

SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA ECONOMISTAS RURAIS: POTENCIAL E RELEVÂNCIA¹

CARLOS ARTHUR B. DA SILVA²

RESUMO – Sistemas especialistas (S.E.'s) são programas de computador que procuram reproduzir o processo através do qual especialistas humanos empregam conhecimentos para analisar e solucionar problemas em áreas específicas. Tais sistemas têm recentemente encontrado um número crescente de aplicações práticas. Os principais conceitos dessa tecnologia de software são revistos no presente trabalho, e seu potencial e relevância para a atividade do economista rural são discutidos. Acredita-se que o maior potencial de emprego de S.E.'s na profissão reside em atividades de planejamento e predição, principalmente nos campos de administração e extensão. Dentre as barreiras que dificultam a maior disseminação de S.E.'s entre economistas rurais no Brasil, destacam-se os altos custos de equipamentos e programas no mercado interno, e a carência de profissionais experientes. Sugestões para minorar tais dificuldades são apresentadas neste trabalho.

Termos para indexação: inteligência artificial, microcomputadores, aplicações em economia rural

1. Recebido em 25/09/89

Aceito para publicação em 30/04/90.

2. Econ. Rural, Ph.D.; DTA – UFV, 36570, Viçosa, MG; Trabalho realizado com o apoio do CNPq.

EXPERT SYSTEMS FOR AGRICULTURAL ECONOMISTS: POTENTIAL AND RELEVANCE

ABSTRACT – Expert systems (E.S.'s) are computer programs that attempt to reproduce the processes whereby human experts apply knowledge to analyse and solve problems in specific domains. Such systems are already in use in several practical applications. The major concepts of this new software technology are reviewed and its potential and relevance for the agricultural economics profession are discussed as well. It is believed that major potential areas for E.S.'s applications in the profession comprise planning and prediction related tasks, majorly in the domains of management and advisory services. However, extensive use of E.S.'s in the agricultural economics profession is still inhibited by a number of difficulties. In Brazil, these encompass the high costs of hardware and software in the internal market, and the scarcity of experienced personnel to disseminate this emerging technology. Suggestions to overcome some of these barriers are presented.

Index terms: Artificial intelligence, microcomputers, utilization in agricultural economics

INTRODUÇÃO

Com o rápido desenvolvimento observado na tecnologia da informática nos últimos anos, tem se tornado cada vez mais simples o emprego das novas técnicas e ferramentas disponíveis para o tratamento de dados e informações. Com efeito, em um período de pouco mais de cinco anos, microcomputadores tornaram-se mais acessíveis, em termos de custos e facilidade de uso, e ampla variedade de software faz hoje parte das ferramentas comumente empregadas por economistas e outros técnicos para tornar mais eficientes as suas atividades profissionais.

Obviamente, todo o aparato de hardware e software é absolutamente inútil, se o usuário não possui a especialização necessária para lidar com o problema a ele apresentado. A solução de problemas, que é, em última instância, a síntese da atividade técnica-profissional, requer não apenas a disponibilidade de informações pertinentes e de ferramentas apropriadas, mas, principalmente, de conhecimento.

A partir dessa assertiva, um dos mais promissores ramos da tecnologia

da informação, a área de sistemas especialistas, vem se desenvolvendo em ritmo acelerado. Em termos simplificados, a idéia fundamental de um sistema especialista é a de utilizar o computador como simulador do processo de raciocínio, seguido por experts da análise e solução de problemas. Isto é obtido através da representação simbólica do conhecimento do especialista, em estruturas que permitem tratamento computacional. Por meio dessa representação, usuários que não possuem a especialização necessária para resolver determinado tipo de problema podem interagir com o computador, o qual, através de sucessivos questionamentos, obtém as informações necessárias para análise e apresenta uma solução para o problema apresentado.

Embora os esforços de pesquisa na área de sistemas especialistas já venham se desenvolvendo há mais de duas décadas, somente a partir da metade dos anos 70 é que esta tecnologia de software começou efetivamente a emergir no campo das aplicações práticas (Hayes-Roth et alii 1983; Waterman 1986). No passado, sistemas especialistas receberam ênfase principalmente na área de diagnósticos médicos (Brachman et alii 1983; Harmon & King 1985). Contudo, com o desenvolvimento da tecnologia, as aplicações tornaram-se mais generalizadas, passando a incluir áreas de relevância para profissionais dos mais diversos campos do conhecimento.

Tendo em vista o crescente emprego de sistemas especialistas em áreas de interesse do economista rural, pretende-se, através do presente trabalho, proporcionar uma breve revisão dos principais conceitos relativos ao desenvolvimento e aplicações de tais sistemas. O potencial, a relevância e as limitações dessa tecnologia para o profissional de economia rural são também discutidos. Na abordagem seguida, o detalhamento técnico é evitado na medida do possível, de modo a tornar o trabalho acessível a maior número de interessados. Maiores detalhes sobre o tema podem ser encontrados nas referências apresentadas ao longo da discussão. Uma extensa relação de leituras introdutórias é apresentada por Fordyce et alii (1987).

CONCEITOS BÁSICOS

O que são sistemas especialistas

Embora seja freqüente o uso dos termos "sistemas especialistas" e "inteligência artificial" como sinônimos, existe uma clara distinção entre eles. Sistemas especialistas (S.E.'s) constituem uma das áreas que integram o campo mais abrangente da ciência da computação conhecido como

inteligência artificial (I.A.) A área de I.A. inclui ainda a robótica, o reconhecimento computacional de voz e imagens, e o processamento da linguagem humana em sua forma natural, entre outros aspectos (Winston 1987).

Segundo Feigenbaum, citado por Harmon & King (1985), um sistema especialista é "... um programa de computador inteligente, que usa conhecimento e procedimentos de inferência para solucionar problemas que são suficientemente difíceis para requerer um significativo grau de conhecimento humano na sua solução".

Para exemplificar o conceito, pode-se considerar a seguinte situação hipotética. – Os produtores rurais de determinada região acabam de colher sua safra, e precisam decidir sobre a venda imediata ou armazenagem da produção por certo período de tempo. Muitos deles só tomam a decisão após consultar o especialista em comercialização da cooperativa local. O especialista, após analisar as condições de mercado, as condições financeiras do produtor e outros dados relevantes, aconselha uma estratégia de comercialização para cada caso específico. Vários produtores, com características diferentes, fazem o mesmo tipo de consulta, obtendo também soluções para seus problemas de comercialização. Como o número de consultas ao especialista, durante o período de safra, é muito grande, geralmente suas análises não cobrem toda a gama de alternativas que ele gostaria de considerar. Portanto, em alguns casos a estratégia recomendada nem sempre é a mais adequada.

Para essa situação, um S.E. poderia ser utilizado pela cooperativa para multiplicar a capacidade de atendimento do técnico em comercialização, o que, em princípio, resultaria em melhor nível de aconselhamento aos cooperados. O S.E. procuraria reproduzir o conhecimento do técnico. Ao ser alimentado com os fatos e informações pertinentes, o sistema proporia estratégias de comercialização idênticas, ou até melhores, que as recomendadas pelo especialista humano.

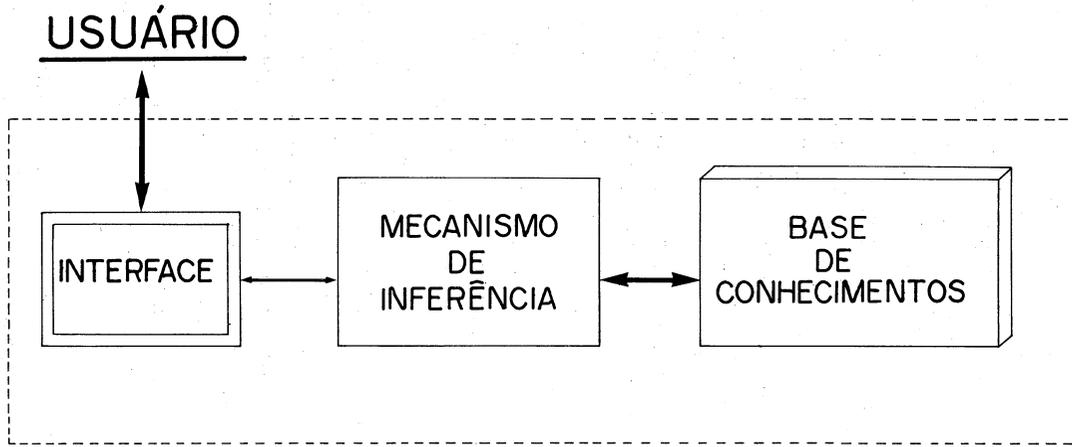
Esquemáticamente, o processo de consulta a um S.E. pode ser representado pelo diagrama apresentado na Fig. 1.

Os três blocos da parte inferior do diagrama representam os principais componentes de um S.E., quais sejam, a interface entre o usuário e o computador, o mecanismo de inferência e a base de conhecimentos do sistema.

A interface é a parte mais simples do sistema; corresponde aos processos convencionais de entrada e saída de dados de um sistema de computação. Este componente apresenta ao usuário perguntas em linguagem cor-

Figura 1

Estrutura de um sistema especialista



FONTE: Adaptado de Holsapple & Whinston, 1986.

rente, tais como "Qual a quantidade de produto que o senhor dispõe para comercializar?", ou "O senhor tem empréstimos bancários para saldar?". Por outro lado, ao concluir a análise do problema, esse componente apresenta a solução em linguagem também simples, como por exemplo: "Baseado nos fatos e informações que me foram apresentados, sugiro a venda imediata de 37% da produção e o armazenamento do restante mediante contrato de empréstimo do governo federal". Meios auxiliares de apresentação de informações, como gráficos e tabelas, podem também ser oferecidos ao usuário, tanto nos processos de questionamento, como na apresentação da solução.

O segundo componente, o mecanismo de inferência, controla o processo de raciocínio embutido no sistema. Através desse mecanismo, são escolhidas as perguntas apropriadas para apresentação ao usuário, e as respostas obtidas são analisadas vis-à-vis o conhecimento representado no terceiro componente, a base de conhecimentos. O mecanismo de inferência opera sucessivamente, até que uma estratégia plausível possa ser recomendada ao usuário. A busca de uma resposta para o problema apresentado constitui a chamada meta (goal) de um S.E.

O terceiro componente é o ponto chave do sistema, pois consiste na representação simbólica do conhecimento do especialista e de seu processo de raciocínio na solução de problemas. Esse é, sem dúvida, o ponto de maior complexidade, pois, embora conceitualmente simples, a idéia de se reproduzir o conhecimento humano em um programa de computador é dificultada por algumas questões de ordem prática. De fato, o conhecimento utilizado por um especialista, como o do exemplo citado, resulta geralmente de longos anos de experiência e acompanhamento de certa área de atividades. Ao lidar com um problema, as soluções do especialista são definidas com base não somente em análises técnicas, facilmente reproduzíveis em um programa convencional de computador, mas também por intuição, por avaliações subjetivas e por regras informais de decisão. Assim, para simular adequadamente o especialista, um programa de computador deve também incorporar tais estruturas menos formais de raciocínio em seus processos de análise e inferência.

A representação do conhecimento de um especialista humano, dentro de uma estrutura que permita o tratamento computacional, pode ser obtida através de estratégias especialmente desenvolvidas para tal finalidade. As estratégias de representação usuais são o sistema de regras, as redes semânticas e os sistemas baseados em "frames". De interesse especial para a

presente discussão é o sistema de regras. Detalhes sobre as demais estratégias são apresentados por Harmon & King (1985), e por Davis (1987).

Num S.E., para o problema hipotético de comercialização aqui considerado, a base de conhecimentos poderia ser representada por um conjunto de regras do tipo: SE – ENTÃO. Uma dessas regras poderia ter a seguinte estrutura: SE (o preço de mercado é menor que o preço mínimo) E (existe necessidade imediata de recursos para saldar compromissos bancários) E (a probabilidade de aumento de preços de mercado no curto prazo é pequena) ENTÃO (aconselho a venda imediata pelo preço mínimo, dentro do programa de Aquisições do Governo Federal). Evidentemente, esta é uma simplificação extrema, com fins puramente ilustrativos. Um sistema realista para a finalidade considerada teria dezenas, talvez centenas de regras, cobrindo todas as possíveis variáveis e estratégias recomendáveis.

Uma regra é integrada por uma ou mais cláusulas, ou premissas, e por uma conclusão. Quando as premissas de uma regra são consideradas verdadeiras, a conclusão também o é. Neste caso, diz-se que a regra foi “acionada” (fired). A meta do S.E. é geralmente representada por uma variável cujo valor é estabelecido quando uma ou mais regras são acionadas.

Para atingir a meta, o sistema precisa “raciocinar”, avaliando as regras que integram a base de conhecimento. Essa avaliação pode ser feita seqüencialmente, a partir da primeira regra, até que todas as demais tenham sido testadas. Esse processo seqüencial é conhecido como encadeamento direto, ou “forward chaining”. Como alternativa, existe o raciocínio ou encadeamento inverso (backward chaining) onde, a partir da meta do sistema, são avaliadas sucessivamente as regras que incluem premissas que a alteram. A eficiência com a qual o sistema obtém uma resposta para um problema tende a ser altamente influenciada pelo método de encadeamento, e o controle sobre essas formas de raciocínio é um importante aspecto do desenvolvimento de um S.E.

Deve ser ainda observado que a base de conhecimentos poderia, adicionalmente, conter regras que levam o sistema a acessar informações representadas em estruturas convencionais, tais como: bancos de dados ou planilhas de cálculo. A qualquer ponto durante o processo de inferência, o sistema poderia recuperar informações de uma base de dados, realizar cálculos numa planilha eletrônica, ou mesmo executar um programa externo, escrito em uma linguagem convencional de programação. Essas possibilidades de integração conferem um grande grau de flexibilidade ao S.E.

Em que difere o S.E. de um programa convencional de computador

Leitores com experiência em programação e que ainda não tiveram oportunidade de familiarização com S.E.'s provavelmente devem ter observado que o sistema descrito não apresenta, na superfície, nenhuma diferença significativa de qualquer outro programa de computador. De fato, a estrutura de regras: SE – ENTÃO, é parte normal do conjunto de comandos básicos das linguagens de programação mais conhecidas. Contudo, as diferenças entre um S.E. e um programa convencional existem e são expressivas.

Programas são geralmente escritos para resolver problemas cuja representação simbólica possa ser apresentada na forma de uma seqüência de operações ou de tarefas pré-determinadas – um algoritmo. O cálculo de uma média aritmética, ou a ordenação alfabética de uma lista de nomes, por exemplo, enquadra-se entre os problemas que podem ser adequadamente representados por algoritmos.

Entretanto, certas estruturas de raciocínio seguidas na solução de problemas não são facilmente representadas na forma algorítmica, e podem ser mais apropriadamente tratadas por processos heurísticos de representação. Um exemplo ilustrativo é o problema que todo motorista resolve mentalmente ao decidir se deve ou não ultrapassar um veículo na estrada. A decisão depende de diversos fatores, sobre os quais as informações disponíveis são, na melhor das hipóteses, incompletas. Para representar esse problema na forma algorítmica, teríamos de dispor de informações sobre a velocidade do veículo a ser ultrapassado, seu comprimento, a potência do motor do veículo que pretende fazer a ultrapassagem, e assim por diante. Entretanto, o mesmo problema é facilmente resolvido por um simples raciocínio do tipo: SE (o veículo a ser ultrapassado, é lento) E (a sinalização permite ultrapassagem) E (não há nenhum veículo trafegando na direção contrária) ENTÃO (pode-se ultrapassar com segurança). Evidentemente, conceitos como "lento", utilizado nesse raciocínio, são determinados intuitivamente, a partir de observação e experiência.

S.E.'s facilitam a representação computacional de tais processos heurísticos usados na solução de problemas práticos. Ademais, S.E.'s oferecem uma facilidade adicional não encontrada em programas convencionais, qual seja a possibilidade de explicar ao usuário a linha de raciocínio seguida na solução do problema. Em qualquer ponto do processo de questionamento ao usuário, ou após a apresentação de uma solução plausível para o problema sob análise, um S.E. pode ser indagado sobre o POR QUE de deter-

minada pergunta e/ou recomendação. A resposta, apresentada em linguagem corrente, permite ao usuário um melhor julgamento sobre a confiabilidade do sistema.

Outras características de S.E.'s que os diferenciam de programas convencionais são: a clara separação entre o controle do fluxo do programa e a base de informações; a não necessidade de uma ordem rígida de raciocínio a ser seguida no processo de busca de soluções pelo sistema; a possibilidade da consideração de informações imprecisas; a tolerância para respostas e soluções apenas satisfatórias (inexatas); e a maior facilidade de manutenção e atualização.

A rigor, poderia ser afirmado que programas desenvolvidos com a tecnologia de S.E.'s poderiam também ser elaborados com uma das linguagens tradicionais de programação. Entretanto, com a tecnologia de desenvolvimento de S.E.'s, torna-se mais simples e eficiente a representação do conhecimento humano.

Aplicações de sistemas especialistas

Em decorrência do caráter relativamente recente do desenvolvimento da tecnologia de inteligência artificial, e em particular da área de sistemas especialistas, não são ainda numerosas as aplicações que já atingiram o estágio de utilização rotineira em ambientes profissionais. Contudo, a julgar-se pela frequência em que novos sistemas vêm sendo descritos nos principais periódicos de referência, o nível de atividade na área é de tal magnitude que o surgimento de ampla variedade de novas aplicações de interesse comercial não deverá tardar. Outro indicador da intensidade em que se pesquisam e desenvolvem aplicações comerciais é o número de empresas de alta tecnologia criadas para essas finalidades nos principais países desenvolvidos, a partir do início da década de 80. Em ampla discussão sobre o mercado de I.A., Austin (1984) relaciona as empresas dedicadas a esse ramo de atividades, assim como os principais investidores que estão empregando capital de risco no seu financiamento; para o ano de 1983, o valor de vendas das empresas de I.A. foi estimado em cerca de 43 milhões de dólares, ao passo que o capital nelas investido totalizava 30 milhões de dólares. Mais recentemente, Harmon & King (1985) estimaram que, em 1990, o mercado de I.A., incluindo S.E.'s, deverá situar-se na faixa de 2 a 3 bilhões de dólares.

Talvez o exemplo mais clássico de um S.E. que tenha encontrado am-

pla aplicabilidade na prática é o sistema MYCIN, desenvolvido na Universidade Stanford (Gaines 1988). Esse sistema permite a diagnose de infecções bacterianas e a recomendação de um tratamento médico apropriado, a partir da análise de dados sobre o quadro clínico de um paciente. Outras aplicações pioneiras incluem o sistema DENDRAL, que possibilita a elucidação de estruturas químicas através da interpretação de espectrogramas (Hayes-Roth et alii 1983), o sistema PROSPECTOR, que identifica jazidas minerais (Duda & Reboh 1984), e o sistema XCON, que combina componentes para a montagem de computadores de acordo com as especificações de clientes (O'Connor 1984).

Mais recentemente, o número de S.E.'s que tem sido discutido na literatura engloba praticamente todos os campos do conhecimento. Os exemplos variam desde a monitoria e controle de casas de vegetação (Jacobson et alii 1989), até a seleção de caminhões para transporte industrial (Malmborg et alii 1988), passando por diferentes aplicações nas áreas de comércio (Leonard-Barton & Sviokla 1988). Diversas outras aplicações existem, e uma abrangente relação é apresentada por Martens et alii (1988). É bem verdade que muitas dessas discussões referem-se apenas a protótipos, a sistemas simples, restritos a classes de problemas de pouca complexidade, ou à proposição de S.E.'s na forma puramente conceitual. Mas em vários exemplos, a utilização de S.E.'s já é rotineira, especialmente em algumas áreas de interesse do economista rural, tais como administração agrícola e extensão rural (Uhrig 1988; Ohlmer 1988). Com efeito, na área de agricultura, o número de aplicações tem crescido bastante, e uma relação é apresentada por Doluschitz & Huber (1989). Prospectos para aplicações na agricultura foram recentemente discutidos em congressos e seminários realizados na Alemanha Federal (DLG 1988; Schiefer 1989). Esses desenvolvimentos motivam a reflexão sobre o impacto dessa tecnologia sobre a atividade de economista rural.

Potencial e relevância

Como ocorre geralmente no processo de introdução de nova tecnologia em uma área profissional, existe um período inicial de ceticismo e desconfiança sobre a sua potencialidade e relevância, a qual é eventualmente seguida por um estágio de maior entusiasmo e aceitação gradativa, até que finalmente a assimilação é generalizada. A introdução de microcomputado-

res como ferramentas no ambiente técnico profissional atravessou, de certo modo, esses três estágios.

No caso da tecnologia de S.E.'s, poderia ser afirmado que estamos vivenciando nesse momento a transição entre o primeiro e o segundo estágios. É ilustrativo o fato de que apenas em 1987 a principal publicação de referência na área de Economia Rural, o periódico "World Agricultural Economics and Rural Sociology Abstracts", introduziu o verbete "expert systems" (sistemas especialistas) em seu sistema de indexação de artigos. Assim, parafraseado Fordyce et alii (1987), nós (economistas rurais) certamente não podemos ignorar os S.E.'s, pois eventualmente seremos usuários da tecnologia, ou criadores de sistemas para outros usuários (produtores rurais, agências governamentais, empresas agroindustriais etc.).

A questão a ser discutida é, pois, que tipo de utilização pode ser encontrado para S.E.'s na profissão e em que áreas específicas. Para tanto, torna-se conveniente apresentar uma caracterização de S.E.'s por tipo de uso, originalmente elaborada por Hayes-Roth et alii (1983). De acordo com essa classificação, as principais categorias seriam:

- a) interpretação, onde S.E.'s inferem descrições de situações a partir de dados obtidos por sensores;
- b) predição, na qual se inferem as conseqüências que podem decorrer de determinada situação;
- c) diagnose, onde, a partir de observações sobre o comportamento de um sistema, se inferem possíveis problemas de funcionamento;
- d) configuração (design), correspondendo à organização ou arranjo de objetos sob restrições;
- e) planejamento, de ações, atividades etc;
- f) monitoria, onde são comparadas observações a respeito de um sistema com determinados padrões pré-estabelecidos;
- g) depuração (debugging), consistindo na prescrição de soluções para o mal funcionamento de sistemas;
- h) reparo, onde S.E.'s executam planos para administrar determinadas prescrições;
- i) instrução, englobando o ensino e monitoramento do aprendizado de indivíduos;
- j) controle, que compreende a interpretação, predição, reparo, e monitoria do comportamento de sistemas.

Cruzando-se essa categorização com uma simples classificação das

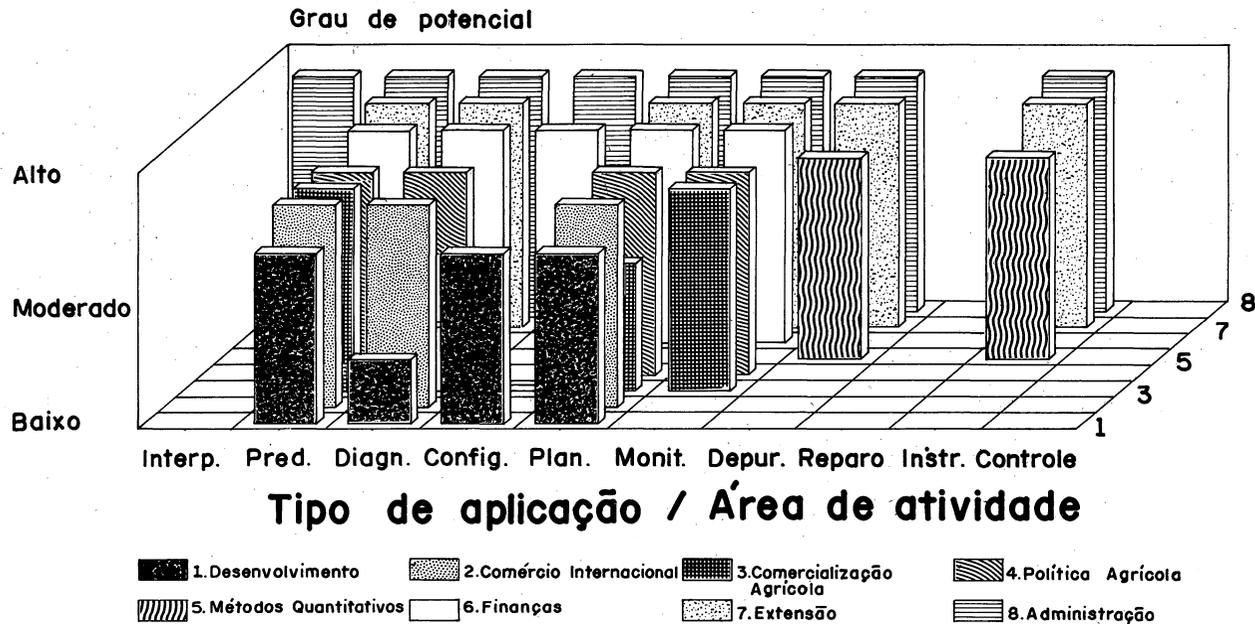
principais áreas de atividade do economista rural, foi elaborado o diagrama de aplicações potenciais apresentado na Fig. 2. Nesse diagrama, procura-se tão somente identificar, segundo uma avaliação subjetiva e pessoal do autor, áreas onde a aplicabilidade deverá ser potencialmente mais intensa. Evidentemente, reconhece-se que, em princípio, aplicações podem ser desenvolvidas para todo e qualquer ramo de atividades onde existam problemas que requeiram o concurso de especialistas para sua solução. Segundo Waterman (1986), o desenvolvimento de um S.E. é possível sempre que as seguintes situações forem observadas:

- a) o problema não requer bom senso para a solução, mas sim conhecimentos propriamente articulados;
- b) o problema não requer habilidades manuais, mas sim cognitivas;
- c) os especialistas podem articular seus métodos de raciocínio, permitindo a representação desse conhecimento no computador;
- d) existem especialistas genuínos para a solução do problema apresentado;
- e) os especialistas concordam quanto à solução adequada para certo tipo de problema;
- f) o problema não é excessivamente complexo, podendo ser resolvido pelo especialista em questão de horas, pelo menos;
- g) o problema é bem definido.

Ainda segundo Waterman (1986), em vez de procurarmos desenvolver S.E.'s capazes de lidar com toda a abrangência de determinado problema, é freqüentemente mais conveniente restringir a especialização de tais sistemas a alguns aspectos mais relevantes desse problema. Essas observações sugerem que o espectro de aplicações é, em princípio, bastante amplo, mas existem certamente áreas onde a potencialidade é mais evidente, conforme sugerem os padrões que emergem da Fig. 2.

A partir do diagrama elaborado (Fig. 2), observa-se que aplicações nas categorias de planejamento e predição são consideradas como as que deverão ser mais dominantes para a profissão. Economistas são freqüentemente solicitados para estabelecer previsões sobre o comportamento futuro de variáveis, ou sobre as prováveis conseqüências de determinadas ações. Para essas previsões, utilizam-se não apenas de métodos quantitativos, mas também de conhecimentos sobre o assunto enfocado, o qual é geralmente obtido ao longo de certo período de experiência profissional. Da mesma forma, são freqüentes as demandas pelo emprego de conhecimentos no estabelecimento de planos de ação para o atingimento de determinados obje-

Figura 2
Potencial de aplicação de S.E.'s
em Economia Rural



tivos. Vários aspectos dessas classes de problemas ocorrem em maior ou menor intensidade em todas as áreas de atividade do economista rural, decorrendo daí, portanto, o padrão de intensidade representado na Fig. 2 para essas duas categorias.

Quanto às áreas de domínio da profissão, acredita-se que as aplicações continuarão a predominar nas áreas de administração e aconselhamento, as quais apresentam problemas em virtualmente todas as categorias de S.E.'s relacionadas. Profissionais que atuam nessas áreas deverão ser os principais beneficiários da tecnologia no futuro próximo. Problemas na área administrativa envolvem geralmente questões relacionadas ao processo de tomada de decisões. Embora S.E.'s não constituam nenhum novo método de suporte à decisão, a metodologia pode permitir a representação de preferências e conhecimento de tomadores de decisão experientes, conforme sugerido por Ligeza (1988). A partir dessa representação, as conseqüências prováveis de decisões alternativas podem ser avaliadas apropriadamente, especialmente se S.E.'s forem utilizados como componentes de sistemas mais abrangentes de suporte à decisão. Nesse caso, estes seriam integrados a bancos de dados, permitiriam a execução de modelos de simulação ou otimização no processo de avaliação de decisões alternativas e interpretariam os resultados dessas análises para o usuário.

É importante também ressaltar o papel de S.E.'s em áreas de suporte à atividade profissional em geral, como por exemplo a seleção e uso de métodos quantitativos para determinado tipo de análise. Alguns sistemas nessa área já estão sendo usados para, por exemplo, auxiliar na determinação de amostras para pesquisas de campo (Idea Works 1989)³, na seleção de um procedimento estatístico apropriado a uma análise de dados (Idea Works 1989), na seleção com o melhor método de previsão para uma série histórica (Ulrich 1989), e na interpretação de resultados de otimizações (Kline et alii 1988).

O potencial de utilização dessa tecnologia pelo economista rural é hoje grandemente ampliado pelo surgimento de ambientes específicos (shells) para o desenvolvimento de S.E.'s. Essas ferramentas, que podem ser empregadas em computadores compatíveis com o padrão IBM-PC, tornam mínima a necessidade de programação para a elaboração de um S.E.

3. A referência a marcas comerciais não implica necessariamente o endosso do autor, ou das instituições mencionadas nesse trabalho.

Algumas das mais conhecidas entre essas são as "shells" GURU (Holsapple & Whinston 1986) e "Personal Consultant" (Texas Instruments 1989; Gaultney et alii 1989). Várias outras existem (Level 5, Knowledge-Pro, Crystal, Nexpert-Object, VP-Expert etc.). Algumas permitem a interação com pacotes já bastante empregados por economistas rurais, como planilhas eletrônicas (Lotus 1-2-3) e bancos de dados (dBase III-Plus). Muitas permitem também a interação com rotinas computacionais escritas em linguagens de programação convencionais. A disponibilidade desses ambientes de desenvolvimento e a popularização do microcomputador deverão colaborar para o surgimento de muitas outras aplicações de uso prático.

Em síntese, pode se afirmar que a tecnologia de S.E.'s irá certamente exercer um impacto na profissão. Tais sistemas permitirão o acesso mais generalizado a domínios do conhecimento que transcendem a especialização profissional de um usuário isolado, o que é especialmente relevante para problemas que são melhor resolvidos com conhecimentos multidisciplinares. Por exemplo, um analista de projetos poderá fazer uso de S.E.'s contendo conhecimentos sobre aspectos agrônômicos de culturas específicas, e melhor avaliar, assim, a adequabilidade dos planos de produção propostos para determinada região. Por outro lado, S.E.'s permitirão a preservação do conhecimento de especialistas com longos anos de vivência em determinado campo de atividades. Profissionais experientes em áreas, tais como: a análise de mercado de produtos agrícolas, ou a estimativa de custos de produção, poderão manter os principais aspectos desse conhecimento disponíveis em suas instituições de trabalho, em caso de um eventual afastamento. S.E.'s possibilitarão, ainda, a distribuição do conhecimento, tornando-o mais acessível a usuários em toda a parte. Órgãos centrais de planejamento agrícola poderão distribuir S.E.'s regionalmente para padronizar metodologias de previsão de safras. Extensionistas farão uso de S.E.'s desenvolvidos centralmente para aconselhar produtores sobre alternativas de financiamento, práticas de cultivo e outros aspectos similares. Enfim, muitas outras aplicações nas áreas empresariais, governamentais e de ensino e pesquisa serão certamente desenvolvidas para o uso do profissional de economia rural.

Limitações

Apesar da grande potencialidade que pode ser visualizada para o emprego de S.E.'s no futuro próximo, algumas dificuldades ainda limitam a sua

maior disseminação. Tais limitações são, em geral, inerentes ao próprio estágio em que se encontra atualmente o processo de desenvolvimento da tecnologia.

Talvez a principal dificuldade existente para a elaboração de um S.E. seja o chamado "problema da aquisição do conhecimento", que consiste nas dificuldades usualmente encontradas no processo de representação computacional do conhecimento de um especialista humano. No exemplo discutido no início desse trabalho, as regras que representam o conhecimento do especialista em comercialização precisariam, de alguma maneira, ser "extraídas" desse profissional. Geralmente, essa aquisição de conhecimento" (knowledge engineer), utiliza-se de métodos de observação, questionamento e refinamento sucessivo das regras "capturadas", até que o S.E. represente adequadamente o conhecimento relevante para o problema abordado. Assim, o processo requer a colaboração direta do especialista e a habilidade do engenheiro do conhecimento para compreender e reproduzir o raciocínio utilizado na análise e solução do problema.

As dificuldades nessa tarefa não devem ser subestimadas. Sabe-se que especialistas tendem a ter dificuldades em articular seu conhecimento em formas que o tornem facilmente compreensível para um analista. Ademais, especialistas nem sempre se sentirão incentivados a cooperar no desenvolvimento de sistemas, seja por desconfiança, por incredulidade ou até por receio de virem a ser eventualmente substituídos pelo sistema em seu trabalho. Analistas, por outro lado, geralmente não estão familiarizados com que terminologia técnica empregada pelo especialista, o que, obviamente, dificulta a interação entre os dois.

O problema da aquisição do conhecimento é tão crítico que já se desenvolvem metodologias e mesmo S.E.'s voltados especificamente para auxiliar nessa tarefa (Harsh 1988; Adiga 1986). Do mesmo modo, sistemas estão sendo desenvolvidos para permitir a indução de regras a partir de exemplos apresentados ao S.E. (Mingers 1986; Gross 1989).

Outra dificuldade diz respeito aos custos envolvidos no desenvolvimento de sistemas, os quais podem ser bastante expressivos, dependendo do grau de complexidade do problema abordado. Além dos investimentos em hardware, que, pelo menos nas condições brasileiras, não são desprezíveis, há que se considerar o custo de aquisição de uma linguagem (ou de um ambiente) de desenvolvimento, e o custo do pessoal envolvido no projeto de elaboração. Essa equipe é geralmente integrada pelo engenheiro do

conhecimento, um ou mais especialistas no domínio do problema abordado, e um ou mais programadores. Descrevendo o processo de elaboração de um S.E. para assistir empresas seguradoras na determinação de valores de indenização de acidentes, Waterman (1986) sugere que para um problema desse tipo, alguns anos podem ser necessários até que o sistema tenha atingido um nível adequado de desempenho. Evidentemente, para problemas de menor complexidade, o tempo de desenvolvimento é reduzido. Provavelmente, esta é a razão pela qual alguns autores sugerem que essa classe de problemas é que deverá receber maior ênfase nas aplicações de S.E.'s a curto prazo (Leonard-Barton & Sviokla 1988).

Ainda quanto ao aspecto de custos, devem ser consideradas as tarifas associadas à distribuição de cópias de sistemas elaborados com o auxílio das ferramentas de desenvolvimento anteriormente mencionadas. Em geral, as empresas que comercializam "shells" para o desenvolvimento de S.E.'s estabelecem limites nesse sentido. Cópias acima do limite estabelecido requerem o pagamento de uma taxa adicional, cujo valor pode chegar a alcançar algumas centenas de dólares americanos por unidade. Para a distribuição ilimitada, faz-se necessário o pagamento de uma taxa extra relativamente elevada, a qual é adicionada ao preço normal da licença de uso da linguagem de desenvolvimento.

Como limitação adicional, deve ser mencionado que ainda são poucos os profissionais realmente experientes na elaboração, implantação e manutenção de S.E.'s e isso prejudica também a disseminação do potencial da tecnologia na profissão. Economistas rurais que desejarem desenvolver sistemas para suas áreas de trabalho provavelmente terão que atuar independentemente, pois serão poucas as oportunidades de obtenção de suporte de um engenheiro do conhecimento experiente. Para superar essa carência de pessoal especializado, algumas empresas estão incentivando seus técnicos a desenvolver protótipos de S.E.'s em seus ambientes de trabalho, oferecendo a esses funcionários "shells" e microcomputadores para uso individual (Leonard-Barton & Sviola 1988). A participação em seminários e em cursos de curta duração é também uma alternativa que deve ser considerada, para a superação da dificuldade representada pela carência de pessoal especializado.

CONCLUSÕES

Com base nos tópicos discutidos nessa breve revisão, pode-se antever

que a tecnologia de S.E.'s passará eventualmente a fazer parte dos recursos disponíveis para o economista rural, no desempenho de suas atividades profissionais. Embora S.E.'s não sejam nenhuma panacéia, existe certamente um número razoável de aplicações na profissão, para as quais a tecnologia é recomendável. No futuro, tais aplicações deverão seguir uma das duas artérias principais que se observam hoje nas outras áreas de atividade. Em um extremo, deverá surgir grande número de aplicações direcionadas a problemas rotineiros, de pouca complexidade. Essa é a tendência que mais se observa hoje nas aplicações desenvolvidas, por exemplo, para a área de extensão rural. Surgirão também, em um outro extremo, aplicações mais elaboradas e complexas, envolvendo milhares de regras, e utilizando dezenas de homens-ano no processo de desenvolvimento.

Existe, pois, a necessidade de oferecer ao profissional de economia rural as informações necessárias para que ele possa avaliar a significância da tecnologia para seu trabalho e espera-se que essa revisão tenha representado um primeiro passo nessa direção. Como passos adicionais, será desejável que se promovam eventos onde o tópico possa ser apresentado e discutido e a sua inclusão nos currículos de formação profissional. Incentivos à pesquisa, por parte das instituições de fomento, são também necessários.

REFERÊNCIAS

- ADIGA, S. **A conceptual design and analysis methodology for knowledge acquisition for expert systems**. Ph.D. Dissertation, Arizona State University, 1986
- AUSTIN, H. Market trends in artificial intelligence. In: Reitman, Walter, (Ed.): **Artificial intelligence applications for business**. Proceedings of the NYU symposium, May 1983; Ablex, Norwood, New Jersey, 1984.
- BRACHMAN R.; AMAREL, S.; ENGELMAN, C.; ENGELMORE, R.; FEINGEBAUM, E. & WILKINS, D. What are Expert Systems? In: Hayes-Roth, F.; Waterman, D. & Lenat, D. (Eds.): **Building Expert Systems**. Addison-Wesley, London, 1983.
- DAVIS, R. Knowledge-based systems: the view in 1986. In: Grimson, W. & Patil, R. (Eds.): **AI in the 1980's and beyond**. The MIT Press, Cambridge, 1987.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft) (ed.): Knowledge based

- systems in agriculture – prospects for application. Proceedings of the international DLG Congress for computer technology. Frankfurt a. M., 1988.
- DOLUSCHITZ, R. & HUBER, U. Expertensysteme in Agrarbereich: an Überblick. In: Schiefer, G. (Ed.): **Expertensysteme in der Agrarwirtschaft: Entwicklung, Erfahrung, Perspektiven; Vorträge der ITMA – Fachtagung “Expertensysteme 1988”**. Wissenschaft Verlag Vauk, Kiel, 1989.
- DUDA, O. & REBOH, R. AI and desision making: the PROSPECTOR experience. In: Reitman, Walter, (Ed.): **Artificial intelligence applications for Business**. Proceedings of the NYU symposium, May 1983; Ablex, Norwood, New Jersey, 1984
- FORDYCE, K.; NORDEN, P. & SULLIVAN, G. Review of expert systems for the management science practitioner. **Interfaces** 17:2 March-April 1987, pp. 66-77.
- GAINES, B. Structure, development and applications of expert systems in integrated manufacturing. In: Kusiak, A. (Ed.): **Artificial intelligence: implication for computer integrated manufacturing**. Springer Verlag, Beldford, 1988.
- GAULTNEY, L. HARLOW, S. & OOMS, W.; An expert system for troubleshooting tractor hydraulic systems. **Computers and eletronics in agriculture** 3, pp. 177-187, 1989.
- GROSS, D. Induction and ID/3: more powerful than we think. **Expert Systems** 5, 4, pp. 348-350, 1989.
- HARMON, P. & KING, D. **Expert systems – artificial intelligence in business**. John Wiley & Sons, New York, 1985.
- HARSH, S. Artificial intelligence – methods and tools and the importance of acquisition of knowledge. In: Deutsch Landwirtschafts gesellschaft (Ed.): **Knowledge based systems in agriclutre – prospects for application**. Proceedings of the international DLG congress for computer technology. Frankfurt a. M., 1988.
- HAYES-ROTH, F.; WATERMAN, D. & LENAT, D. An overview of expert systems. In: Hayes-Roth, F.; Waterman, D. & Lenat, D. (Eds.): **Building Expert Systems**. Addison-Wesley, London, 1983.
- HOLSAPPLE C. & WHINSTON, A. **Manager’s guide to expert systems using GURU**. Dow Jones-Irwin, Homewood, Illinois, 1986.
- Idea Works Inc.; **1989 Catalog**. Columbia, Missouri, 1989.
- JACOBSON, B.; JONES, P.; JONES, J. & PARAMORE, J. Real-time greenhouse monitoring and control with an expert system. **Computers and Eletronics in Agriculture**, 3, pp. 273-285, 1989.
- KLIN, D.; BENDER, B. & VAN DONGE, C. Machinery selection using expert systems and linear programming. **Computers and Electronics**

- in **Agriculture** 3, pp. 45-61, 1988.
- LEONARD-BARTON, D & SVIOKLA, J. Putting expert systems to work. **Harvard Business Review**, pp. 91-98, March-April 1988.
- LIGEZA, A. Expert systems approach to decision support. **European Journal of Operational Research** 37, pp. 100-110, 1988.
- MALMBORG, C.; AGEE, M.; SIMONS, G. & CHOUDHRY, J. An expert system for selection of material handling equipment. In: Kusiak, A. (Ed.): **Artificial intelligence: implications for computer integrated manufacturing**. Springer Verlag, Beldford, 1988.
- MARTENS, P.; BORKOWSKI, V. & GEIS, W. **Betriebliche Expertensystem – anwendungen: eine Materialsammlung**. Spring Verlag, Berlin, 1988.
- MINGERS, J. Expert systems – experiments with rule induction. **Journal of the Operational Research Society**. 37, 11, pp. 1031-1037, 1986.
- O'CONNOR, D. Using expert systems to manage change and complexity in manufacturing. In: Reitman, Walter (Ed.): **Artificial intelligence applications for business**. Proceedings of the NYU symposium, May 1983; Ablex, Norwood, New Jersey, 1984
- OHLMER, B. Analysis of economic efficiency for farms. In: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Ed.): **Knowledge based systems in agriculture – prospects for application**. Proceedings of the international DLG congress for computer technology. Frankfurt a. M., 1988.
- SCHIEFER, G. (Ed.) **Expertensysteme in der Agrarwirtschaft: Entwicklung, Erfahrung, Perspektiven; Vorträge der ITMA-Fachtgung "Expertensysteme 1988"**. Wissenschaft Verlag Vauk, Kiel, 1989.
- Texas Instruments; personal Consultant Series. 1989
- UHRIG, W. The selection of marketing alternatives for grain. In: Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (Ed.): **Knowledge based systems in agriculture – prospects for application**. Proceedings of the international DLG congress for computer technology. Frankfurt a. M., 1988.
- ULRICH, R. Forecast Pro. **PC-Magazine** 8 (5), pp. 232-233, 1989.
- WATERMAN, D. **A guide to expert systems**. Addison-Wesley, Reading, 1986.
- WATERMAN, D. & HAYES-ROTH, F. An investigation of tools for building expert systems. In: Hayes-Roth, F.; Waterman, D. & Lenat, D. (Eds.): **Building Expert Systems**. Addison-Wesley, London, 1983.
- WINSTON, P. Artificial intelligence: a perspective. In: Grimson, W. & Patil, R. (Eds.): **AI in the 1980's and beyond**. The MIT Press, Cambridge, 1987.