrupo deles. Os padrões simulados são aqueles que mais frequentemente são detectados pelos sistemas comerciais de monitoração de arritmias. São eles: 1) Ritmo sinusal normal (com 60 bpm), 2) Bradicardia sinusal (com 30 bpm), 3) Taquicardia sinusal (com 120 bpm), 4) Taquicardia ventricular, 5) Bloqueio átrio-ventricular (2:1), 6) Bigeminismo ventricular, 7) Marca-passo artificial assíncrono (com 60 bpm), 8) Fibrilação atrial, 9) Fibrilação ventricular, 10) Assistolia, 11) Bloqueio sino-atrial, 12) CVP basal (CVP = contração ventricular prematura), 13) CVP apical, 14) Fenômeno R-sobre-T, 15) Batimento de fusão, 16) Couplet (um par de CVPs), 17) CVPs multifocais, e 18) Salva de CVPs.

Os primeiros sete padrões são ritmos propriamente ditos. O oitavo, nono e décimo padrões são ritmos no sentido que os trechos de ECG gravados se repetem, porém nos três padrões estes trechos são formas de onda sem ritmo. Os padrões restantes são ritmos do tipo evento.

COMPARAÇÃO ENTRE O SIM - UNICAMP V.II E OS SIMULADORES DESCRITOS NA LITERATURA

Os simuladores, descritos em revistas especializadas que tratam de instrumentação biomédica, podem ser classificados em quatro grupos, sendo os dois primeiros formados por instrumentos exclusivamente analógicos.

Os simuladores do 1º grupo são os mais simples, como os descritos por Tischler (1981) e Agizim e Mel'nichenko (1982). Eles simulam seqüências de ondas R do ECG, numa freqüência escolhida pelo usuário. Os sinais gerados são uma imitação muito grosseira do ECG. Afora a simplicidade (custo) dos circuitos, estes simuladores são incomparavelmente inferiores ao SIM - UNICAMP V. II.

O 2º grupo é constituído por simuladores capazes de gerar essencialmente o ritmo sinusal normal, bradicardia e taquicardia, como os simuladores descritos por Nowotny (1976), Caballero et alii (1978), e Bakema et alii (1979). A qualidade do ECG gerado é relativamente boa, porém ainda apresenta diferenças ("defeitos") em relação a um ECG verdadeiro. O SIM - UNICAMP V.II com um circuito não muito mais complexo do que os circuitos dos simuladores deste grupo, simula todos os sinais gerados por estes, e ainda vários outros, com uma qualidade muito superior. Obviamente, seu custo é maior.

No 3º grupo estão os simuladores que utilizam a técnica de fragmentação e linearização do ECG (linearização por partes), como os descritos por Perimov et alii (1979) e Le-Huy et alii (1987). No primeiro a implementação é feita por circuitos integrados de média escala de integração (como contadores), enquanto que no segundo, por um programa executado por um microprocessa

dor. Estes simuladores apresentam sinais de boa qualidade (muito semelhantes ao ECG real). Entretanto, não são capazes de gerar as arritmias cujos ECGs não podem ser fragmentados em um número relativamente pequeno de segmentos, como por exemplo a fibrilação ventricular. O SIM - UNICAMP V.II é mais simples do que os simuladores deste grupo (do ponto de vista de circuitos, e sobretudo, de utilização), e ainda apresenta a mesma potencialidade para gerar ritmos definidos pelo usuário, já que o conteúdo da memória de ritmos pode ser facilmente alterado. Além disto, ele simula vários tipos de arritmias que não podem ser geradas pelos simuladores deste grupo.

Finalmente, o 4º grupo é composto pelos simuladores híbridos ou essencialmente digitais, que não utilizam a técnica de linearização por partes do ECG, como os descritos por Miyahara et alii (1984), e Mironyuk et alii (1985). O simulador de Miyahara pode amostrar o ECG de um paciente nas 12 derivações padrões, gravar em fita magnética e em memória de acesso aleatório e, assim, criar uma biblioteca básica de arritmias. Os sinais gerados por ele são reais (e não representações) e úteis principalmente para avaliar a exatidão e reprodutibilidade de "performance" de sistemas automáticos de diagnóstico baseados no ECG. Este simulador, que também pode ser usado na manutenção de eletrocardiógrafos e para o ensino de arritmias, é bem mais complexo do que o SIM - UNICAMP V.II, que no entanto é muito mais conveniente para realizar as rotinas de manutenção. Já o simulador de Mironyuk emprega uma técnica semelhante a do simulador desenvolvido: grava em memória permanente os sinais a serem simulados. A qualidade dos ritmos simulados e suas possíveis aplicações são as mesmas do SIM - UNICAMP V.II. Todavia, um detalhe no desenvolvimento deste (o circuito de retorno automático ao ritmo normal) lhe confere a capacidade de gerar algumas arritmias a mais - por exemplo, as CVPs (eventos).

COMPARAÇÃO ENTRE O SIM-UNICAMP V.II E OS SIMULADORES COMERCIAIS

A fim de comparar o SIM-UNICAMP V.II com os simuladores comerciais, organizou-se um quadro comparativo (Tabela 1) e escolheu-se os seguintes parâmetros para a comparação: número de ritmos, qualidade do ECG simulado, custo e aplicações. As cinco indústrias consultadas fabricam vários modelos de simulador de ECG. Por isso, de cada qual, foi citado o modelo que compreende o maior número de arritmias cardíacas e aos quais o SIM-UNICAMP V.II mais se assemelha.

O número de arritmias básicas simuladas pelos modelos citados é muito variável - desde 16 até 72. Todos os modelos permitem a criação de seqüências de ritmos, a partir dos ritmos básicos. O custo de cada modelo é proporcional ao número de arritmias que ele simula. O simulador mais caro custa no Brasil cerca de US\$ 3.300,00 e o mais barato, US\$ 700,00. O custo direto (da matéria prima) do SIM-UNICAMP V.II cerca de US\$ 100,00. Estima-se que seu custo total unitário seria menos que US\$ 200,00. Portanto, menos do que a metade do custo de um simulador comercial de mesma capacidade.

Três simuladores, dos cinco apresentados, foram projetados para serem utilizados principalmente no ensino de arritmias cardíacas. Entretanto, eles podem ser usados para avaliar sistemas de detecção automática de arritmias e, também, na manutenção de máquinas de ECG. Estes são os simuladores mais caros. Os dois outros simuladores são úteis tanto no ensino de arritmias quanto no teste/manutenção de monitores cardíacos (automáticos ou não). Seus preços são mais baixos do que os dos demais. O SIM-UNICAMP V.II, como os dois últimos citados, é útil tanto no ensino como no teste/manutenção de monitores cardíacos. Todos os simuladores são uma ferramenta importante para o desenvolvimento de sistemas (analógicos ou digitais) de captação, processamento e análise do ECG.

Tabela 1 - Quadro Comparativo

Fabricante/ Modelo/País	Número de Ritmos	Qualidade do ECG	Custo em US\$*	Aplicações
Wolf Indus- tries/DS 17/ EUA	16/módulo	Real [§]	425,00	.Manutenção de monito- res card. .Teste de detectores de arrit- mias .Ensino
Valmedix/ 600/EUA	25	Boa ^{§§}	795,00	idem (Wolf Ind.)
Medical Data Electronics /2000-1/ EUA	34	Real	995,00	Idem (Wolf Ind.), mas com ênfase no ensino
Dynatech Ne- vada/213A/ EUA	45	Boa	962,00	Idem (Medi- cal Data Elect.)
Niagara Sa- fety Produc ts/660U0987 Canada	72	Boa	2.046,00	Idem (Medi- cal Data Elect.)
SIM - UNICAMP V.II/Brasil	18	Boa	100,00 (custo direto)	Idem (Wolf Ind.)

§ Real: ECG gravado de pacientes.

§§ Boa: ECG simulado é bem semelhante ao real.

* Preços no porto de embarque (FOB). No Brasil, fica por 1,6xFOB.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Sra. Rosa M. Tase pelo serviço de datilografia, ao Eng^o Alexandre H. Hermini pelo apoio técnico, bem como à CAPES e à FINEP pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGIZIM, G.M., e MEL'NICHENKO, M.N. (1982), "A Standard Generator as a Simulator for the Sequence of R Waves in an ECG", Biomedical Engineering, Volume 16, Number 2, pages 63-65.
- BAKEMA, H., GO, K.H., e MEEK, M. (1979), "Pacemaker Patient Simulator", Medical & Biological Engineering & Computing, Volume 17, Number 5, pages 667-670.
- CABALLERO, F.S., BALSERA, B.M., e BERNAL, J.J.P. (1978), "A Circuit for Obtaining Periodic Signals", Electronic Engineering, Volume 50, Number 603, page 28.

- LE-Huy, P., YVROUD, E., e DION, J.L. (1987), "A Versatile Cardiac Arrhythmia Simulator", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pages 188-192.
- MIRONYUK, A.G., KOSTENKO, V.T., SHEVCHENKO, V.K., e POCHTARENKO, A.M. (1985), "A Programmable Generator of Arbitrary Form and its Application as an EKG Signal Imitator", Biomedical Engineering, Volume 19, Number 2, pages 39-41.
- MIYAHARA, H., DOMAE, A., e SATO, T. (1984), "The Reproducibility of Interpretation of 10 Computer ECG Systems by Means of a Microprocessor - Based ECG Signal Generator", Computers and Biomedical Research, Volume 17, Number 4, pages 311-325.
- NOWOTNY, R. (1976), "Simple E.C.G. Simulation by Pulse - Shaping Techniques", Medical and Biological Engineering, Volume 14, Number 1, pages 86-88.
- PERIMOV, Y.A., LAPTEV, A.A., e STOLYAROV, F.A. (1979), "Simulator for Cardiac-Activity Signals", Biomedical Engineering, Volume 13, Number 2, pages 68-70.
- SMITH, K. (1982), "Module Generates Arbitrary Waveforms Stored in its ROM", Electronics, Volume 55, Number 25, pages 9E-10E.
- TISCHLER, M. (1981), Experiments in General and Biomedical Instrumentation, McGraw-Hill Book Company, U.S.A.

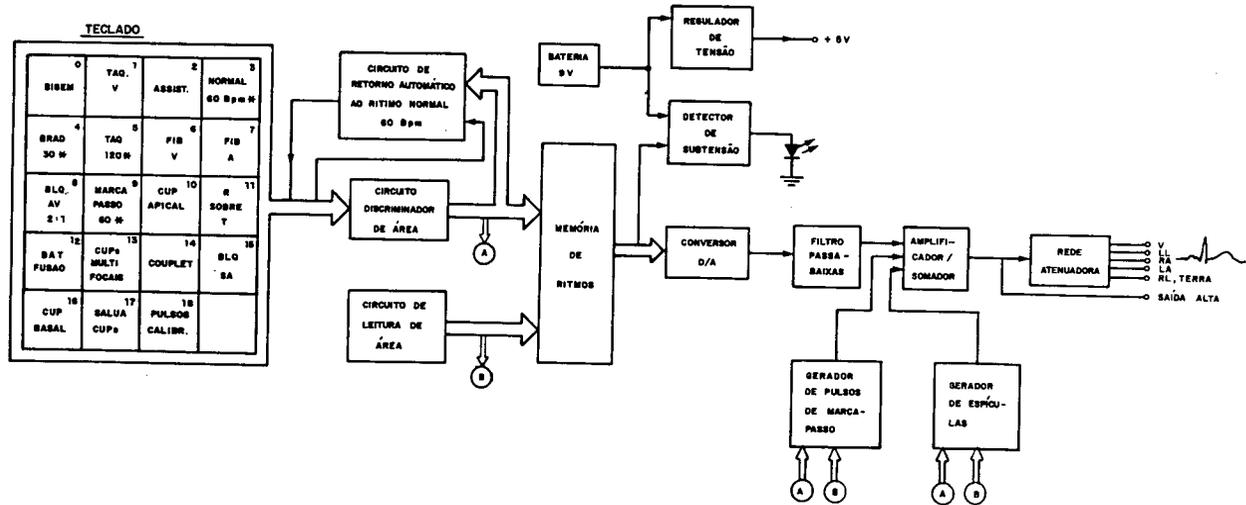


Figura 1. Diagrama em Blocos do Simulador (SIM - UNICAMP V.II)

INTRUMENTS FOR PREVENTIVE MAINTENANCE AND
REPAIR OF MEDICAL DEVICES: AN EXAMPLE

ABSTRACT -- Effective maintenance of several devices requires preventive maintenance and repair, which should be carried out in many instances near the hospital unit where the devices are being used. In order to carry out this task, instruments for testing and calibration are needed. This paper describes an ECG/Cardiac Arrhythmias Simulator which is accurate, reliable, portable and self-sufficient. The simulator is capable of testing equipment ranging from simple electrocardiographs to more sophisticated systems. Its performance is compared to simulators described in the literature, and also to similar commercial instruments.