

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM SISTEMA ESPECIALISTA PARA IDENTIFICAR FUNGOS NA ANÁLISE SANITÁRIA DE SEMENTES¹

MARCELO DE CARVALHO ALVES², EDSON AMPÉLIO POZZA³, JOSÉ DACRUZ MACHADO⁴, MARIA DAS GRAÇAS GUIMARÃES CARVALHO⁵

RESUMO - Objetivou-se com o presente trabalho desenvolver e validar um Sistema Especialista (*SE*) para auxiliar na detecção de fungos em análises de sanidade de sementes. O *SE* possui opções que permitem auxiliar a identificação de 46 fungos de importância econômica que ocorrem em sementes de algodão, arroz, cenoura, feijão, girassol, milho, soja, sorgo e trigo, submetidas ao teste de incubação em papel de filtro ('blotter test'). São apresentadas fotografias dos patógenos nas sementes e em lâminas, 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 foram incluídos. O sistema fornece nível de confiança (porcentagem de acerto) na resposta ao realizar a diagnose e possibilita acesso aos detalhes sobre o patógeno encontrado. 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 de outras áreas e grupo 3: acadêmicos do curso de graduação em Agronomia). A porcentagem de acerto antes e após a utilização do *SE* foi a seguinte: grupo 1 = antes de acessar o programa a média foi de 62,3% e, após sua utilização, de 95,2%; para os grupos 2 e 3 = 0% de acerto antes de usar o programa e, após a utilização desse, a porcentagem de acerto médio subiu para 88,1 e 95,2%, respectivamente. Considerando todos os fungos testados na fase de validação, independente de seus hospedeiros, o *SE* em Patologia de Sementes proporcionou incremento na porcentagem média de acerto, após a utilização do sistema de 35,33% para o grupo 1, de 86% para o grupo 2, e de 94% para o grupo 3. Na análise estatística realizada pelo teste do χ^2 , considerando frequência esperada de acerto de 90%, 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, ou seja, os resultados esperados (90% de acerto) não foram atingidos. Dessa forma, pode-se verificar que o programa aumenta consideravelmente a acurácia e precisão na identificação de fungos no teste de sanidade de sementes e possibilita que profissionais sem conhecimento prévio na área possam acessar informações específicas, como as referentes à sanidade de sementes pelo método de incubação em papel de filtro.

Termos para indexação: patologia, inteligência artificial, identificação de fungos.

DEVELOPMENT AND EVALUATION OF AN EXPERT SYSTEM FOR SEED-BORNE FUNGI IDENTIFICATION IN THE SEED HEALTH ANALYSIS

ABSTRACT- The objective of this work was to develop and to validate an Expert System (*ES*) in order to facilitate the fungi identification in the seed health analysis. The *ES* will be able to help in the identification of 46 major economical importance fungi that occur in seeds of species such as 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,

¹ Submetido em 04/01/2005. Aceito para publicação em 01/07/2005. Parte da dissertação do primeiro autor apresentada à Universidade Federal de Lavras (UFLA), financiada pela CAPES, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração Fitotecnia;

² Engº Agrº, MS, Doutorando do Depto. de Agricultura, UFLA, Cx. P. 37, 37200-000, Lavras- MG, marcelocarvalhoalves@gmail.com;

³ Engº Agrº, MS, DR, Prof. do Depto. de Fitopatologia, UFLA, Cx. P. 37, 37200-000, Lavras- MG, eapozza@ufla.br;

⁴ Engº Agrº, MS, PhD, Post-doct, Prof. do Depto. de Fitopatologia, UFLA, Cx. P. 37, 37200-000, Lavras- MG, machado@ufla.br;

⁵ Engº Agrº, MS, DR, Prof. do Depto. de Agricultura, UFLA, Cx. P. 37, 37200-000, Lavras- MG, mariagecv@ufla.br

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 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, 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, considering expected certainty frequencies of 90%, the results before the use of the system 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, and it confirms that the expected certainty frequencies of 90% were obtained. In that way, it can be verified that the program increases considerably the accuracy and precision of the fungi identification in the seed health analysis and it makes possible that professionals without previous knowledge in the area can access specific information as in the seed health analysis by the blotter test method.

Index terms: pathology, artificial intelligence, fungi identification.

INTRODUÇÃO

Os danos decorrentes da associação de patógenos com sementes resultam em perdas diretas de população de plantas no campo e podem ocasionar danos irreparáveis a todo o sistema agrícola (Machado, 2000). Para a redução desses danos, o reconhecimento das doenças é imprescindível para o sucesso do empreendimento agrícola.

Normalmente, especialistas humanos são necessários para fornecer o conhecimento sobre uma diagnose, entretanto, muitas vezes, um especialista em determinada área é escasso no mercado ou não se encontra disponível para realizar a diagnose (Mahaman et al., 2003). Da mesma forma, este especialista poderá aposentar-se, mudar de trabalho, falecer ou não estar presente em diferentes regiões geográficas onde, até então, não era possível a solução de alguns problemas (Edward-Jones, 1993). Dentro desse contexto, programas de computador, denominados de Sistemas Especialistas (*SEs*), podem ser importantes no auxílio à diagnose de doenças de fungos associados às sementes.

Os *SEs* fazem parte de uma entre várias aplicações da Inteligência Artificial (*IA*) (Yialouris et al., 1997; Badjonski e Ivanović, 2000; Edrees et al., 2003; Mahaman et al., 2003) e são atualmente utilizados na agricultura no apoio à tomada de decisão para diagnose, aumento de qualidade e produtividade dos agroecossistemas, por meio da transferência do

conhecimento de domínio de especialistas para profissionais da extensão e empresários rurais. As aplicações dos *SEs* para incremento na produção de culturas e manejo de pragas e doenças não são recentes (Saunders et al., 1989; Haley et al., 1990; Jones et al., 1990; Rafea et al., 1992; Waksman, 1992; Shipp et al., 1993; Boyd e Sun, 1994; Pozza et al., 1999; Pinto, 2001). Muitos desses *SEs* foram desenvolvidos para culturas idênticas com diferentes objetivos, já que esses atuam dentro de domínios de conhecimento restritos e bem-delimitados, geralmente abordando uma cultura.

Apesar do grande número de *SEs* com aplicações na agricultura, ainda não se verificou emprego desses sistemas para auxiliar a identificação de fungos nos testes de sanidade de sementes ou em Patologia de Sementes.

Segundo avaliação da ISTA sobre a variabilidade dos resultados dos testes de sanidade de sementes de diversos laboratórios ao redor do mundo, em geral, a falta de conhecimento do laboratorista em reconhecer os patógenos associados às sementes foi a principal causa da discrepância entre resultados (Neergaard, 1979). De acordo com Edward-Jones (1993) e Pozza et al. (1999), os *SEs* são utilizados para enriquecer as conclusões sobre determinada diagnose e como ferramenta de treinamento do especialista dentro do seu próprio domínio de conhecimento. Sendo assim, os *SEs* podem ser utilizados para reduzir a discrepância entre resultados, melhorar a acurácia e precisão da análise sanitária de sementes, pois

permitem auxiliar pesquisadores e laboratoristas na identificação de patógenos de forma a aumentar a confiabilidade dos testes de sanidade de sementes. Além disso, a correta diagnose poderá influenciar na recomendação fitossanitária de forma a possibilitar um uso mais racional de produtos fitossanitários e evitar problemas graves de poluição ambiental.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e validar um Sistema Especialista para auxiliar na identificação de fungos no teste de sanidade de sementes.

MATERIALE MÉTODOS

Para desenvolver o Sistema Especialista, foram realizadas as fases de seleção do problema, desenvolvimento do protótipo e avaliação do sistema (Pozza, 1998; Pinto, 2001; Guimarães, 2004). O sistema foi denominado 'Doctor Seed Fungi'.

Seleção do problema

O sistema foi desenvolvido para identificar fungos em sementes pelo método de incubação em substrato de papel de filtro ('blotter test'). As culturas e fungos incorporados ao sistema, foram selecionados com base na Portaria nº 71, de 22 de fevereiro de 1999, do Ministério da Agricultura e do Abastecimento (Nasser, 2002), utilizando-se material descritivo e fotografias de Machado et al. (2002). Foram selecionadas as seguintes culturas e respectivos fungos:

Algodão (*Gossypium hirsutum* L.): *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides*, *Colletotrichum gossypii*, *Botryodiplodia theobromae*, *Fusarium oxysporum*; **Arroz** (*Oryza sativa* L.): *Drechslera oryzae*, *Gerlachia oryzae*, *Phoma sorghina*, *Pyricularia grisea*, *Trichoconis padwickii*; **Cenoura** (*Daucus carota* L.): *Alternaria dauci*, *Alternaria radicina*; **Feijão** (*Phaseolus vulgaris* L.): *Colletotrichum lindemuthianum*, *Fusarium oxysporum*, *Macrophomina phaseolina*, *Phaeoisariopsis griseola*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*; **Girassol** (*Helianthus annuus* L.): *Alternaria helianthi*, *Alternaria zinniae*, **Milho** (*Zea mays* L.): *Cephalosporium acremonium*, *Stenocarpella maydis*, *Exserohilum turcicum*, *Fusarium verticillioides*; **Soja** (*Glycine max* L.): *Cercospora kikuchii*, *Cercospora sojina*, *Colletotrichum truncatum*, *Fusarium semitectum*, *Phomopsis sojiae*, *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia sclerotiorum*; **Sorgo** (*Sorghum* spp.): *Colletotrichum graminicola*, *Fusarium moniliforme*, *Drechslera turcica*; **Trigo** (*Triticum aestivum* L.): *Bipolaris sorokiniana*, *Drechslera tritici-repentis*, *Fusarium graminearum*, *Stagonospora nodorum*; **Fungos de armazenamento e cosmopolitas**: *Aspergillus flavus*, *Aspergillus glaucus*, *Aspergillus candidus*, *Aspergillus*

ochraceus, *Aspergillus niger*, *Penicillium* spp., *Alternaria alternata*, *Rhizopus* spp.

Desenvolvimento do protótipo

O protótipo foi desenvolvido nos laboratórios de Patologia de Sementes e de Epidemiologia e Manejo do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em ambiente Windows. Foi utilizado computador equipado com processador Intel Pentium IV de 2,0GHZ, HD de 20Gb, 512Mb de memória RAM DDR, placa-mãe ASUS P4S333, placa de vídeo Tornado GeForce 4 MX 440 64MB, monitor LG de 17 polegadas, scanner Gênus Color Page-HR6X. O desenvolvimento incluiu as fases de aquisição do conhecimento, organização do conhecimento, teste e revisão do protótipo.

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. A maior parte das fotografias foi gentilmente cedida pelo prof. Dr. José da Cruz Machado, responsável pelo Laboratório de Patologia de Sementes da Universidade Federal de Lavras e encontram-se disponíveis, também, em Machado et al. (2002).

Organização do conhecimento - As informações foram organizadas e processadas para comunicar a experiência aplicada a um problema de forma a se constituírem conhecimento. Para isso utilizou-se o banco de dados 'Microsoft Access®' por onde se desenvolveu a primeira versão do sistema (protótipo). O protótipo foi utilizado na construção do Sistema Especialista completo, com os programas 'Macromedia Flash MX®' e 'Macromedia Dream Weaver MX®'.

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

Desenvolvimento do Sistema Especialista completo

Apesar de o programa ser auto-explicativo na maioria de suas opções, foram adicionados ajuda operacional e 'links', que exemplificam alguns termos técnicos. Por último, estabeleceu-se fator de confiança na diagnose realizada pelo programa, indicando a porcentagem de acerto da resposta fornecida. Os programas utilizados no desenvolvimento do Sistema Especialista completo são utilizados na edição de páginas para a 'web'. Sendo assim, o presente sistema poderá ser disponibilizado 'on-line' (via Internet), o que constitui

diferencial em relação aos textos impressos, que são restritos a pequeno número de pessoas.

Avaliação

A fase de avaliação dividiu-se em validação e verificação (Geissman e Schultz, 1988; 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, tentando cobrir todas as opções disponíveis para identificar fungos pelo método de incubação em papel de filtro. Foram realizadas nessa fase, 46 diagnoses que incluíram os fungos relativos aos nove hospedeiros incorporados ao sistema.

Na fase de validação, para cada cultura, foram preparadas 8 placas de Petri, com 15cm de diâmetro, contendo 25 sementes, com três folhas de papel de filtro por placa, utilizando o método de incubação em substrato de papel com congelamento para as monocotiledôneas, ou o método de incubação em substrato de papel com *2,4-D*, para as dicotiledôneas. Foram escolhidos lotes com patógenos detectados em diagnoses laboratoriais anteriores, buscando avaliar a ocorrência de fungos para os hospedeiros: algodão, arroz, feijão, milho, soja, sorgo e trigo. A diagnose dos fungos verificados nas amostras foi realizada pelo Laboratório de Patologia de Sementes da Universidade Federal de Lavras.

Foram avaliados três grupos diferentes de pessoas, classificados em função de níveis semelhantes de conhecimento com relação à Patologia de Sementes, de acordo com metodologia empregada por Pozza (1998). O primeiro grupo foi composto por 6 pessoas, 2 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; 3 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. O terceiro grupo foi composto por 2 acadêmicos de graduação em Agronomia.

Nos dados relativos à identificação dos fungos pelos usuários, com e sem o apoio do programa, foram verificadas as porcentagens de acerto e incremento e, em seguida, foi realizada análise estatística do qui-quadrado de forma semelhante a Pozza (1998), Pozza et al.(1999), Pinto (2001) e Pinto et al.(2003). Quando a frequência observada não é estatisticamente diferente da esperada (frequências iguais), a

porcentagem de acerto do Sistema Especialista é de pelo menos 90%.

$$\chi^2 = \sum_i^n \frac{(fo_i - fe_i)^2}{fe_i}$$

Onde, fo_i = frequência observada ou porcentagem de acerto do *SE*,

fe_i = frequência esperada (90% de acerto).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aquisição do conhecimento

A fase de aquisição do conhecimento, considerada complexa (Edward Jones, 1992 e 1993), foi facilitada, pelo fato de o engenheiro do conhecimento e os especialistas consultados pertencerem à mesma área, dispensando definições e explicações sobre alguns termos e metodologias específicas da área, de forma semelhante à verificada por Pozza (1998), Pinto (2001) e Guimarães (2004), os quais desenvolveram *SEs* aplicados à diagnose de doenças em Fitopatologia.

Organização e Representação do Conhecimento

O conhecimento adquirido foi organizado de forma hierárquica, em fluxogramas (Figura 1) contendo módulos e submódulos. Essa atividade envolveu a preparação de mapa do conhecimento e a codificação das informações representadas por ele, na base de conhecimentos, de maneira análoga à desenvolvida em publicações de Pozza (1998), Turban e Aronson (1998), Pinto (2001) e Guimarães (2004). A divisão em módulos, utilizada em diversos *SEs* para diagnosticar doenças, de acordo com o raciocínio do especialista, é um recurso para facilitar o desenvolvimento do sistema. Em alguns sistemas, especialmente os voltados para diagnose de doenças, a divisão em módulos é baseada no órgão da planta, como foi empregada no TomEx (Pozza, 1998) e AppLES (Guimarães, 2004), mas no presente sistema, a divisão em módulos foi baseada no tipo de hospedeiro, método de detecção e equipamento de visualização.

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 preparo de lâminas de vidro para observação ao microscópio composto, montagem do método de incubação em papel de filtro ('blotter test') e rolo de papel. As perguntas ao usuário foram dispostas seguindo uma lógica de representação do conhecimento baseada em regras do tipo

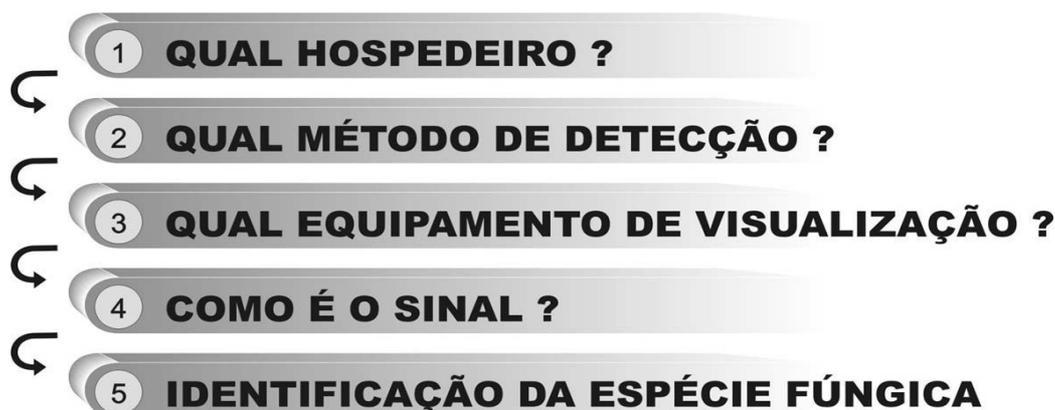


FIGURA 1. Fluxograma do funcionamento básico do SE.

Se-Então (Figura 1), por exemplo:

Se a cultura analisada é algodão; E o método de detecção é o de incubação em substrato de papel de filtro; E ao estereomicroscópio, o micélio é esparso, a cor do micélio é cinza e recobre as sementes e substrato; E existem picnídios escuros com cirros; E ao microscópio composto, os conídios maduros são uniseptados, de cor canela a castanho-amarelada; ENTÃO, o fungo é *Botryodiplodia theobromae*.

Apesar de haver grande número de microrganismos associados às sementes, a primeira versão do 'Doctor Seed Fungi' contém 46 fungos de importância econômica, abrangendo 10 hospedeiros, 779 imagens, 5 filmes, 125 regras e 5 perguntas. De forma semelhante, o 'Doctor Coffee' (Pinto, 2001) foi organizado e codificado em 229 regras e 85 perguntas, abrangendo 13 doenças, 9 pragas, 8 deficiências nutricionais, as quatro principais espécies de nematóides e 12 desordens fisiológicas e injúrias (Pinto et al., 2003). A utilização de grande número de fotografias e a apresentação dessas, auxiliaram o entendimento dos conceitos pelos usuários e diminuíram a margem de erros de forma semelhante à verificada por Pozza (1998), Pozza et al. (1999), Pinto (2001), Pinto et al. (2003) e Guimarães (2004), ao avaliar Sistemas Especialistas utilizados na diagnose de doenças do tomateiro, cafeeiro e macieira, respectivamente.

Construção da interface

Foram incorporadas ao sistema imagens coloridas dos hospedeiros e sinais fúngicos, sob estereomicroscópio e microscópio composto, em diferentes resoluções espaciais, em razão dos diferentes aumentos conferidos pelos equipamentos de avaliação do teste de sanidade recomendados

pela ISTA (Figura 2).

Avaliação do sistema

A avaliação do sistema foi dividida em verificação e validação. A fase de verificação, apesar de ser pouco encontrada na literatura, foi importante no presente trabalho, pois permitiu aperfeiçoar a lógica interna. Durante essa fase, dois especialistas envolvidos no desenvolvimento do sistema testaram um total de 46 diagnoses correspondentes a 46 fungos, no intuito de verificar o correto funcionamento de todos os cenários existentes no programa, de forma semelhante à realizada por Mahaman et al. (2003). 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, também, algumas correções nos textos relativos aos sintomas, que foram simplificados para facilitar o entendimento por parte dos usuários. A fácil utilização do sistema verificada pelos especialistas ao testar os cenários do programa ocorreu em razão de a lógica interna estar condizente com a realidade e devido ao pleno funcionamento do programa. Esse fato foi também observado em publicações de Pozza (1998), Pozza et al. (1999), Pinto (2001), Pinto et al. (2003) e Guimarães (2004), os quais obtiveram alto índice de acerto na fase de validação com o aperfeiçoamento da lógica interna de seus programas, após a fase de verificação.

Na validação do 'Doctor Seed Fungi', os grupos 2 e 3 apresentaram 0% de acerto na diagnose sem o auxílio do SE. Com esse resultado, comprovou-se o baixo conhecimento



FIGURA 2. Tela do SE “Doctor Seed Fungi”.

prático desses grupos para identificar fungos no método de incubação em papel de filtro. Considerando todas as culturas e fungos avaliados, o grupo 1, composto por especialistas da área do conhecimento contido no SE, apresentou, em média, 62,3% de acerto antes de utilizar o programa e 92,5% após sua utilização (Tabela 1). Os grupos 2 e 3 apresentaram, em média, 0% de acerto antes de usar o programa e, após a sua utilização, essa porcentagem subiu, em média, para 88,1% e 95,2%, respectivamente (Tabela 1). Esses resultados indicam a correta aplicação do SE na organização e estruturação do conhecimento sobre Patologia de Sementes, pois o problema estruturado no programa apresenta domínio de aplicação bem definido, delimitado e específico, satisfazendo características de SEs mencionadas por Huggins et al. (1986), Bänder (1994) e Turban (1995).

Ao contrário da fase de verificação de SEs, a fase de validação é mais utilizada durante a avaliação de programas, como, por exemplo, nos SEs CALEX/Peaches (Plant et al., 1989), MDMS (Latin et al., 1990), ‘TomEX’ (Pozza, 1998),

‘Doctor Coffee’ (Pinto, 2001) e AppLES (Guimarães, 2004). Na validação do ‘TomEX’, obtiveram-se índices de acerto superior a 95%. Resultados semelhantes foram obtidos com o ‘Doctor Coffee’, com grande diferença entre a média de acerto dos usuários (35,7%) e a do sistema (96,7%). O programa CALEX/Peaches foi utilizado por 12 estudantes, obtendo índice de acerto de 96%. O programa ‘AppLES’ foi validado por 45 usuários, dos quais nenhum acertou o diagnóstico antes de utilizar o sistema; já após sua utilização, o índice de acerto aumentou para 98,4%, demonstrando grande potencial para utilização como ferramenta de treinamento para diagnose (Guimarães, 2004).

Houve 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 identificação de fungos na análise sanitária de sementes (Tabela 2). Pode-se observar na mesma tabela que todos os usuários apresentaram incrementos acima de 50% para todos os fungos avaliados,

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

Hospedeiros	Grupo1		Grupo2		Grupo3	
	Sem o software	Com o software	Sem o software	Com o software	Sem o software	Com o software
Arroz	61,1	100	0	100	0	100
Algodão	55,6	100	0	77,8	0	100
Feijão	47,2	91,7	0	91,7	0	91,7
Milho	72,2	100	0	100	0	83,3
Soja	61,1	91,7	0	75	0	91,7
Sorgo	83,3	100	0	100	0	100
Trigo	55,6	83,3	0	72,2	0	100
Média	62,3	95,2	0	88,1	0	95,2

TABELA 2. 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

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

reforçando a eficiência do SE.

A menor porcentagem de acerto do grupo 1 (Tabela 3), após utilizar o 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 utilizar o 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 utilizar o 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 que representassem melhor os sinais dos patógenos nas sementes, como já mencionado por Pinto (2001) e Guimarães (2004).

O χ^2 , para o grupo 1, foi não-significativo, antes e após

o acesso do programa (Tabela 4). Tal fato comprovou que esse grupo tinha conhecimento necessário para identificar fungos no método de incubação em papel de filtro anteriormente à utilização do programa. Entretanto, pelos níveis de probabilidade (α) que conferem maior certeza ao resultado obtido pelo teste do χ^2 , observa-se valores superiores (maior que 75%) referentes ao acerto dos usuários após o uso do programa, e inferiores (menor do que 75%) antes da utilização desse, concordando com os altos valores de porcentagem de acerto dos usuários obtidos também após o uso do programa (Tabelas 1 e 3). Dessa forma, a utilização do programa dentro do grupo 1 conferiu maior confiabilidade em acertos dos patógenos encontrados no método de incubação em papel de filtro após o uso do SE. Com relação ao grupo 2, a hipótese de os usuários não acertarem a identificação antes de usar o programa, ou seja, de o resultado observado não ser igual ao

TABELA3. Porcentagens de acertos por grupos na identificação dos fungos na fase de validação do SE, dispostos separadamente por culturas

Hospedeiros	Diagnose Laboratorial	Grupo1		Grupo2		Grupo3	
		Sem o software (%)	Com o software (%)	Sem o software (%)	Com o software (%)	Sem o software (%)	Com o software (%)
Arroz	<i>P. sorghina</i>	66,7	100	0	100	0	100
	<i>D. oryzae</i>	66,7	100	0	100	0	100
	<i>G. oryzae</i>	50	100	0	100	0	100
Algodão	<i>B. theobromae</i>	33,3	100	0	83,3	0	100
	<i>F. oxysporum</i>	83,3	100	0	100	0	100
	<i>A. flavus</i>	50	100	0	50	0	100
Feijão	<i>A. flavus</i>	50	100	0	66,7	0	50
	<i>A. ochraceus</i>	50	100	0	100	0	100
	<i>S. sclerotiorum</i>	50	100	0	100	0	100
	<i>F. oxysporum</i>	33,3	66,7	0	83,3	0	100
	<i>M. phaseolina</i>	16,7	83,3	0	100	0	100
	<i>Penicillium spp.</i>	83,3	100	0	100	0	100
Milho	<i>F. moniliforme</i>	100	100	0	100	0	100
	<i>Penicillium spp.</i>	66,7	100	0	100	0	50
	<i>A. flavus</i>	50	100	0	100	0	100
Soja	<i>A. flavus</i>	50	100	0	83,3	0	100
	<i>Phomopsis sojae</i>	66,7	100	0	66,7	0	100
	<i>A. ochraceus</i>	83,3	100	0	50	0	100
	<i>S. sclerotiorum</i>	66,7	83,3	0	83,3	0	100
	<i>A. niger</i>	66,7	100	0	100	0	100
	<i>C. kikuchii</i>	33,3	66,7	0	66,7	0	50
Sorgo	<i>F. moniliforme</i>	83,3	100	0	100	0	100
Trigo	<i>B. sorokiniana</i>	66,7	100	0	100	0	100
	<i>A. alternata</i>	50	83,3	0	50	0	100
	<i>A. flavus</i>	50	66,7	0	66,7	0	100
Média		58,7	94	0	86	0	94

esperado, foi confirmada quando os dados do teste do χ^2 apresentaram-se altamente significativos (Tabela 4). Entretanto, após utilizar o programa, os resultados foram não-significativos. 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 eficiência do *SE* como ferramenta de apoio à decisão na identificação dos fungos ocorridos ao acaso no método de incubação em papel de filtro.

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 4). 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 ferramenta de apoio à decisão.

Pelos resultados do teste do χ^2 durante a avaliação dos 'softwares' 'TomEX' (Pozza, 1998), 'Doctor Coffee' (Pinto, 2001) e 'AppLES' (Guimarães, 2004), verificou-se alto índice

de acerto de forma semelhante aos resultados encontrados na avaliação do 'Doctor Seed Fungi', em razão de a lógica interna estar condizente com a realidade e a base de conhecimento bem-detalhada e estruturada, de forma semelhante à verificada por Pozza (1998) e Pinto (2001).

Em alguns casos, na fase de avaliação do método de incubação em papel de filtro, foi necessário ensinar ao usuário o funcionamento do estereomicroscópio ou microscópio composto, e até mesmo focalizar os sinais do fungo de interesse, em razão da falta de prática de alguns usuários e da ocorrência de diferentes espécies fúngicas na mesma semente. Pessoas com conhecimento prévio em Patologia de Sementes fizeram a avaliação do programa em aproximadamente 1 hora, enquanto que pessoas sem conhecimento prévio na área e com pouca habilidade em utilizar os equipamentos, necessitaram de 1 dia para avaliar o programa.

Novas avaliações serão realizadas, incluindo análise de sensibilidade, para reduzir a incerteza, modificar módulos e submódulos e aumentar o acerto do programa. Além disso, outros métodos de detecção de fungos incorporados ao sistema devem ser avaliados.

A utilização do programa por profissionais da área de Patologia de Sementes é interessante, pois permite enriquecer

TABELA 4. Resultado do teste do χ^2 e suas probabilidades (á) referentes ao acerto dos usuários antes e após a utilização do *SE*, para os grupos 1, 2 e 3

Hospedeiros	Grupo	GL	X^2 antes do uso	Probabilidade (a)	X^2 após o uso	Probabilidade (a)
Arroz	1	2	1,79	(0,250-0,500)NS	0,2	(0,900-0,950)NS
Algodão	1	2	3,24	(0,100-0,250)NS	0,2	(0,900-0,950)NS
Feijão	1	5	8,96	(0,100-0,250)NS	0,66	(0,975-0,990)NS
Milho	1	2	1,5	(0,250-0,500)NS	0,2	(0,900-0,950)NS
Soja	1	5	4,33	(0,500-0,750)NS	0,66	(0,975-0,990)NS
Trigo	1	2	2,5	(0,250-0,500)NS	0,46	(0,750-0,900)NS
Arroz	2	2	16,2	0,005*	0,2	(0,900-0,950)NS
Algodão	2	2	16,2	0,005*	1,16	(0,500-0,700)NS
Feijão	2	5	32,4	0,005*	0,66	(0,975-0,990)NS
Milho	2	2	16,2	0,005*	0,2	(0,900-0,950)NS
Soja	2	5	32,4	0,005*	1,92	(0,750-0,900)NS
Trigo	2	2	16,2	0,005*	1,5	(0,250-0,500)NS
Arroz	3	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS
Algodão	3	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS
Feijão	3	5	17,63	0,005*	1,19	(0,900-0,950)NS
Milho	3	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,4	(0,750-0,900)NS
Soja	3	5	17,63	0,005*	1,19	(0,900-0,950)NS
Trigo	3	2	8,82	(0,010-0,025)*	0,15	(0,900-0,950)NS

NS: não significativo (P $e^{>0,1}$)

as conclusões sobre uma determinada diagnose e pode ser utilizado como ferramenta de treinamento do especialista para identificar fungos associados às sementes no teste de sanidade pelo método de incubação em substrato de papel de filtro.

CONCLUSÕES

O conhecimento na identificação de fungos associados às sementes pelo método de incubação em substrato de papel de filtro, utilizado em testes de sanidade de sementes, pode ser armazenado, estruturado e organizado de forma lógica, de modo a constituir um sistema especialista.

O 'Doctor Seed Fungi' aumenta de forma significativa a acurácia e a precisão do método de incubação em substrato de papel de filtro na identificação de fungos associados às sementes.

REFERÊNCIAS

- BADJONSKI, M.; IVANOVIĆ, 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, 2000.
- BÍNDER, F.B. **Sistemas de apoio à decisão**. São Paulo: Érica, 1994. 98 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, 1994.
- EDREES, S.A.; RAFEA, 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 pest management: an applications based review. **Pesticide Science**, Chichester, v. 36, n. 2, p. 143-153, 1992.
- EDWARD-JONES, G. Knowledge based systems for crop protection: theory and practice. **Crop Protection**, Oxford, v. 12, n. 8, p. 565-578, 1993.
- GEISSMAN, J.R.; SHULTZ, R.D. Verification and validation of expert systems. **AI Expert**, San Francisco, v. 1, n. 1, p. 26-33, 1988.
- GUIMARÃES, L.S. **Desenvolvimento de sistema especialista para diagnose das doenças da macieira no Brasil**. 2004. 54f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2004.
- 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.
- 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, 1986.
- 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, 1990.
- LATIN, R.X.; MILES, G.E.; RETTINGER, J.C. et al. An expert systems for diagnosing muskmelon disorders. **Phytopathology**, St Paul, v. 74, n. 1, p. 83-87, 1990.
- MACHADO, J.C.; LANGERAK, C.J.; JACCOUD-FILHO, D.S. **Seed-borne fungi: a contribution to routine seed health analysis**. Zürich: ISTA, 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, 2003.
- 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.
- NEEGAARD, P. **Seed pathology**. London: McMillan Press, 1979. 839 p.
- PLANT, R.E.; ZALOM, F.G.; YOUNG, T.A. et al. CALEX/Peacher, an expert system for the diagnosis of peach and nectarine disorders. **HortScience**, Alexandria, v. 24, p. 700, 1989.
- PINTO, A.C.S.; POZZA, E.A.; TIMÓTEO, G.T.S.; SOUZA, P.E.; CASTRO, H.A.; POZZA, A.A.; MAFFIA, L.A. Desenvolvimento e validação de sistema especialista para diagnose e manejo de doenças do cafeeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 29, n.3, 2003.
- 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 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- POZZA, E.A. **Desenvolvimento de sistemas especialistas e redes neuronais e suas aplicações em fitopatologia**. 1998. 139 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- 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, 1992.
- 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.
- 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.
- TURBAN, E. **Decision support and expert systems: management**

support systems. New York: McMillan, 1995. 833 p.

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

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

119, 1992.

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, 1997.

