

**POTENCIAL DE USO DE SISTEMA
ESPECIALISTA NO APOIO À DECISÃO NA
ANÁLISE SANITÁRIA DE SEMENTES**

MARCELO DE CARVALHO ALVES

2003

MARCELO DE CARVALHO ALVES

POTENCIAL DE USO DE SISTEMA ESPECIALISTA NO APOIO À
DECISÃO NA ANÁLISE SANITÁRIA DE SEMENTES

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, área de
concentração Fitotecnia, para obtenção do título
de "Mestre".

Orientador

Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2003

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Alves, Marcelo de Carvalho

Potencial de uso de sistema especialista no apoio à decisão na análise sanitária de sementes / Marcelo de Carvalho Alves. -- Lavras : UFLA, 2003.

54 p. : il.

Orientador: Edson Ampélio Pozza.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Semente. 2. Patologia. 3. Sistema especialista. 4. Sistemas baseados em conhecimento. 5. Inteligência artificial. 6. Tecnologia da Informação. 7. Teste de sanidade. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.521

MARCELO DE CARVALHO ALVES

**POTENCIAL DE USO DE SISTEMA ESPECIALISTA NO APOIO À
DECISÃO NA ANÁLISE SANITÁRIA DE SEMENTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
Lavras como parte das exigências do Programa
de Pós-Graduação em Agronomia, área de
concentração Fitotecnia, para obtenção do título
de "Mestre".

APROVADA em 15 de agosto de 2003

Prof. Dr. José da Cruz Machado	DFP/UFLA
Prof. Dr^a. Maria das Graças G. Carvalho Vieira	DAG/UFLA
Prof. Dr. João Almir de Oliveira	DAG/UFLA



Prof. Dr. Edson Ampélio Pozza
DFP/UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Dedico aos meus pais, Eurípedes e Ieda, à minha irmã, Mônica, ao meu cunhado, Eduardo, e a todos os meus familiares.

**“se não houver frutos,
valeu a beleza das flores;
se não houver flores,
valeu a sombra das folhas;
se não houver folhas,
valeu a intenção da semente”.**

Henfil

AGRADECIMENTOS

À Capes, pela concessão da bolsa, e à Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização do curso.

Em especial, ao prof. José da Cruz Machado, por ter cedido gentilmente as fotografias contidas no programa, e ao prof. Edson Ampélio Pozza, pela amizade, compreensão, orientação e apoio em todos os momentos.

Aos professores Édila Vilela de Resende Von Pinho, Maria das Graças Guimarães Carvalho Vieira e João Almir de Oliveira pela colaboração, confiança e amizade.

Aos acadêmicos de pós-graduação José Sérgio de Araújo, Flávio Henrique Linhares Magalhães, Maurício Mega Celano e Dejânia Vieira de Araújo, pelo apoio, ajuda e amizade.

À bióloga e analista Ângela de Fátima Santos, pelo auxílio, dedicação e colaboração.

Ao prof. Thiago Ramos, pelos cursos de Macromedia Flash, Macromedia Dreamweaver e Adobe Photoshop.

Ao prof. Rodrigo Nani França, pelo curso de Microsoft Access.

Aos amigos, pelo apoio, carinho e amizade.

E a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	v
1 Introdução.....	1
2 Referencial Teórico.....	4
2.1 Importância da Patologia de Sementes.....	4
2.2. O Teste de Sanidade de Sementes.....	8
2.3 A Tomada de Decisão.....	10
2.4 Inteligência Artificial.....	11
2.5 Sistemas Especialistas.....	13
2.6 Exemplos de Sistemas Baseados em Conhecimento na Agricultura.....	19
3 Material e Métodos.....	21
3.1 Seleção do Problema.....	21
3.2 Desenvolvimento do Protótipo.....	21
3.2.1 Aquisição do Conhecimento.....	22
3.2.2 Organização do Conhecimento.....	22
3.2.3 Teste e Revisão do Protótipo.....	23
3.3 Desenvolvimento do Sistema Especialista Completo.....	23
3.4 Avaliação.....	23
4 Resultados e Discussão.....	27
4.1 Aquisição do conhecimento.....	27
4.2 Organização e Representação do Conhecimento.....	27
4.3 Avaliação do Sistema.....	35
4.4 Considerações Gerais.....	44
5 Conclusões.....	45
6 Referências Bibliográficas.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Arquitetura básica dos <i>SBCs</i>	14
2	Fluxograma do funcionamento básico do <i>SE</i>	28
3	Tela inicial e menu principal do sistema.....	30
4	Tela para escolha da cultura submetida ao <i>Blotter Test</i> e início do <i>SE</i> propriamente dito.....	30
5	Tela de decisão do sistema, com diferentes opções.....	32
6	Tela demonstrando o resultado do programa.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Relação dos hospedeiros e fungos contidos no <i>SE</i>	33
2	Fungos contidos no <i>SE</i> que podem ocorrer em todos os hospedeiros (Culturas) submetidos ao 'Blotter Test'	34
3	Porcentagem média de acerto na identificação de fungos na fase de avaliação, apresentada pelo grupo 1, 2 e 3, antes e depois de usar o <i>SE</i>	36
4	Valores percentuais médios de acertos antes e após a utilização do programa, com os respectivos incrementos considerando os três grupos de usuários.....	38
5	Porcentagens de acertos por grupos na identificação dos fungos na fase de validação do <i>SE</i> , dispostos separadamente por culturas.....	39
6	Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do <i>SE</i> , para o grupo 1.....	41
7	Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do <i>SE</i> , para o grupo 2.....	43
8	Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do <i>SE</i> , para o grupo 3.....	43

RESUMO

ALVES, Marcelo de C. **Potencial de Uso de Sistema Especialista no Apoio à Decisão na Análise Sanitária de Sementes.** 2003. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, MG.*

Os Sistemas Especialistas (*SEs*) pertencem a um ramo da Inteligência Artificial (*IA*) e podem ser definidos como sistemas computacionais capazes de armazenar, explorar, divulgar e perpetuar o conhecimento acumulado nas mais diversas áreas da ciência. Os *SEs* receberam, inicialmente, ênfase na área de diagnósticos médicos e têm sido empregados com sucesso na Agricultura, no manejo e diagnose de doenças. Objetivou-se com o presente trabalho desenvolver e validar um Sistema Especialista para auxiliar na identificação de fungos na Análise Sanitária de Sementes ('Blotter Test'). Foram utilizados os 'softwares' 'Macromedia Flash MX[®]' e 'Macromedia Dreamweaver MX[®]' para o seu desenvolvimento, os quais permitem a divulgação 'on-line' do trabalho (via Internet), apresentando, dessa forma, um diferencial em relação aos textos impressos por não se tornar restrito a um pequeno número de pessoas. O *SE* possui opção que permite auxiliar na identificação de fungos de importância econômica que ocorrem em sementes de algodão, arroz, cenoura, feijão, girassol, milho, soja, sorgo e trigo submetidas ao 'Blotter Test'. São apresentadas fotografias dos patógenos nas sementes e sob montagem de lâminas, que simulam os fungos sob diferentes aumentos do estereomicroscópio e microscópio composto. Para aumentar o nível de certeza do usuário, textos referentes às fotografias e glossário de termos técnicos podem ser consultados. O sistema fornece um nível de confiança na resposta ao realizar uma diagnose e possibilita o acesso a detalhes sobre o patógeno encontrado. Há também no *SE* descrições sobre métodos especiais para identificação de patógenos em sementes, materiais e equipamentos essenciais para um laboratório de Patologia de Sementes e filmes explicativos sobre preparação de lâminas para observação sob microscópio composto, montagem do 'Blotter Test' e Rolo de Papel. O sistema foi validado por 14 usuários com 3 níveis distintos de conhecimento (grupo 1: acadêmicos de Pós-Graduação da área, grupo 2: acadêmicos de Pós-Graduação em outras áreas e grupo 3: acadêmicos do curso de graduação em Agronomia). Por meio da porcentagem de acerto obtida antes e após a utilização do *SE*, obtiveram-se os seguintes resultados: grupo 1: antes de acessar o programa, a média foi de 62,3%, e após sua utilização, foi de 95,2%; para o grupo 2 e 3 obteve-se: 0% de acerto antes de usar o programa, e após a utilização do mesmo, a porcentagem de acerto médio subiu para 88,1% e 95,2%

*Comitê Orientador: Edson Ampélio Pozza – UFLA (Orientador) e José da Cruz Machado – UFLA.

respectivamente. Considerando todos os fungos testados na fase de validação, independente de seus hospedeiros (culturas), o *SE* em Patologia de Sementes proporcionou para o grupo 1 um incremento na porcentagem média de acerto após a utilização do sistema de 35,33%, de 86% para o grupo 2, e de 94% para o grupo 3. Na análise estatística realizada pelo teste do χ^2 , os resultados obtidos antes da utilização do *SE* foram significativos para os grupos 2 e 3, e não-significativos para o grupo 1. Após a utilização do sistema, os resultados foram não-significativos para todos os grupos. Dessa forma, pode-se verificar a eficácia do 'software' como ferramenta de apoio à decisão na identificação dos fungos ocorridos no 'Blotter Test', e também confirmar o fato de o Sistema Especialista permitir o acesso de não-especialistas a áreas com domínio de aplicação bem definido, delimitado e específico, como em Patologia de Sementes.

ABSTRACT

ALVES, Marcelo de C. **Expert Systems' Potential of Use in Decision Support to Seed Health Analysis.** 2003. 54 p. Dissertation (Master in Crop Science) – Federal University of Lavras, MG.*

The Expert Systems (*ES*) belong to an Artificial Intelligence branch (*AI*) and can be defined as computational systems capable to store, to explore, to publish and to perpetuate the accumulated knowledge in most areas of science. The *ES* received, initially, emphasis on the medical diagnoses area and, currently, has been used successfully in the agriculture, in handling and diseases diagnosis. The objective of this work was to develop and validate an Expert System in order to facilitate the fungi identification in the Seed Health Analysis (Blotter Test). Macromedia Flash MX[™] and Macromedia Dreamweaver MX[™] were used for the system development, which allow on-line popularization of the work (through Internet), presenting a differential in relation to printed texts, for not becoming restricted only to a small number of users. The *ES* will be able to help in the identification of the major economical importance fungi that occur in seeds of bean, carrot, corn, cotton, rice, sorghum, soybean, sunflower and wheat submitted to the Blotter Test. The *ES* contains pictures of the pathogens on the seed surface and in glass slides mounts, simulating them under different magnification of the stereomicroscope and compound microscope. To increase the level of certainty by the user, the *ES* has a glossary of technical terms and texts related to the pictures. When the user arrives at a diagnosis, the system shows a reliability level in the reply. The *ES* presents special method description for pathogens diagnosis in seeds, materials and essential equipments in a Seed Pathology laboratory, a film on glass slide preparation and on setting up Blotter Test and Roll Paper Method. The system was validated by 14 users of three different levels of knowledge: high (group 1), medium (group 2) and low (group 3) levels of experience/knowledge in Seed Health Analysis. Based on the percentage of success obtained before and after the use of the *ES*, the following results were observed: group 1: before accessing the program, the average was 62,30%, and after use, 95,24%; for the groups 2 and 3: 0% of success before using the program for both groups. After the use, the success percentages were 88,10% and 95,24%, respectively. Considering all the fungi tested in the validation phase, independent of their hosts (cultures), the *ES* in Seed Health analysis provided for the group 1 an average percentage of success increment of 35,33% after the use of the system, of 86% for the group 2, and, of 94% for the group 3. By means of the χ^2 test, the results before the use of the system

*Advising Committee: Edson Ampélio Pozza – UFLA (Adviser) and José da Cruz Machado – UFLA.

were significant for the groups 2 and 3, and not significant for the group 1. After the use of the system, the results were significant for all groups. In that way, the *ES* effectiveness was demonstrated as an important tool to support decision in the identification of the fungi in the Blotter Test, and also it was confirmed the fact that an Expert System allows non specialists to access areas with very specific delimitation as in the present case of Seed Pathology.

1 INTRODUÇÃO

Em nenhuma outra época, nos últimos dez mil anos, a raça humana vivenciou um estado de incremento constante de conhecimento e tecnologia como nos dias atuais. O homem vem se tornando cada vez mais dependente de estruturas baseadas em informações, e as redes de computadores passam a ser o elo entre as pessoas, organizações e grupos sociais. Para se ter uma idéia da velocidade do nosso crescimento tecnológico, dentro de duas décadas, a maioria das transações comerciais provavelmente irá ocorrer entre ciberpersonalidades via 'Word Wide Web' (WWW), e nas próximas centenas de anos, a engenharia genética humana poderá substituir a evolução biológica, levantando questões éticas totalmente novas (Hawking, 2001).

Nos últimos 30 anos, o mundo enfrentou a transição da economia industrial para a economia de informação, na qual o sucesso é determinado pelo saber e não por bens materiais. Nesse novo contexto econômico, a Tecnologia da Informação (TI) representa uma das principais forças de mudanças, sendo insumo decisivo para integrar e reestruturar as empresas, em razão de serem mais competitivas e produtivas (McGee & Prusak, 1995; Jesus, 2002).

Tecnologias da Informação têm sido utilizadas intensamente pelas organizações que estão se reestruturando no novo formato e na nova forma de operação imposta pelo mercado mundial. Os impactos das TIs já foram tão significativos, que suas mudanças trarão conseqüências mais profundas e rápidas que todas as revoluções tecnológicas anteriores, alterando o perfil de toda a sociedade e de suas organizações (Turazi, 2001). Por outro lado, o avanço da ciência em certas áreas provoca um certo receio nas pessoas, dando a impressão de ocorrer uma inversão da "ordem natural das coisas". Os avanços nas experiências genéticas e da Inteligência Artificial, por exemplo, provocam a admiração de muitos que prevêem diversas aplicações benéficas; no entanto,

outros ficam indignados, preocupando-se com a má utilização desses conhecimentos.

Os Sistemas Especialistas (*SEs*) fazem parte de uma entre as várias aplicações da Inteligência Artificial (*IA*) e são atualmente utilizados como ferramentas de aumento de qualidade e produtividade, sendo também importantes no apoio à tomada de decisões estratégicas. Por tornar possível o acesso de não-especialistas às mais diversas áreas do conhecimento, esses sistemas estão sendo utilizados com sucesso na Agricultura por meio da transferência do conhecimento de domínio de especialistas para profissionais da extensão e empresários rurais (Yialouris et al., 1997; Badjonski & Ivanović, 2000; Edrees et al., 2003; Mahaman et al., 2003).

As aplicações dos Sistemas Especialistas para incremento na produção de culturas e manejo de pragas e doenças não são recentes (Atkinson & Gammerman, 1987; Saunders et al., 1989; Haley et al., 1990; Jones et al., 1990; Rafea et al., 1992; Waksman, 1992; Wells et al., 1993; Shipp et al., 1993; Boyd & Sun, 1994; Pozza et al., 1999; Pinto, 2001). No intuito de organizar alguns Sistemas Especialistas desenvolvidos para a Agricultura, mais precisamente em Fitopatologia, Pozza (1998) descreve 29 sistemas com diferentes objetivos, abrangendo as seguintes culturas: abacaxi, abóbora, ameixa, avelã, batata, cereais, cravo, frutas e hortaliças, essências florestais, maçã, melão, milho, pêssego e nectarina, soja, tomate, trigo e videira. Muitos desses *SEs* foram desenvolvidos para culturas idênticas com diferentes objetivos, já que esses atuam dentro de domínios de conhecimento restritos e bem delimitados, cobrindo geralmente apenas uma cultura ou um aspecto de um problema vegetal. Apesar do grande número de *SEs* agrícolas já existentes, ainda não se verificou a ocorrência desses programas aplicados diretamente aos Testes de Sanidade de Sementes.

Os *SEs* podem reduzir o erro ou auxiliar pesquisadores e laboratoristas, aumentando a confiabilidade dos Testes de Sanidade, pois são capazes de disponibilizar conhecimento sem a presença de um especialista.

Testes de Sanidade comparativos realizados por membros da ISTA demonstram que o fator humano é o causador da maior discrepância entre os resultados comparativos internacionais e, em geral, a falta de prática do analista é a principal causa de variação desses testes (Neergaard, 1979).

Diante das facilidades que os sistemas computacionais fornecem aos profissionais como ferramenta de apoio à decisão e pela existência de pessoas interessadas nos benefícios que podem ser obtidos mediante o uso dessa tecnologia, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver e validar um Sistema Especialista para identificar fungos no Teste de Sanidade de Sementes, com o intuito de verificar a hipótese de que o conhecimento em Patologia de Sementes pode ser ordenado e organizado de forma lógica a se constituir um Sistema Especialista.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância da Patologia de Sementes

Etimologicamente, Patologia de Sementes é o estudo de doenças de sementes. Entretanto, pode ser definida como a ramificação da Agronomia que trata das implicações relativas à associação de patógenos com sementes, considerando-se todas as etapas do sistema de produção, tendo como alvo principal o controle de doenças dos vegetais, propagadas por sementes (Machado, 1987).

Na composição da Patologia de Sementes, são utilizados princípios interdisciplinares com origem em disciplinas como Anatomia, Morfologia Vegetal, Fitopatologia, Microbiologia, Epidemiologia, Climatologia, Estatística, Tecnologia de Controle de Fitodoeças, Tecnologia de Sementes e Melhoramento Vegetal visando à resistência de doenças (Neergaard & Mathur, 1980; Machado, 1987).

As atribuições da Patologia de Sementes podem ser listadas como: levantamento e estudo dos patógenos associados a sementes; caracterização e avaliação de perdas provocadas por patógenos a partir de sementes; estudo sobre a dinâmica e mecanismos de transmissão de patógenos; desenvolvimento de métodos de detecção e controle de patógenos em sementes; estabelecimento de índices de tolerância; desenvolvimento de métodos de controle de doenças em campos de produção de sementes; estudo de causas e controle de deterioração de sementes em armazenamento (Machado, 1987).

Sementes contaminadas por microrganismos constituem-se como fonte de inóculo inicial para o surto de epidemias no campo, que podem vir a prejudicar a qualidade das sementes em todas as etapas do sistema produtivo (fase de campo e pós-colheita), inclusive nas etapas de beneficiamento, armazenamento e comercialização (Machado, 2000).

A qualidade da semente pode ser definida como o somatório dos atributos genéticos, físicos, fisiológicos e sanitários que afetam a capacidade da semente em originar plantas de alta produtividade (Popinigis, 1977; Carvalho, 1999).

A maioria dos agentes etiológicos de doenças de plantas pode ser transmitida por sementes. Esses patógenos afetam a qualidade fisiológica das sementes (germinação, vigor e longevidade), prejudicando o estande, rendimento e qualidade nutritiva dos grãos. Os danos causados por patógenos às sementes são relatados como deformações, apodrecimento, estromatizações, manchas necróticas e descolorações (Popinigis, 1977, Lucca Filho, 1985; Machado, 1988; Carvalho, 1999; Machado, 1999).

A associação de patógenos com sementes apresenta fundamental importância, uma vez que 90% das culturas destinadas à produção de alimentos no mundo são sujeitas ao ataque de doenças. A maioria dos agentes causais de doenças de plantas pode ser transmitida por sementes e relatos publicados periodicamente pela ISTA (International Seed Testing Association) demonstraram a associação de aproximadamente 1.500 espécies desses agentes patogênicos com seus hospedeiros, incluindo bactérias, fungos, nematóides e vírus. Esse número seguramente tem sido acrescido à medida que se conhece melhor as relações patógeno/hospedeiro, considerando a co-evolução natural dessa interação biológica (Neergaard, 1977; Richardson, 1979; Machado, 1999; Machado, 2000).

A associação de patógenos com sementes data, provavelmente, do momento em que as angiospermas tornaram-se a flora dominante há cerca de 130 milhões de anos e as sementes passaram a ser a forma usual de reprodução de plantas (Baker, 1979). Do ponto de vista moderno, a Patologia de Sementes é caracterizada por uma composição histórica relativamente curta, na qual os autores Baker (1972, 1979), Neergaard (1977) e Noble (1979) podem ser

considerados como os três mais destacados personagens que compõem sua história (Machado, 1987).

Os primeiros relatos da associação patógeno-sementes datam de 1699 (Ergot do centeio), 1743 (Anguina no trigo) e 1755 (Cárie do trigo), entretanto, só em 1917 foi demonstrado o efeito de fungos associados às sementes prejudicando seu vigor.

Em 1919 houve um grande impulso da Patologia de Sementes, tendo como pioneira a Dra Lucie Doyer, que foi responsável pela implantação do primeiro Laboratório Oficial de Sanidade de Sementes na Holanda, e publicação do primeiro livro sobre Patologia de Sementes (Manual de Patógenos Associados às Sementes) em 1938. (Noble, 1979; Machado, 1987; Menten et al., 2002). De acordo com Machado (1987), entre inúmeras contribuições de valor histórico que sucederam Dra Lucie Doyer podem ser destacados trabalhos de alguns patologistas, como Baker (1969, 1972, 1979), Baker & Smith (1966), Leach (1967), Limonard (1968), Malone & Muskett (1964), Naumova (1972), Neergaard (1962, 1970, 1972, 1977), Noble et al. (1958, 1966), Noble (1979), Richardson (1979), De Tempe (1961, 1970).

Em 1967, sob a direção do Dr. Paul Neergaard, foi implantado oficialmente o Instituto Dinamarquês de Patologia de Sementes, estendendo essa ciência de forma eficaz para os países desenvolvidos e em desenvolvimento (Machado, 1987; Menten et al., 2002).

Até o momento, a ISTA destaca-se por ser um instituto internacional que se dedica a assegurar a qualidade sanitária de sementes, atuando nesse setor há 75 anos.

No Brasil, os estudos sobre Patologia de Sementes iniciaram-se em 1926, quando se realizaram os primeiros ensaios sobre tratamento de sementes com fungicidas. Entretanto, apenas na década de 70 começaram a ser utilizados

procedimentos e métodos apropriados para detectar e identificar patógenos associados às sementes (Menten et al., 2002).

Em 1977, foi realizado o 1º Workshop Latino Americano de Patologia de Sementes, em Londrina, PR, e desse encontro surgiu a elaboração do Programa Brasileiro de Patologia de Sementes, com objetivos de coordenar o desenvolvimento de pesquisas, organizar treinamento de pessoal e difundir a tecnologia desenvolvida pelo referido programa (Machado, 1987). A partir dessa data, houve a criação do COPASEM (Comitê de Patologia de sementes) na ABRATES (Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes) para o desenvolvimento de testes comparativos e de aferição, Simpósios Brasileiros de Patologia de Sementes e criação de diversas linhas de pesquisa (Menten et al., 2002).

Atualmente, o grupo GTPSS (Grupo Técnico Permanente de Sanidade de Sementes) criado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), por intermédio da Secretaria de Defesa Agropecuária, é responsável pelo estabelecimento de padrões sanitários para PNQRs (Pragas Não-Quarentenárias Regulamentadas) em sementes (Machado, 2002; Parizzi, 2002).

As PNQRs podem ser definidas pela OMC (Organização Mundial do Comércio), como organismos ou agentes que podem causar grandes danos às plantas cultivadas, provocando impactos econômicos inaceitáveis, ou, no âmbito da Patologia de Sementes, como patógenos compreendidos nos grupos dos fungos, bactérias, vírus e nematóides (Machado, 2002).

Segundo Machado (2000), a associação de patógenos com sementes podem resultar em redução do poder germinativo e vigor das sementes; introdução aleatória e precoce de focos de infecção em áreas de plantio; acúmulo de inóculo em áreas de cultivo; necessidade de aplicação de produtos fitossanitários; aumento de custos para o combate das doenças introduzidas nas

áreas de plantio; formação de sementes anormais; redução do número e peso de sementes; disseminação de doenças a longas distâncias; deterioração de sementes durante o período de armazenamento; contaminação de máquinas e equipamentos de beneficiamento; meio de perpetuação de doenças entre gerações; inutilização temporária de áreas para o cultivo de determinadas espécies vegetais.

Em Patologia de Sementes, uma semente encontra-se infectada quando o inóculo do patógeno está presente no interior dos tecidos da mesma, e contaminada, quando o inóculo está apenas aderido a sua superfície externa (Menten, 1986; Machado, 1988; Carvalho, 1999).

A preocupação com o uso de uma semente infectada ou contaminada reside nos danos diretos que podem ser causados a uma população de plantas no campo, abrangendo uma série de outras implicações que podem levar à ocorrência de danos irreparáveis em todo o sistema agrícola.

O impedimento do uso de sementes portadoras de patógenos é uma medida para, acima de tudo, proteger o sistema agrícola garantindo o crescimento e sustentabilidade da atividade agrícola (Machado, 1987; Machado, 1999; Machado, 2000).

2.2 O Teste de Sanidade de Sementes

A análise de sementes visando a determinar a qualidade sanitária de uma amostra e do lote que a representa é um pré-requisito básico em Defesa Vegetal, Certificação de Sementes e Programas de Melhoramento. Existem vários métodos para detecção de patógenos em sementes, os quais diferem em sensibilidade e tipos de equipamentos utilizados. A escolha do teste irá depender do(s) patógeno(s) a ser(em) detectado(s), da infra-estrutura disponível no laboratório, do grau de treinamento de pessoal envolvido na interpretação do

resultado do teste, e do próprio objetivo do teste (ISTA, 1976; Neergaard, 1979; Coutinho, 2000).

O Teste de Sanidade é utilizado por duas razões primárias. A primeira consiste em verificar plantas em quarentena, e a segunda, para possibilitar o controle doméstico de doenças de plantas. Verificam-se outras situações em que esses testes são utilizados com diferentes finalidades, tais como: avaliar o valor cultural de uma determinada espécie; determinar se um patógeno associado à semente pode afetar um estande de plantas e seu estabelecimento; avaliar resistência de cultivares a patógenos que infectam sementes; verificar a necessidade do tratamento das sementes; conhecer a eficiência de fungicidas verificando o nível crítico abaixo do qual sua utilização pode reduzir a incidência de patógenos; determinar a qualidade de sementes armazenadas (Lucca-Filho, 1987; Machado et al., 2002).

Os métodos usualmente utilizados no Teste de Sanidade de Sementes são Inspeção de Campo, Inspeção Visual Direta, Incubação, Inspeção após o Estágio de Plântula, e Sorológicos (Machado et al., 2002). Dentre esses métodos, o de Incubação em Papel de Filtro 'Blotter Test' é um dos mais utilizados, aplicado para todos os tipos de sementes, incluindo sementes de cereais, hortaliças, ornamentais e florestais, e é eficiente na detecção de um grande número de fungos associados à amostra analisada (Neergaard, 1979; Machado, 1988; Coutinho, 2000). Vale salientar que os fungos compreendem o maior grupo de agentes patogênicos que podem associar-se às sementes de plantas, seguido das bactérias, e em menor proporção, dos vírus e nematóides (Machado, 2000).

Apesar de sua grande aplicação, o 'Blotter Test' apresenta como limitações a dificuldade de se detectar em bactérias patogênicas, fungos de crescimento vegetativo muito lento e favorecer o crescimento de algumas espécies de fungos contaminantes (Neergaard, 1979; Coutinho, 2000). O método

também não detecta fungos biotróficos transmitidos por sementes, como os causadores de míldios e carvões (Machado, 1998; Coutinho, 2000).

A qualificação sanitária de um lote de sementes representa um recurso dos mais valiosos no sentido de se evitar uma série de problemas que podem comprometer o desempenho das sementes sob vários aspectos, podendo servir como subsídio para a tomada de decisão que visa a atenuar a ação negativa dos patógenos sobre a qualidade das sementes (Tanaka & Machado, 1985; Machado, 1988; Carvalho, 1999; Machado, 1999).

2.3 A tomada de decisão

A atividade máxima de qualquer líder, seja qual for a situação, é a tomada de decisão. Nesse momento, o profissional demonstra toda a sua capacidade de gerenciar os seus subordinados na execução de seu trabalho. A tomada de decisão consiste basicamente na escolha de uma opção entre diversas alternativas, seguindo passos previamente estabelecidos que culminam na resolução de um problema (Bínder, 1994).

A informática pode tornar-se extremamente útil no processo de tomada de decisão, pois possibilita obter dados com melhor qualidade e maior velocidade, podendo, em alguns casos, sugerir novos caminhos decisórios (Bínder, 1994). Na Patologia de Sementes, principalmente nos Testes de Sanidade, existem situações de dúvida nas quais é necessária a tomada de decisão, como, por exemplo, qual a identidade do fungo.

Testes de Sanidade comparativos realizados entre membros de diversos países da Comissão de Fitopatologia do ISTA têm mostrado que o maior fator de discrepância entre os resultados comparativos internacionais é o fator humano. Em testes de rotina, nos quais é necessário observar um grande número de amostras em curto espaço de tempo, é essencial que o analista tenha a habilidade de distinguir rapidamente entre fungos e sintomas semelhantes. Em geral, a falta

de prática é a principal causa de variação em testes comparativos (Neergaard, 1979).

O desenvolvimento da habilidade de reconhecer infecções leves e detectar a presença de fungos ao primeiro sinal de micélio, mesmo antes da esporulação, pode ser decisivo. A familiaridade com as características morfológicas do micélio (cor, tipo de micélio e colônia), cor e forma dos conidióforos e forma, tamanho e disposição dos conídios são essenciais para se poder distinguir diferentes patógenos na mesma semente (Yorinori, 1987).

2.4 Inteligência Artificial

Entre os vários desafios enfrentados pelo homem, o que mais se destaca, é a possibilidade de criar máquinas inteligentes: robôs, capazes de tomar decisões e executar as mais diversas tarefas. Recentes avanços da Inteligência Artificial (IA) comprovam que esse desafio já foi vencido por meio da criação do robô COG (andróide projetado para simular a forma, pensamentos e sentimentos humanos, capaz de interagir com o ambiente ao seu redor) no 'Massachusetts Institut of Technology', e a do computador DEEP BLUE (sistema de apoio à decisão para aplicações múltiplas na área financeira, na medicina e na educação) pela IBM. Em maio de 1997 o supercomputador DEEP BLUE jogou uma fascinante partida com o Campeão Mundial de Xadrez Gary Gasparov, evento transmitido em tempo real pelo 'web site' da IBM, permitindo que milhares de pessoas testemunhassem a vitória do DEEP BLUE e impressionando a todos pela perplexidade gerada com a criação de um cérebro artificial (Pozza, 1998, IBM Research,2003).

Em 1956, com o propósito de discutir as possibilidades de desenvolver programas computacionais que pudessem "se comportar" ou "pensar" de forma inteligente, foi criado o termo "Inteligência Artificial". Tal fato ocorreu em um 'Workshop' no Dartmouth College em Hanover, New Hampshire- EUA, pelo

matemático John McCarthy, considerado por muitos como o “pai da IA”. Atribui-se a esse evento o nascimento da Inteligência Artificial como área da ciência (Gardner, 1995; Russel & Norvig, 1995).

A Inteligência Artificial é um campo de estudo multidisciplinar e interdisciplinar, com apoio no conhecimento e evolução de outras áreas, e pode ser definida como os processos capazes de imitar o ser humano na tarefa de aprender, efetuar julgamentos ou tomar decisões. A Inteligência Artificial é utilizada por um grande número de empresas em todo o mundo, entretanto não é apenas um campo comercial, e sim tecnológico e científico, sendo uma coleção de conceitos e idéias pesquisadas em várias disciplinas, tais como: Administração, Biologia, Ciência da Computação, Engenharia, Filosofia, Lingüística, Psicologia (Turban & Aronson, 1998) e Agronomia (Edward-Jones, 1993).

Segundo Pozza (1998), as primeiras conquistas da IA datam da década de 70, com o avanço na complexidade e velocidade dos computadores e surgimento dos Sistemas Especialistas. Também nessa época, foram desenvolvidos os primeiros programas para prever doenças de plantas na Agricultura, tais como o BLITECAST e o SISTEMA PARA PREVISÃO DA SARNA-DA-MACIEIRA (Krause & Massie, 1975; Krause et al., 1975).

A primeira contribuição da IA em Fitopatologia partiu de Michalski e colaboradores em 1981, por meio do desenvolvimento de um Sistema Especialista para diagnose de doenças da soja (Michalski et al., 1981). Na atividade agrícola, a utilização de modernos componentes eletrônicos tem gerado tecnologia para diferentes segmentos do setor produtivo, tais como os sistemas automatizados de previsão de doenças, classificação de produtos, controle de qualidade de ambientes pós-colheita, desenvolvimento de robôs utilizados em casa de vegetação, pomares e áreas florestais (Chow & Bernard, 1999; Studman, 2001; Tanner et al., 2001, Pinto, 2001).

A *IA* apresenta algumas subáreas, dentre as quais podem ser citados os Sistemas Especialistas, Visão Computacional, Redes Neurais, Tutores Inteligentes, Processamento da Linguagem Natural, Aprendizado de Máquina, Programação Automatizada, Algoritmos Genéticos, Entendimento de Linguagem, Robótica, Lógica Fuzzy e Programação de Jogos (Turban & Aronson, 1998). Apesar da gama de aplicações da *IA*, será abordada nessa revisão somente a subárea dos Sistemas Especialistas.

2.5 Sistemas Especialistas

Uma das mais proeminentes áreas em *IA* é a de Sistemas Baseados em Conhecimento (*SBCs*), ou um de seus ramos, os Sistemas Especialistas (*SEs*). Os *SEs* pertencem a uma subclasse dos *SBCs* apesar de na literatura esses sistemas serem, muitas vezes, utilizados quase sem distinção (Uchôa, 1998).

Os *SEs* podem ser definidos como sistemas passíveis de utilizar o conhecimento humano capturado em computadores para solucionar problemas de difícil solução (Turban & Aronson, 1998) ou programas de computador planejados para adquirir e disponibilizar o conhecimento de um especialista humano, simulando a lógica da decisão (Turban, 1995). Esses sistemas foram inicialmente desenvolvidos na área de diagnósticos médicos (Bittencourt, 1998a) mas, nas últimas décadas, foram usados em vários tipos de aplicações, nos mais diversos campos do conhecimento, como na Engenharia Química, na área militar, judicial, bancária (Huggins, 1986; Waterman, 1986; Munford & Norton, 1989; Jackson, 1990) e agrícola (Fernandes, 1997; Pozza, 1998; Thomson et al., 1998; Potter, 2000; Pinto, 2001; Edrees et al., 2003; Mahaman et al., 2003; Yialouris, 2003), passando a incluir áreas de relevância para profissionais dos mais diversos setores.

Os *SEs* apresentam como características gerais um domínio de aplicação bem-definido e delimitado em termos de alternativas decisórias; possuem como

fonte de conhecimento pelo menos um especialista que apresenta desempenho notável em realizar as tarefas da área em estudo e disposto a cooperar na construção de uma base de conhecimento; empregam heurísticas na resolução de problemas, ou seja, o resultado é encontrado utilizando-se regras práticas com base na experiência cognitiva e intuição; as tarefas não possuem algoritmos e inferências são feitas com base em informações incompletas; o conhecimento do especialista é ordenado de forma simbólica, o que possibilita que indivíduos não-especialistas obtenham soluções para determinados problemas (Bínder, 1994).

Embora não exista padrão geral para construir um *SBC* ou *SE*, a maioria apresenta três componentes principais (Figura 1):

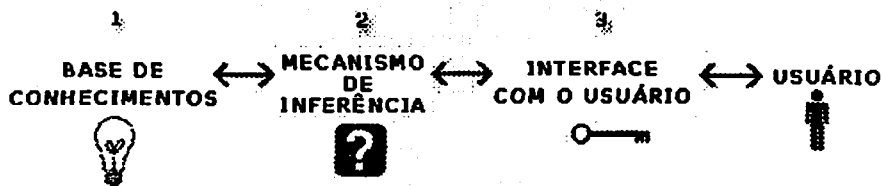


FIGURA 1 Arquitetura básica dos *SBCs*.

1. Base de Conhecimentos - É o principal componente de um *SE*, consistindo na representação simbólica do conhecimento e contém informação sobre um domínio específico utilizado na solução de problemas (Huggins et al., 1986; Turban, 1995). É composto de fatos sobre o domínio, regras que descrevem relações no domínio e métodos e heurísticas para resolução de problemas no domínio (Uchôa, 1998).

2. Mecanismo de Inferência - É o mecanismo responsável pelo processamento do conhecimento da Base de Conhecimentos, utilizando uma linha seqüencial de raciocínio (Uchôa, 1998). Esse mecanismo utiliza a base de conhecimentos

buscando regras e agregando informações até gerar respostas para um determinado problema (Turban, 1995).

3. Interface com o Usuário - Corresponde aos processos convencionais de entrada e saída de dados no sistema (Silva, 1990), responsável pela comunicação entre o usuário e o sistema (Uchôa, 1998). Esse componente deve apresentar perguntas em linguagem corrente e as informações podem ser apresentadas ao usuário em forma de gráficos, tabelas e fotografias, devendo ser o mais amigável possível para facilitar a consulta (Ormerod, 1991).

A parte mais sensível no desenvolvimento de um SE é a aquisição do conhecimento e a mais importante é a escolha do método de representação. A lógica é a base para a maioria das formas de representação de conhecimento, e mesmo os formalismos não-lógicos têm, em geral, seu significado formal descrito mediante uma especificação lógica de seu comportamento (Bittencourt, 1998b). Há vários métodos formais para representar o conhecimento de um especialista, e um dos mais utilizados consiste no sistema de regras do tipo: sentença ('if- them'). A regra "se" contém um conjunto de premissas a serem verificadas, para que uma conclusão seja considerada verdadeira. A regra "então" consiste de uma conclusão obtida após todas as premissas do "se" serem verdadeiras. Quando existe um nível maior de complexidade na regra, podem ser adicionados operadores do tipo "e", "ou", "não" (Pozza, 1998; Pinto, 2001):

i- SE um fungo tem micélio apocítico

E produz basidiósporos

ENTÃO é um basidiomiceto

ii- SE um fungo de micélio apocítico produz conídios

OU escleródios

E não produz esporos sexuais

ENTÃO é um fungo imperfeito

A linguagem associada ao método escolhido deve ser suficientemente expressiva para permitir a representação do conhecimento sobre determinado assunto de maneira completa e eficiente (Bittencourt, 1998b).

Para o desenvolvimento de um *SE*, podem ser utilizadas diferentes fases (Pozza, 1998), tais como:

1) Seleção do problema - Consiste em identificar o problema, encontrar um especialista disposto a participar, identificar um modo de tratar o problema, analisar o benefício-custo do esforço e preparar um plano de desenvolvimento específico

2) Desenvolvimento do protótipo - Na construção do protótipo, ocorrerá maior contato entre o engenheiro do conhecimento (construtor do sistema) e o especialista, e essa fase tem como objetivo testar uma pequena versão do *SE*. O desenvolvimento do protótipo requer aprender sobre o domínio do especialista; selecionar uma ferramenta para a construção do sistema; extrair o conhecimento de um especialista ou de fontes como 'cd-roms', livros, artigos científicos e fitas de vídeo; desenvolver a implementação inicial; testar a implementação; e desenvolver um modelo detalhado para um Sistema Especialista completo.

3) Desenvolvimento do *SE* completo - Essa fase inclui implementar a estrutura inicial de regras e fatos do sistema completo; expandir a base de conhecimentos; trabalhar a 'interface' com o usuário; monitorar o desempenho do sistema e validar os diagnósticos emitidos.

Dependendo da finalidade de um *SE*, o mesmo pode especificar o nível de certeza ou confiança em determinada conclusão. Diversos métodos são utilizados para tratar esse problema, por exemplo, o método Bayesiano, teoria de Dempster-Shafer, teoria dos conjuntos nebulosos, teoria de probabilidades subjetivas e teoria de possibilidades (Bittencourt, 1998a). Em uma base de conhecimentos, os fatores de confiança podem ser representados por uma escala entre 0 e 100, onde 0 é a completa ignorância e 100 a verdade absoluta (nível

máximo de confiança). Os três métodos básicos para representar a incerteza são: numérico, gráfico e simbólico (Turban, 1995).

4) Avaliação - A avaliação é utilizada para garantir o correto funcionamento do *SE* em relação ao propósito pelo qual o mesmo foi desenvolvido. Existem métodos de validação que permitem verificar a qualidade da 'interface', a correção do raciocínio, a qualidade da decisão gerada e a relação benefício-custo. Essa fase pode ser dividida em verificação, validação e análise de sensibilidade (Geissman & Schultz, 1988; Harrison, 1991; Pozza, 1998; Pinto, 2001).

5) Integração - Consiste na união do *SE* com os sistemas pessoais associados com os usuários do sistema, tais como sistema de banco de dados ou outro 'hardware'.

6) Manutenção - Após o sistema ser colocado em uso, podem ser necessárias modificações para adaptá-lo aos usuários, podendo esse voltar à fase de protótipo.

A base de conhecimentos dos *SEs* para diagnose de doenças possuem informações da literatura e de entrevistas realizadas com especialistas na área (Pinto, 2001). A obtenção do conhecimento do especialista pelo engenheiro do conhecimento é chamada de elicitación do conhecimento e envolve algumas características peculiares conforme descritas por Barreto (2001):

- Observação - O especialista é observado pelo elicitador durante seu trabalho, o qual fornece uma visão realista de como o especialista trabalha. É freqüentemente o primeiro passo na construção de uma base de conhecimento, por permitir que o engenheiro do conhecimento (elicitador) se familiarize com o problema.

- Entrevista com o especialista - Essa etapa deve ser realizada quando o elicitador já possui alguma familiaridade com assunto, já que o mesmo deve manter uma conversação com o especialista. Deve-se salientar que, durante a

entrevista, o especialista pode estar desinformado, sem vontade de colaborar e incapaz de se expressar, sendo as duas últimas situações bastante comuns.

- **Análise do discurso** - Consiste em gravar a entrevista com o especialista para depois analisar a conversa.

- **Discussão focalizada** - É utilizada em uma fase avançada da elicitación e serve para o esclarecimento de dúvidas.

- **Análise de protocolo** - O elicitador cria um problema específico e pede ao especialista para viver a situação e resolver o problema.

- **Ordenamento de cartões** - É utilizado quando se tem um conjunto de elementos com características semelhantes e o conjunto de padrões não é conhecido. Nesse caso pode-se lançar mão de pequenas fichas com os elementos descritos e solicitar que o especialista os classifique.

- **Geração de matriz** - Ocorre com a ordenação do conhecimento em tabelas para facilitar à elicitación.

- **‘Teachback’** - Essa técnica deve ser usada nas fases finais da elicitación e quando se deseja incorporar o conhecimento de vários especialistas em um único *SE*. Consiste na inversão de papéis usada em psicologia, na qual o elicitador “ensina” ao especialista algum aspecto do conhecimento permitindo testar o sistema.

O uso dos *SEs* na Agricultura é justificável por permitirem preservar o conhecimento de um especialista humano em determinada área; o conhecimento pode ser utilizado em outras regiões geográficas por um programa de computador; as conclusões sobre determinada conclusão podem ser enriquecidas; e podem ser utilizados como ferramentas de treinamento profissional (Edward-Jones, 1993).

2.6 Exemplos de Sistemas Baseados em Conhecimento na Agricultura

Os Sistemas Baseados em Conhecimento possuem ampla gama de aplicações e podem ser também utilizados como ferramentas de apoio à decisão via Internet, fornecendo suporte a empresários e profissionais do meio rural com informações em tempo real sobre gerenciamento de culturas e sistemas agrícolas (Jensen et al., 2000; Welch et al., 2002; Lim & Engel, 2003) e como ferramentas de auxílio à identificação de doenças e determinação do risco causado por pragas de importância econômica em florestas, mantendo o conhecimento dos usuários sempre atualizados (Thomson et al., 1998; Potter, 2000).

Os Sistemas Baseados em Conhecimento utilizados no meio agrícola envolvem diferentes aplicações, fornecendo suporte para o manejo de pragas, doenças, ervas daninhas, deficiências nutricionais; utilização de reguladores de crescimento, seleção de variedades e híbridos, preparo do solo, semeadura, irrigação e colheita abrangendo diversas culturas. (Haley et al., Currans & Croft, 1990; Schweizer et al., 1992; Pasqual, 1994; Frahm et al., 1995; Edward-Jones, 1992, 1993; Yialouris, 1997; Pozza, 1998; Badjonski & Ivanović, 2000; Pinto, 2001; Mahaman et al., 2003; Edrees et al., 2003).

O EROSYS é um sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias (Fernandes, 1997). Nesse trabalho desenvolveu-se uma metodologia de avaliação de impacto ambiental sobre o solo, particularmente a erosão, utilizando-se técnicas de sistema de informações geográficas (*SIG*), sistemas especialistas (*SE*) e modelagem matemática de forma integrada. O sistema promove a avaliação da aptidão agrícola das terras, utilizando técnica de *SE*; avalia quantitativamente a erosão total e por cultura, utilizando a equação universal de perda de solo (*USLE*); identifica áreas de conflito entre o uso atual e potencial do solo, bem como áreas com perda de solo acima do limite de tolerância; recomenda práticas de manejo para conservação e manejo do solo; estima a perda de fertilizantes na área, em

quantidade e valor monetário dos nutrientes carregados superficialmente; e apresenta todas essas informações ao usuário na forma de um relatório de impacto ambiental.

Em Fitopatologia, vários Sistemas Especialistas já foram desenvolvidos para diagnose, manejo de doenças e deficiências nutricionais em diversas culturas; entretanto, no Brasil, o TomEx-UFV, desenvolvido por Pozza (1998), foi a primeira aplicação dessa tecnologia. Esse sistema contém 78 perguntas, 116 regras, 87 fotografias e realiza o diagnóstico de 37 doenças do tomateiro. Recentemente, no Brasil, Pinto (2001) desenvolveu um Sistema Especialista para a diagnose de doenças, deficiência, pragas e nematóides do cafeeiro chamado de 'Doctor Coffee'. O sistema foi organizado de modo hierárquico, por meio de uma árvore de conhecimento, e contém 229 regras, 182 fotos e abrange 13 doenças, 8 deficiências nutricionais, 9 pragas, as 4 principais espécies de nematóides, 12 desordens fisiológicas e danos diversos. Além disso, o sistema contém glossário com termos técnicos, histórico, filmes sobre o preparo da calda bordalesa sobre teste de exsudação em gotas e ajuda on-line.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para desenvolver o Sistema Especialista (SE), foram utilizadas quatro fases distintas: 1) seleção do problema; 2) desenvolvimento do protótipo; 3) desenvolvimento do SE completo; 4) avaliação.

3.1 Seleção do problema

Como critérios para escolha de problemas em Fitopatologia, os principais são a ocorrência sazonal, a existência de especialistas na área, a importância da cultura, o número de doenças e a facilidade de adquirir informações (Travis & Latin, 1991; Pozza, 1998). As culturas e fungos contidos no sistema foram selecionados em função da Portaria nº 71, de 22 de fevereiro de 1999 do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (Nasser, 2002) e bibliografia descrita por Machado, Langerak & Jaccoud-Filho (2002).

Segundo todas essas premissas, optou-se por desenvolver um Sistema Especialista para identificar fungos no Teste de Sanidade de Sementes.

3.2 Desenvolvimento do protótipo

O protótipo foi desenvolvido no laboratório de Epidemiologia e Manejo do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em ambiente Windows, durante o segundo semestre de 2002, tendo sua primeira versão concluída em abril de 2003. Para o desenvolvimento do programa, foi utilizado um computador equipado com processador Intel Pentium IV de 2,0 GHZ, HD de 20 Gb, 512 Mb de memória RAM DDR, placa mãe ASUS P4S333, placa de vídeo Tornado GeForce 4 MX 440 64MB, monitor LG de 17 polegadas, scanner Gênio Color Page-HR6X.

As informações foram organizadas em planilhas eletrônicas no 'Microsoft Excel⁰⁰' e, em seguida, estruturadas para constituírem-se em

conhecimento virtual, no banco de dados 'Microsoft Access[®]', originando, dessa forma, a primeira versão do sistema (protótipo). O protótipo foi utilizado na construção do Sistema Especialista completo, com o auxílio dos programas 'Macromedia Flash MX[®]' e 'Macromedia Dream Weaver MX[®]'.

3.2.1 Aquisição do conhecimento

O conhecimento contido no programa foi adquirido por meio de consultas em literaturas específicas, Internet e entrevistas com dois técnicos, um professor e dois acadêmicos do curso de Pós-Graduação, especialistas em Patologia de Sementes da Universidade Federal de Lavras.

3.2.2 Organização do conhecimento

O conhecimento adquirido foi organizado e estruturado de forma hierárquica, em módulos e submódulos, envolvendo as culturas algodão (*Gossypium hirsutum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), cenoura (*Daucus carota* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), sorgo (*Sorghum* spp.) e trigo (*Triticum aestivum* L.). O conhecimento foi, em seguida, codificado em regras do tipo "Se -Então". A maior parte das fotografias foi gentilmente cedida pelo responsável do Laboratório de Patologia de Sementes da Universidade Federal de Lavras, prof. Dr. José da Cruz Machado, e encontram-se disponíveis também em Machado, Langerak & Jaccoud-Filho (2002). Essas fotografias foram submetidas ao tratamento computacional, no 'software' Adobe Photoshop 7.0[®], objetivando a melhoria de qualidade e redimensionamento em tamanhos diferentes. Vale ressaltar que as culturas cenoura e girassol não foram incluídas no teste de validação, apesar de estarem incluídas no sistema.

3.2.3 Teste e revisão do protótipo

Após a construção do protótipo, realizou-se o teste e a revisão do sistema com o auxílio de especialistas. Em seguida, foram realizadas correções para confirmar a lógica interna e seu pleno funcionamento.

3.3 Desenvolvimento do Sistema Especialista completo

Os softwares Macromedia Flash MX[®] e Dream Weaver MX[®] são ferramentas profissionais de editoração padrão para produção de experiências para Web, de alto-impacto, podendo conter gráficos, texto, animação, além de outras aplicações. Os filmes consistem principalmente em gráficos vetoriais, mas podem conter vídeos, gráficos bitmap e sons, além de poder incorporar interatividade e possibilitar a interação com outros aplicativos.

O conhecimento foi transformado em linguagem simbólica no Macromedia Flash MX[®] e Dream Weaver MX[®], com programação em linha do tempo ('timeline'), camadas ('layers'), quadros ('frames') e cenas ('Scenes'), que permitem dividir o programa em módulos e submódulos. Apesar de o programa ser auto-explicativo na maioria de suas opções, foram adicionados ao mesmo a possibilidade de acessar ajuda operacional e links que exemplificam alguns termos técnicos.

Por último, estabeleceu-se um fator de confiança na diagnose realizada pelo programa, a qual considera 95% de acerto na resposta fornecida, caso o usuário tenha visualizado o patógeno sob estereomicroscópio e microscópio composto.

3.4 Avaliação

A fase de avaliação divide-se em validação, verificação e análise de sensibilidade (Geissman & Schultz, 1998; Harrison, 1991; Pozza, 1998; Pinto, 2001). Durante a verificação do SE, dois especialistas da Universidade Federal

de Lavras, envolvidos na construção do sistema, testaram todos os cenários do programa na tentativa de verificar todas as possíveis entradas do mesmo, tentando cobrir todas as opções que provavelmente serão utilizadas por seus usuários potenciais. Foram realizadas nessa fase um total de 46 diagnoses, correspondentes aos fungos relativos aos nove hospedeiros incorporados ao sistema.

Na fase de validação, foram montadas 8 placas de petri de vidro, com 15cm de diâmetro, contendo 25 sementes para cada cultura testada, com três folhas de papel de filtro por placa, utilizando o método de incubação em papel de filtro com congelamento para as monocotiledôneas ou o método de incubação em papel de filtro com 2,4-D para as dicotiledôneas. Na fase de incubação, as placas, para cada cultura testada foram submetidas a $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ em câmara com fotoperíodo de 12 horas de luz negra (comprimento de onda próximo a ultravioleta) por 6 a 8 dias, dependendo do método utilizado. Maiores dúvidas sobre a metodologia empregada podem ser esclarecidas em Machado et al. (2002).

Foram escolhidos lotes que apresentavam sementes com patógenos detectados em diagnoses laboratoriais anteriores, buscando avaliar a ocorrência de fungos para os hospedeiros: algodão (*Gossypium hirsutum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), sorgo (*Sorghum* spp.) e trigo (*Triticum aestivum* L.). Não foi possível testar as culturas Cenoura e Girassol, devido à escassez de tempo para obter lotes dessas culturas com os fungos abrangidos pelo sistema.

Após o período de incubação das sementes, foi realizada a avaliação dos fungos mediante uma prévia diagnose Laboratorial e, em seguida, as sementes foram selecionadas e separadas individualmente em placas de petri de 9 cm para que fosse iniciada a validação (verificação do acerto dos fungos pelos usuários, com e sem o apoio do programa).

Foram avaliados três grupos diferentes de pessoas, classificados em função de níveis semelhantes de conhecimento com relação à Patologia de Sementes. O primeiro grupo foi formado por 6 pessoas, acadêmicos do curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, atuantes na área de Produção e Tecnologia de Sementes e que haviam cursado a disciplina Patologia de Sementes, acadêmicos do curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitopatologia, ligados diretamente à área de Patologia de Sementes, e uma analista do Laboratório de Patologia de Sementes da Universidade Federal de Lavras. O segundo grupo foi composto por 6 acadêmicos de Pós-Graduação, sem prática na área, atuantes nas áreas de Administração de Empresas, Ciência dos Alimentos, Agronomia/Fitotecnia, Entomologia e Zootecnia. O terceiro grupo foi composto por dois acadêmicos de graduação em Agronomia, dos quais um já cursou a disciplina de Fitopatologia Geral.

Vale salientar que em alguns casos era necessário ensinar ao usuário o funcionamento do estereomicroscópio ou até mesmo focalizar os sinais (sintomas) do fungo de interesse, em razão da falta de prática de alguns usuários.

Nos dados relativos à identificação dos fungos pelos usuários com e sem o apoio do programa, verificou-se a porcentagem de acerto e incremento e, em seguida, a análise estatística do qui-quadrado. Os resultados da validação foram submetidos ao teste de qui-quadrado de forma semelhante à realizada por Pozza (1998); Pinto (2001).

$$\chi^2 = \sum_i^n \frac{(Fo_i - Fe_i)^2}{Fe_i}$$

Em que: fo_i= freqüência observada ou porcentagem de acerto do SE,
fe_i= freqüência esperada (90% de acerto).

Quando a frequência observada não é estatisticamente diferente da esperada (frequências iguais), a porcentagem de acerto do Sistema Especialista é de pelo menos 90%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aquisição do conhecimento

A aquisição do conhecimento envolveu a pesquisa em livros, documentos e arquivos de computador. Além da consulta à literatura, foram feitas entrevistas com três especialistas. A aquisição do conhecimento, devido a grande quantidade de informação nessa área, foi a fase mais complexa e de maior tempo de execução para desenvolver o programa, fato também observado por Edward Jones (1992 e 1993) e Pinto (2001).

A aquisição de informações pelo engenheiro do conhecimento ou construção do programa foi pouco traumática. Esse fato ocorreu em razão de o entrevistador ser engenheiro agrônomo, ter atuado nessa área do conhecimento e ser familiarizado com os termos técnicos da área (Pozza, 1998; Pinto, 2001).

4.2 Organização e Representação do Conhecimento

O conhecimento foi organizado em módulos de forma hierárquica (Figura 2). Um ponto importante na construção de programas é o desenvolvimento dos mesmos com natureza modular, no sentido de facilitar mudanças e novas adições, sem afetar o trabalho desenvolvido em outros módulos.

O conhecimento adquirido foi organizado em uma atividade denominada representação do conhecimento. Essa atividade envolveu a preparação de um mapa do conhecimento e a codificação das informações representadas pelo mesmo, na base de conhecimentos (Turban & Aronson, 1998).

O sistema foi direcionado para ser aplicado principalmente no método de identificação de fungos submetidos ao Teste de Incubação em Papel de Filtro 'Blotter Test', com opção para identificar os principais fungos das sementes de algodão (*Gossypium hirsutum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), cenoura (*Daucus*



FIGURA 2 Fluxograma do funcionamento básico do SE.

carota L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), girassol (*Helianthus annuus* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), sorgo (*Sorghum* spp.) e trigo (*Triticum aestivum* L.), sendo que as culturas cenoura e girassol necessitam ainda de validação.

O SE possui como conteúdo adicional módulos para permitir o acesso a métodos especiais de identificação de patógenos em sementes, materiais e equipamentos essenciais para um Laboratório de Patologia de Sementes, filmes explicativos sobre preparação de lâminas de vidro para observação sob microscópio composto, montagem do 'Blotter Test' e Rolo de Papel.

A tela inicial do SE apresenta um menu principal contendo os módulos e submódulos do programa. Os botões são programados para serem auto-explicativos, demonstrando ao usuário onde se pode chegar ao escolher uma opção. O menu principal (Figura 3) possui as opções "apresentação do programa", "identificação de fungos pelo método 'Blotter'", "métodos para detecção de

patógenos em sementes”, “filmes”, “autores (com a opção de contato via e-mail com os mesmos)”, “colaboradores”, “patrocinadores”, “links” (para sites relacionados sobre o assunto e ao ‘Website’ da Universidade Federal de Lavras, Departamento de Agricultura e Fitopatologia dessa mesma Universidade) e “referências bibliográficas” de importância em Patologia de Sementes além das utilizadas para desenvolver o sistema.

A escolha da opção “Identificação de fungos pelo método ‘Blotter Test’” permite o acesso a um submódulo do sistema, com a opção de escolha da espécie da semente analisada (Figura 4).

Após escolher a cultura, aparecem duas opções. A primeira permite acessar a opção “Sistema Especialista”, com fotografias dos sintomas e textos descrevendo os fungos de maior importância no ‘Blotter Test’, na forma de perguntas ao usuário, seguindo uma lógica baseada em regras Se-Então:

Ex: SE a cultura analisada é algodão,

E há micélio fofo e acinzentado recobrimdo as sementes e substrato,

E picnídios escuros com cirros (pêlos),

E os conídios maduros sob microscópio composto são uniseptados e apresentam cor canela a castanho-amarelado,

ENTÃO, o fungo é *Botryodiplodia theobromae*.



FIGURA 3 Tela inicial e menu principal do sistema.



FIGURA 4 Tela para escolha da cultura submetida ao 'Blotter Test' e início do SE propriamente dito.

A segunda opção, “Sistema Auxiliar”, permite acessar diretamente os patógenos, clicando nos hiperlinks representados por seus nomes científicos.

Na opção “Sistema Especialista” (Figura 5), há uma pergunta (está ocorrendo uma das estruturas abaixo?) na parte superior da tela, acima de um conjunto de seis fotografias dispostas lado a lado, representando os patógenos. Em cada fotografia, em seu canto superior direito, há um botão com a resposta “sim”, que quando escolhido, possibilita finalizar a diagnose, indicando o fungo referente à foto (Figura 6). Na parte inferior das fotografias, existem setas para navegar por diferentes variações do mesmo patógeno, sob ângulos e aumentos distintos (inclusive das estruturas em lâminas sob microscópio composto). Ao passar o mouse sobre a fotografia, o sintoma referente a mesma é mostrado no centro da tela, e ao mesmo tempo, é possível “clicar” na foto para obter sua ampliação. Caso nenhum dos patógenos apresentados na primeira tela esteja ocorrendo no ‘Blotter Test’, o usuário deve optar pela opção “Nenhuma Estrutura Acima?”, no centro inferior da tela, ao lado do botão voltar, onde diferentes espécies fúngicas serão apresentadas ao usuário de forma semelhante à primeira tela.

Apesar do grande número de microrganismos associados às sementes, a primeira versão do *SE* contém 45 fungos de importância econômica, abrangendo 9 hospedeiros ou culturas (Tabela 1 e 2).



FIGURA 5 Tela de decisão do sistema, com diferentes opções.



FIGURA 6 Tela demonstrando o resultado do programa.

TABELA 1. Relação dos hospedeiros e fungos contidos no SE.

Culturas	Fungos de Importância Econômica
Arroz (<i>Oryza sativa</i> L.)	<i>Drechslera oryzae</i>
	<i>Gerlachia oryzae</i>
	<i>Phoma sorghina</i>
	<i>Pyricularia grisea</i>
	<i>Trichoconis padwickii</i>
Algodão (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	<i>Colletotrichum gossypii</i> var.
	<i>cephalosporioides</i>
	<i>Colletotrichum gossypii</i>
	<i>Botryodiplodia theobromae</i>
	<i>Fusarium oxysporum</i>
Cenoura (<i>Daucus carota</i> L.)	<i>Alternaria dauci</i>
	<i>Alternaria radicina</i>
Feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>
	<i>Fusarium oxysporum</i>
	<i>Macrophomina phaseolina</i>
	<i>Phaeoisariopsis griseola</i>
	<i>Rhizoctonia solani</i>
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Girassol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	<i>Alternaria helianthi</i>
	<i>Alternaria zinniae</i>
Milho (<i>Zea mays</i> L.)	<i>Cephalosporium acremonium</i>
	<i>Diplodia maydis</i>
	<i>Drechslera turcica</i>
	<i>Fusarium moniliforme</i>

"...Continua..."

Tabela 1, "cont."

Culturas	Fungos de Importância Econômica
Soja (<i>Glycine max</i> L.)	<i>Cercospora kikuchii</i>
	<i>Cercospora sojina</i>
	<i>Colletotrichum truncatum</i>
	<i>Fusarium semitectum</i>
	<i>Phomopsis</i> spp.
	<i>Rhizoctonia solani</i>
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
Sorgo (<i>Sorghum</i> spp.)	<i>Colletotrichum graminicola</i>
	<i>Fusarium moniliforme</i>
	<i>Drechslera turcica</i>
Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.)	<i>Bipolaris sorokiniana</i>
	<i>Drechslera tritici-repentis</i>
	<i>Fusarium graminearum</i>
	<i>Stagonospora nodorum</i>

TABELA 2. Fungos contidos no SE que podem ocorrer em todos os hospedeiros (Culturas) submetidos ao 'Blotter Test'.

hospedeiros	Fungos
Todos	<i>Aspergillus flavus</i>
	<i>Aspergillus glaucus</i>
	<i>Aspergillus candidus</i>
	<i>Aspergillus ochraceus</i>
	<i>Aspergillus niger</i>
	<i>Penicillium</i> sp.
	<i>Alternaria alternata</i>
	<i>Rhizopus</i>

Para facilitar a identificação dos fungos, houve a preocupação em fornecer o maior número de fotografias com características peculiares de cada espécie fúngica, sob diferentes aumentos e com as diferentes estruturas para diferenciar as espécies. Alguns dos parâmetros considerados foram características do micélio, hifas, picnídios, escleródios, microescleródios, conídios, conidióforos, micro e macroconídios, crescimento superficial ou aéreo do fungo, propagação do fungo pelo 'Blotter', etc. Em alguns casos, torna-se necessário preparar lâminas para observação sob microscópio óptico, com o objetivo de se obter 95% de certeza na diagnose da espécie fúngica.

4.3 Avaliação do sistema

A avaliação do sistema foi dividida em verificação e validação. A verificação é uma fase importante, pois permite aperfeiçoar a lógica interna. No caso do presente trabalho, o alto índice de acerto ocorreu devido à lógica interna estar próximo a realidade (Pozza, 1998; Pinto, 2001). Após a verificação, foram realizadas pequenas modificações na base de conhecimento do sistema, retornando novamente à fase de protótipo. Foram modificados alguns componentes da interface de forma a agilizar o processo de acesso do usuário às informações contidas no sistema, realizaram-se algumas correções nos textos relativos aos sintomas, que foram simplificados para facilitar o entendimento por parte dos usuários. Algumas fotografias foram retiradas, pois não se encontravam adequadamente representadas às condições reais verificadas no 'Blotter Test'.

Para realizar a validação, foram montados 'Blotter Tests' para as culturas algodão (*Gossypium hirsutum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), milho (*Zea mays* L.), soja (*Glycine max* L.), sorgo (*Sorghum* spp.) e trigo (*Triticum aestivum* L.).

Os testes foram aplicados aos três grupos com níveis de conhecimento distinto. Os grupos 2 e 3 apresentaram 0% de acerto na diagnose sem o auxílio do *SE*. Esse resultado comprovou o baixo conhecimento prático desses grupos para identificar fungos no 'Blotter Test'. Esse fato também indica a correta aplicação do *SE* na modelagem das informações contidas no sistema, pois o conhecimento, nesse caso, apresenta um domínio de aplicação bem definido, delimitado e específico (Huggins et al., 1986; Binder, 1994; Turban, 1995).

Como o grupo 1 foi composto por especialistas da área do conhecimento abrangida pelo *SE*, o mesmo obteve acerto razoável na identificação dos fungos antes de usar o programa. Entretanto, após o uso do *SE*, a porcentagem média de acerto aumentou consideravelmente.

Considerando todas as culturas e fungos avaliados, o grupo 1 apresentou, em média, 62,3% de acerto antes de utilizar o programa e 92,5% após sua utilização (Tabela 3). O grupo 2 apresentou, em média, 0% de acerto antes de usar o programa, e após a utilização do mesmo, essa porcentagem subiu para 88,1%. O grupo 3 apresentou comportamento semelhante ao grupo 2 com relação à diagnose sem o uso do programa; entretanto, esse grupo apresentou

TABELA 3 Porcentagem média de acerto na identificação de fungos na fase de avaliação, apresentada pelo grupo 1, 2 e 3, antes e depois de usar o *SE*.

CULTURAS	GRUPO1		GRUPO2		GRUPO3	
	Sem o programa	Com o programa	Sem o programa	Com o programa	Sem o programa	Com o programa
Arroz	61,1	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Algodão	55,6	100,0	0,0	77,8	0,0	100,0
Feijão	47,2	91,7	0,0	91,7	0,0	91,7
Milho	72,2	100,0	0,0	100,0	0,0	83,3
Soja	61,1	91,7	0,0	75,0	0,0	91,7
Sorgo	83,3	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Trigo	55,6	83,3	0,0	72,2	0,0	100,0
Média	62,3	95,2	0,0	88,1	0,0	95,2

porcentagem de acerto médio de 95,2% após a utilização do *SE* (Tabela 3).

Observações semelhantes podem ser realizadas com relação à Tabela 4, que demonstra um incremento médio na porcentagem de acerto dos usuários de 71,8%, considerando a média de todos os fungos analisados pelos usuários após a utilização do sistema, demonstrando a eficiência do *SE* no apoio à tomada de decisão. Pode-se observar na mesma tabela que todos os usuários apresentaram incrementos acima de 50% para todos os fungos avaliados, reforçando a eficiência do *SE*.

Observou-se, pelos resultados da porcentagem de acerto por grupos na identificação dos fungos separadamente de acordo com seus hospedeiros, na Tabela 5, que a menor porcentagem de acerto pelo grupo 1 após a utilização do programa foi de 66,7% para os fungos *Fusarium oxysporum* em feijão, *Cercospora kikuchii* em soja e *Aspergillus flavus* em trigo.

Para o grupo 2, a menor porcentagem de acerto após a utilização do programa foi de 66,7% para os fungos *Aspergillus flavus* em feijão, *Cercospora kikuchii* em soja e *Aspergillus flavus* em trigo.

O grupo 3 apresentou 50% de acerto após a utilização do programa para os fungos *Aspergillus flavus* em Feijão, *Penicillium* em milho e *Cercospora Kikuchii* em soja. As menores porcentagens de acerto encontradas podem ter ocorrido em função da qualidade das fotografias ou da ausência de mais exemplos representando melhor os sinais dos patógenos nas sementes.

O teste do χ^2 foi realizado para demonstrar a eficiência do *SE* (Pozza, 1998; Pinto, 2001) para as mesmas culturas nas quais se verificou a porcentagem de acerto dos usuários, com exceção da cultura do sorgo, em virtude de essa não apresentar graus de liberdade suficientes para usar a tabela referente ao teste do χ^2 . Os usuários foram considerados como repetições e os fungos como as classes. Para obter os graus de liberdade, foi considerada a ocorrência dos fungos por hospedeiro. O χ^2 foi calculado nos dados brutos observados no

TABELA 4 Valores percentuais médios de acertos dos grupos 1, 2 e 3, antes e após a utilização do programa, com os respectivos incrementos considerando todos os fungos avaliados.

Culturas	Fungos	Sem o programa (%)	Com o programa (%)	Incremento (%)
Arroz	<i>Phoma sorghina</i>	22,2	100,0	77,8
	<i>Drechslera oryzae</i>	22,2	100,0	77,8
	<i>Gerlachia oryzae</i>	16,7	100,0	83,3
Algodão	<i>Botriodiplodia theobromae</i>	11,1	94,4	83,3
	<i>Fusarium oxysporum</i>	27,8	100,0	72,2
	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	83,3	66,7
Feijão	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	72,2	55,6
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	16,7	100,0	83,3
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	16,7	100,0	83,3
	<i>Fusarium oxysporum</i>	11,1	83,3	72,2
	<i>Macrophomina phaseolina</i>	5,6	94,4	88,9
	<i>Penicillium</i>	27,8	100,0	72,2
	<i>Fusarium moniliforme</i>	33,3	100,0	66,7
Milho	<i>Penicillium</i>	22,2	83,3	61,1
	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	100,0	83,3
	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	94,4	77,8
Soja	<i>Phomopsis spp.</i>	22,2	88,9	66,7
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	27,8	83,3	55,6
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	22,2	88,9	66,7
	<i>Aspergillus niger</i>	22,2	100,0	77,8
	<i>Cercospora kikuchii</i>	11,1	61,1	50,0
	<i>Fusarium moniliforme</i>	27,8	100,0	72,2
Sorgo	<i>Fusarium moniliforme</i>	27,8	100,0	72,2
	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	22,2	100,0	77,8
Trigo	<i>Alternaria alternata</i>	16,7	77,8	61,1
	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	77,8	61,1
	<i>Aspergillus flavus</i>	16,7	77,8	61,1
Média		19,6	91,3	71,8

TABELA 5 Porcentagens de acertos por grupos na identificação dos fungos na fase de validação do SE, dispostos separadamente por culturas.

Culturas	Diagnose Laboratorial	Grupo1		Grupo2		Grupo3	
		Sem o programa (%)	Com o programa (%)	Sem o programa (%)	Com o programa (%)	Sem o programa (%)	Com o programa (%)
Arroz	<i>Phoma sorghina</i>	66,7	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Drechslera oryzae</i>	66,7	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Gerlachia oryzae</i>	50,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Algodão	<i>Botriodiplodia theobromae</i>	33,3	100,0	0,0	83,3	0,0	100,0
	<i>Fusarium oxysporum</i>	83,3	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Aspergillus flavus</i>	50,0	100,0	0,0	50,0	0,0	100,0
Feijão	<i>Aspergillus flavus</i>	50,0	100,0	0,0	66,7	0,0	50,0
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	50,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	50,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Fusarium oxysporum</i>	33,3	66,7	0,0	83,3	0,0	100,0
	<i>Macrophomina phaseolina</i>	16,7	83,3	0,0	100,0	0,0	100,0
Milho	<i>Penicillium</i>	83,3	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Fusarium moniliforme</i>	100,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Penicillium</i>	66,7	100,0	0,0	100,0	0,0	50,0
	<i>Aspergillus flavus</i>	50,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0

“...Continua...”

Tabela 5, "cont."

Culturas	Diagnose Laboratorial	Grupo1		Grupo2		Grupo3	
		Sem o programa (%)	Com o programa (%)	Sem o programa (%)	Com o programa (%)	Sem o programa (%)	Com o programa (%)
Soja	<i>Aspergillus flavus</i>	50,0	100,0	0,0	83,3	0,0	100,0
	<i>Phomopsis</i> spp.	66,7	100,0	0,0	66,7	0,0	100,0
	<i>Aspergillus ochraceus</i>	83,3	100,0	0,0	50,0	0,0	100,0
	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	66,7	83,3	0,0	83,3	0,0	100,0
	<i>Aspergillus niger</i>	66,7	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Cercospora kikuchii</i>	33,3	66,7	0,0	66,7	0,0	50,0
Sorgo	<i>Fusarium moniliforme</i>	83,3	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
Trigo	<i>Bipolaris sorokiniana</i>	66,7	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0
	<i>Alternaria alternata</i>	50,0	83,3	0,0	50,0	0,0	100,0
	<i>Aspergillus flavus</i>	50,0	66,7	0,0	66,7	0,0	100,0
Média		58,7	94,0	0,0	86,0	0,0	94,0

experimento e não com as porcentagens ou proporções oriundas dos mesmos (Ramalho et al., 1997).

Para o grupo 1, o χ^2 foi não-significativo para os dados referentes às culturas analisadas, antes e após o acesso do programa, confirmando a hipótese de que os resultados observados foram iguais aos esperados. As frequências observadas foram iguais às frequências esperadas, dentro da porcentagem de 90% estabelecida para a frequência esperada (Tabela 6).

Tal fato comprova que os usuários desse grupo apresentavam domínio do conhecimento necessário para identificar fungos no 'Blotter Test' anteriormente à utilização do programa. Entretanto, os níveis de probabilidade (α) que conferem maior certeza ao resultado obtido pelo teste do χ^2 , apresentaram valores superiores (maior que 75%) para os dados de χ^2 referentes ao acerto dos usuários após o uso do programa, e inferiores (menor do que 75%) antes da utilização do mesmo, concordando com os altos valores de porcentagem de acerto dos usuários obtidos após o uso do programa (Tabelas 3 e 5). Dessa forma, a utilização do programa dentro do grupo 1 conferiu maior confiabilidade em acertos dos patógenos encontrados no 'Blotter Test'.

TABELA 6 Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do SE, para o grupo 1.

CULTURAS	GL	χ^2		χ^2	
		antes do uso	Probabilidade (α)	após o uso	Probabilidade (α)
Arroz	2	1,79	(0,250-0,500)NS	0,20	(0,900-0,950)NS
Algodão	2	3,24	(0,100-0,250)NS	0,20	(0,900-0,950)NS
Feijão	5	8,96	(0,100-0,250)NS	0,66	(0,975-0,990)NS
Milho	2	1,50	(0,250-0,500)NS	0,20	(0,900-0,950)NS
Soja	5	4,33	(0,500-0,750)NS	0,66	(0,975-0,990)NS
Trigo	2	2,50	(0,250-0,500)NS	0,46	(0,750-0,900)NS

NS: não significativo ($P \geq 0,1$)

Com relação ao grupo 2, a hipótese de os usuários não acertarem a identificação antes de usar o programa, ou seja, de que o resultado observado não seja igual ao esperado (90% de acerto), foi confirmada quando os dados do teste do χ^2 apresentaram-se altamente significativos (Tabela 7). Entretanto, após a utilização do programa, os resultados foram não-significativos, demonstrando que o programa permitiu maior acuidade na tomada de decisão dentro da porcentagem de acerto, estabelecida para a frequência esperada. Para as culturas arroz, feijão, milho e soja, observaram-se maiores valores de probabilidade (>75%). Para algodão e trigo, embora os valores de probabilidade tenham sido menores (< 75%), esses foram ainda não-significativos, confirmando a eficácia do programa como ferramenta de apoio à decisão na identificação dos fungos ocorridos ao acaso no 'Blotter Test'.

No caso do grupo 3, como havia somente dois usuários, utilizou-se a correção de Yates aos dados, de forma a aumentar a acurácia do teste do χ^2 (Ramalho et al., 1997). Essa correção foi utilizada pelo fato de o teste do χ^2 ser muito sensível ao tamanho da amostra. Quando a amostra é pequena, por exemplo, se a classe de menor frequência for inferior a 5, o teste pode não ser acurado e, nesse caso, é comum se utilizar essa correção, que consiste em subtrair 0,5 dos desvios entre a frequência observada e a esperada (Ramalho et al., 1997).

Os resultados desse grupo apresentaram-se significativos antes da utilização do programa, ou seja, os resultados esperados (90% de acerto) não foram atingidos. Após o uso do programa, o χ^2 foi não-significativo, e isso significa que os resultados esperados (90% de acerto) foram iguais aos observados (Tabela 8). Altos valores de probabilidade (>75%) foram observados para todas as culturas testadas, após o uso do programa, o que comprova a eficácia do *SE* como sistema de apoio à decisão.

TABELA 7 Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do SE, para o grupo 2.

CULTURAS	GL	χ^2	Probabilidade (α)	χ^2	Probabilidade (α)
		antes do uso		após o uso	
Arroz	2	16,20	0,005*	0,20	(0,900-0,950)NS
Algodão	2	16,20	0,005*	1,16	(0,500-0,700)NS
Feijão	5	32,40	0,005*	0,66	(0,975-0,990)NS
Milho	2	16,20	0,005*	0,20	(0,900-0,950)NS
Soja	5	32,40	0,005*	1,92	(0,750-0,900)NS
Trigo	2	16,20	0,005*	1,50	(0,250-0,500)NS

NS: não significativo ($P \geq 0,1$); (*): significativo ($P < 0,1$).

TABELA 8. Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (α) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do SE, para o grupo 3.

CULTURAS	GL	χ^2	Probabilidade (α)	χ^2	Probabilidade (α)
		antes do uso		após o uso	
Arroz	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS
Algodão	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS
Feijão	5	17,63	0,005*	1,19	(0,900-0,950)NS
Milho	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,40	(0,750-0,900)NS
Soja	5	17,63	0,005*	1,19	(0,900-0,950)NS
Trigo	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS

NS: não significativo ($P \geq 0,1$); (*): significativo ($P < 0,1$).

Com o intuito de preservar o conhecimento de um especialista para as futuras gerações e possibilitar o acesso às informações em regiões geográficas, onde não existem profissionais em Patologia de Sementes, o SE foi desenvolvido para ser disponibilizado via Internet (WWW), enriquecendo, dessa forma, as conclusões sobre determinada decisão ou identificação de fungos. O sistema pode ser utilizado como sistema de treinamento e apoio à decisão, além de permitir acesso ao conhecimento por parte de pessoas interessadas.

4.4 Considerações Gerais

Espera-se no futuro promover a união do Sistema Especialista com um banco de dados de produtos fitossanitários registrados para o controle químico dos fungos contidos no sistema e fomentar a inclusão de mais exemplos com fotografias relativas aos fungos já incorporados.

Um novo módulo com a opção de identificar fungos pelo Método da Inspeção Visual está sendo desenvolvido no intuito de que essa tecnologia possa atuar como facilitadora e auxiliadora das tarefas rotineiras do ser humano, de forma a assessorá-lo de forma eficiente, podendo ser utilizada como ferramenta de apoio à decisão para identificação de patógenos entre os diferentes métodos existentes, desde que seja desenvolvida e validada. Além do mais, novas avaliações devem ser realizadas, com maior número de usuários, de maneira a contribuir para reduzir a incerteza e modificar módulos e submódulos aumentando o acerto do programa.

5 CONCLUSÕES

O conhecimento na identificação de patógenos em testes de Patologia de Sementes pode ser armazenado, estruturado e organizado de forma lógica, de modo a constituir um sistema especialista.

O Sistema Especialista aumentou de forma significativa, nas condições avaliadas, o acerto na identificação de fungos no Teste de Sanidade 'Blotter'.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, W. D.; GAMMERMAN, A. An application of expert systems technology to biological identification. *Taxon*, Berlin, v. 36, n. 4, p. 705-714, Nov. 1987.
- BADJONSKI, M.; IVANOVIÉ, M. A multi-agent system for the determination of optimal hybrids in crop production. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 233-243, Feb. 2000.
- BAKER, K. F. Aerated-steam treatment of seed for disease control. *Horticultural Research*, London, v. 9, n. 1, p. 59-73, 1969.
- BAKER, K. F. Seed pathology. In: KOZLOWSKI, T. (Ed.). *Seed biology*. New York: Academic Press, 1972. v. 2, p. 317-416.
- BAKER, K. F. Seed pathology: concepts and methods of control. *Journal of Seed Technology*, Lansing, v. 4, n. 2, p. 57-67, 1979.
- BAKER, K. F.; SMITH, S. H. Dynamic of seed transmission of Plant Pathogens. *Annual Review Phytopathology*, Palo Alto, v. 4, p. 311-44, 1966.
- BARRETO, J. M. *Inteligência artificial no limiar do século XXI*. Florianópolis, 2001. 391 p.
- BÍNDER, F. B. *Sistemas de apoio à decisão*. São Paulo: Érica, 1994. 98 p.
- BITTENCOURT, G. *Computação e computador*. Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.lcmi.ufsc.br/gia/computer/scca.html>>. Acesso em: 11 mar. 1998.
- BITTENCOURT, G. *Inteligência artificial*: Florianópolis: Ed. da UFSC, 1998. 362 p.
- BOYD, D. W.; SUN, M. K. Prototyping na expert system for diagnosis of potato diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 10, n. 3, p. 259-267, June 1994.

- CARVALHO, J. C. B. Uso da restrição hídrica na inoculação de *Colletotrichum lindemuthianum* em sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). 1999. 98 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CHOW, T. L.; BERNARD, G. A versatile, fully automated, real-time potato late blight alert unit. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 23, n. 1, p. 55-69, June 1999.
- COUTINHO, W. M. Uso da restrição hídrica no controle da germinação de sementes de arroz (*Oryza sativa* L.) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em testes de sanidade. 2000. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- DE TEMPE, J. Routine methods for determining the health condition of seeds in the seed testing station. *Proceeding International Seed Testing Association*, Copenhagen, v. 26, p. 27-60, 1961.
- DE TEMPE, J. Testing cereal seeds for *Fusarium* infection in the Netherlands. *Proceeding International Seed Testing Association*, Vollebakk, v. 35, p. 193-206, 1970.
- EDREES, S. A.; RAFAA, A.; FATHY, I.; YAHIA, M. NEPER: a multiple strategy wheat expert system. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 34, n. 1, p. 1-17, 2003.
- EDWARD-JONES, G. Knowledge based systems for crop protection: theory and practice. *Crop Protection*, Oxford, v. 12, n. 8, p. 565-578, Aug. 1993.
- EDWARD-JONES, G. Knowledge based systems for pest management: an applications based review. *Pesticide Science*, Chichester, v. 36, n. 2, p. 143- 153, 1992.
- FERNANDES, E. N. Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividades agropecuárias. 1997. 122 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- FRAHM, J.; VOLK, T. H.; STREIT, U. The decision-support system Pro-Plant for cereal disease control: scientific background and practical experiences. *European Journal of Plant Pathology*, Dordrecht, v. 113, July 1995. abst. 935. In: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS, 13., 1995, Netherlands.

GARDNER, Howard. **A nova ciência da mente**. São Paulo: EDUSP, 1995.

GEISSMAN, J. R.; SHULTZ, R. D. Verification and validation of expert systems. **AI Expert**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 26-33, 1988.

HALEY, S.; CURRANS, K. G.; CROFT, B. A. A computer aid for decision-making in apple pest management. **Acta horticulturae**, Wageningen, n. 276, p. 27-38, 1990.

HARRISON, S. R. Validation of agricultural expert systems. **Agricultural Systems**, Oxford, v. 35, n. 3, p. 265-285, 1991.

HAWKING, S. **O universo numa casca de noz**. São Paulo: Mandarim, 2001.

HUGGINS, L. F.; BARRET, J. R.; JONES, D. D. Expert systems: concepts and opportunities. **Agricultural Engineering**, St Joseph, v. 67, n. 1, p. 21-23, Jan./Feb. 1986.

IBM Research: Kasparov vs Deep Blue the rematch. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/deepblue/>>. Acesso em: 2003.

INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION – ISTA. Seed Health Testing. **Seed Science and Technology**, Zürich, v. 4, n. 1, p. 152-155, 1976.

JACKSON, P. **Introduction to expert systems**. California: Addison Wesley Publishing Company, 1990. 526 p.

JENSEN, A. L.; BOLL, P. S.; THYSEN, J.; PATHAK, B. K. Pl@nteInfo® - a web-based system for personalised decision support in crop management. **Computers and Electronics in Agriculture**. Denmark, v. 25, n. 3, p. 271-293, Feb. 2000.

JESUS, J. C. S. **Sistema de informação para o gerenciamento da colheita de café: concepção, desenvolvimento, implementação e avaliação dos seus impactos**. 2002. 226 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

JONES, T. H.; YOUNG, J. E. B.; NORTON, G. A.; MUMFOR, J. D. An expert system for management of *Delia coarctata* (Diptera: Anthomyiidae) in the United Kingdom. **Journal of Economic Entomology**, Lanhan, v. 83, n. 5, p. 2065-2072, Oct. 1990.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B. Predictive systems: modern approaches to disease control. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 13, p. 31-47, 1975.

KRAUSE, R. A.; MASSIE, L. B.; HYRE, R. A. BLITECAST. a computerized forecast of potato late blight. **Plant Disease Reporter**, St. Paul, v. 59, n. 2, p. 95-98, Feb. 1975.

LEACH, C. M. The light factor in the detection and identification on seed-borne fungi. **Proceeding International Seed Testing Association**, Wageningen, v. 32, p. 565-589, 1967.

LIM, K. J.; ENGEL, B. A. Extension and enhancement of national agricultural pesticide risk analysis (NAPRA) WWW decision support system to include nutrients. **Computers and Electronics in Agriculture**, West Lafayette, v. 38, n. 3, p. 227-236, Mar. 2003.

LIMONARD, T. Ecological aspects of seed health testing. **Proceeding International Seed Testing Association**, Wageningen, v. 33, p. 167, 1968.

LUCCA FILHO, O. A. Importância da sanidade na produção de sementes de alta qualidade. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 7, n. 1, p. 113-123, 1985.

LUCCA FILHO, O. A. Metodologia dos Testes de Sanidade de Sementes. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Patologia de sementes**. Campinas, 1987. 480 p.

MACHADO, J. C. Introdução à patologia de sementes. In: FUNDAÇÃO CARGEILL. **Patologia de sementes**. Campinas, 1987. 480 p.

MACHADO, J. C. Metodologias de detecção de pragas (patógenos) não-quarentenárias associadas às sementes, com potencial de regulamentação no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 7., 2002, Sete Lagoas. 2002. **Resumos e palestras...** Sete Lagoas: ABRATES, 2002. p. 133-135.

MACHADO, J. C. **Patologia de sementes: fundamentos e aplicações**. Brasília: Ministério da Educação; Lavras: ESAL: FAEPE, 1988. 107 p.

MACHADO, J. C. **Tratamento de sementes no controle de patógenos**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. 117 p.

MACHADO, J. C. **Tratamento de sementes no controle de doenças**. Lavras: LAPS/UFLA/FAEPE, 2000. 138 p.

MACHADO, J. C.; LANGERAK, C. J.; JACCOUD-FILHO, D. S. **Seed-borne fungi: a contribution to routine seed health analysis**. Zurich: International Seed Testing Association, 2002. 138 p.

MAHAMAN, B. D.; PASSAM, H. C.; SIDERIDIS, A. B.; YIALOURIS, C. P. **DIARES-IPM: a diagnostic advisory rule-based expert system for integrated pest management in *Solanaceus* crop systems**. *Agricultural Systems*, Oxford, v. 76, n. 3, p. 1119-1135, June 2003.

MALONE, J. P.; MUSKETT, A. E. **Seed-Borne Fungi. Description of 77 fungus species**. *Proceeding International Seed Testing Association*, Wageningen, v. 29, p. 179-384, 1964.

MCGEE, J. V.; PRUSAK, L. **Gerenciamento estratégico da informação: aumente a competitividade e a eficiência de sua empresa utilizando a informação como uma ferramenta estratégica**. Rio de Janeiro: Campus, 1995. 245 p.

MENTEM, J. O. M. **Importância da semente na transmissão de patógenos**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 2., 1986**, Campinas. *Anais...* Campinas: Fundação Cargill, 1986. p. 27-40.

MENTEM, J. O.; LASCA, C. C.; RUGAI, A. R. **Retrospecto e perspectivas da patologia de sementes no brasil e no mundo**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 7., 2002, Sete Lagoas. 2002. Resumos e palestras...** Sete Lagoas: ABRATES, 2002. p. 1-4.

MICHALSKI, R. S.; DAVIS, J. H.; BISHT, V. S.; **PLANT/ds: an experimental computer consulting system for the diagnosis of soybean diseases**. *Phytopathology*, St Paul, v. 71, n. 2, p. 272, Feb. 1981. (Abstr.).

MUNFORD, J. D.; NORTON, G. A. **Expert system in pest management: implementation on a international basis**. *AI Applications*, Idaho, v. 3, n. 3, p. 67-69, 1989.

NASSER, L. C. B. **Sanidade de sementes com referência à melhoria de qualidade na produção de sementes básicas no Brasil**. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 7., 2002, Sete Lagoas. Resumos e palestras...** Sete Lagoas: ABRATES, 2002. p. 143-169.

- NAUMOVA, N. A. Testing of seeds for fungus and bacterial infections. 3. ed. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translation, 1972. 145 p. (Traduzido do Russo).
- NEERGAARD, P. International and national cooperation in seed health testing and certification. **Proceeding International Seed Testing Association**, Norway, v. 37, p. 117-138, 1972.
- NEERGAARD, P. Seed-borne pathogens and pests in quarantine. Cairo: FAO Near East Regional Office, 1970. 31 p.
- NEERGAARD, P. **Seed pathology**. London: Mac Millan Press, 1977. 2 v. 1187 p.
- NEEGAARD, P. **Seed pathology**. London: MacMillan Press, 1979. 839 p.
- NEERGAARD, P. Tolerance in seed health testing: a discussion on basic principles. **Proceeding International Seed Testing Association**, Wageningen, v. 27, p. 386-399, 1962.
- NEERGAARD, P.; MATHUR, S. B. **University teaching of seed pathology**. Mysore: Mysore University Printing Press, 1980. 162
- NOBLE, M. Outline of the history of seed pathology. In: YORINORI, J. T. et al. (Ed.). **Seed pathology: problems and progress**. Londrina: IAPAR, 1979. p. 13-17.
- NOBLE, M.; DE TEMPE, J.; NEERGAARD, P. **Ann annotated list of seed-borne disease**. Kew: Commonwealth Mycological Institute, 1958. 159 p.
- NOBLE, M.; MACGARVIE, Q. D.; HANS, A. F.; LEAFE, E. L. Resistance to mercury of *Pyrenophora avenae* in Scottish seed oats. **Plant Pathology**, Harpenden, v. 15, n. 1, p. 23-28, Mar. 1966.
- ORMEROD, T. C. Marketing of models: the development of usable computer - based systems in applied biology. **Aspects Applied Biology**, v. 26, p. 163-174, 1991.
- PARIZZI, P. Situação atual dos trabalhos do grupo técnico permanente em sanidade de semente- GTPSS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DE SEMENTES, 7., 2002, Sete Lagoas. 2002. **Resumos e palestras...** Sete Lagoas: ABRATES, 2002. p. 177-182.

PASQUAL, G. M. Development of an expert system for the identification and control of weeds in wheat, triticale, barley and oat crops. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 117-134, Mar. 1994.

PINTO, A. C. S. **Sistema especialista para diagnose e manejo de problemas fitossanitários e redes neuronais para descrever epidemias da ferrugem do café**. 2001. 91 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.

POTTER, W. D.; DENG, X.; LI, J.; SU, M.; WEI, Y.; TWERY, M. J.; BENNETT, D. J. A web-based expert system for gypsy moth risk assessment. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 27, n. 1/3, p. 95-105, June 2000.

POZZA, E. A. **Desenvolvimento de sistemas especialistas e redes neuronais e suas aplicações em fitopatologia**. 1998. 139 p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

POZZA, E. A.; MAFFIA, L. A.; SILVA, C. A.; BRAGA, J. L. Desenvolvimento e Aplicações de sistemas especialistas e redes neuronais em fitopatologia. **Revista Brasileira de Agroinformática**, v. 2, n. 1, p. 28-61, 1999.

RAFEA, A.; EL-DESSOUKI, A.; HASSAN, H.; MOHAMED, S. Development and implementation of a knowledge acquisition methodology for crop management expert systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, Amsterdam, v. 8, n. 2, p. 129-146, Mar. 1992.

RAMALHO, M.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. B. **Genética na agropecuária**. São Paulo, 1997. 359 p.

RICHARDSON, M. J. **Ann annotated list of seed-borne diseases**. 3. ed. London: Commonwealth Mycological Institute, 1979. 320 p. (Phytopathology Papers, n. 23).

RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. New Jersey: Prentice Hall, 1995.

SAUNDERS, M. C.; MUZA, A. J.; TRAVIS, B. J.; CHAVE, A. D. Integration of pest management recommendations by an expert system. *AI Applications*, Pennsylvania, v. 3, n. 3, 1989.

SCHWEIZER, E. E.; WESTRA, P.; LYBECKER, D. W. Controlling weeds in corn (*Zea mays*) rows with an in-row cultivator versus decisions made by a computer model. *Weed Science*, Champaign, v. 42, n. 4, p. 593-600, Oct./Dec. 1994.

SHIPP, J. L.; CLARKE, N. D.; JARVIS, W. R. et al. Expert system for integrated cropmanagement of greenhouse cucumber. *IOBC wprs Bulletin*, v. 16, n. 2, p. 149-52, 1993.

SILVA, C. A. B. Sistemas especialistas para economistas rurais: potencial e relevância. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, Brasília, v. 28, n. 2, p. 155-174, abr./jun. 1990.

STUDMAN, C. J. Computers and electronics in postharvest technology – a review. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 30, n. 1/3, p. 109-124, Feb. 2001.

TANAKA, M. A. S.; MACHADO, J. C. Patologia de Sementes. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 11, n. 122, p. 40-46, fev. 1985.

TANNER, H. G.; KYRIAKOPOULOS, K. J.; KRIKELIS, N. I. Advanced agricultural robots: Kinematics and dynamics of multiple mobile manipulators handling non-rigid material. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 91-105, Mar. 2001.

THOMSON, A. J.; ALLEN, E.; MORRISON, D. Forest tree disease diagnosis over the World Wide Web. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 21, n. 1, p. 19-31, Sept. 1998.

TRAVIS, J. W.; LATIN, R. X. Development, implementation, na adoption of expert systems in plant pathology. *Annual Review of Phytopathology*, Palo Alto, v. 29, p. 343-360, 1991.

TURAZI, A. O recurso tecnologia da informação em uma instituição de pesquisa agropecuária: De 1974 a 2000. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2001. 237 p.

TURBAN, E. Decision support and expert systems: management support systems. New York: Macmillan, 1995. 833 p.

TURBAN, E.; ARONSON, J. Decision support systems and intelligent systems. New Jersey, 1998. 889 p.

UCHÔA, J. Q. Representação e Indução de Conhecimento Usando Teoria de Conjuntos Aproximados. 1998. 237 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

WAKSMAN, G. Agro informatics and decision support systems in France. IAALD Quarterly Bulletin, Paris, v. 37, n. 1/2, p. 112-119, 1992.

WATERMAN, D. A guide to expert systems. Reading-MA: Addison-Wesley: 1986. 419 p.

WELCH, S. M.; JONES, J. W.; BRENNAN, M. W.; REEDER, G.; JACOBSON, B. M. PCYield: model-based decision support for soybean production. Agricultural Systems, Oxford, v. 74, n. 1, p. 79-98, Oct. 2002.

WELLS, J. M.; BUTTERFIELD, J. E.; REVEAR, L. G. Identification of bacteria associated with postharvest diseases of fruits and vegetables by cellular fatty acid composition: an expert system for personal computers. Phytopathology, St Paul, v. 83, n. 4, p. 445-455, Apr. 1993.

YIALOURIS, C. P.; PASSAM, H. C.; SIDERIDIS, A. B.; MÉTIN, C. VEGES: A multilingual expert system for the diagnosis of pest, diseases and nutritional disorders of six greenhouse vegetables. Computers and Electronics in Agriculture, Amsterdam, v. 19, n. 1, p. 55-67, Dec. 1997.

YORINORI, J. T. Fatores que afetam os resultados dos Testes de Sanidade envolvendo incubação. In: FUNDAÇÃO CARGILL. Patologia de sementes. Campinas, 1987. 480 p.