

## **SEMAÇA – Sistema Especialista para Auxílio no diagnóstico de doenças da maçã e macieiras**

**Daniel Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Eliane Pozzebon<sup>2</sup> Maria Aparecida Fernandes Almeida<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC)  
Dep. de Ciências Exatas e Tecnologia  
Av. Castelo Branco, 170 Bairro Universitário – 88.509. 900 - Lages – SC – Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação  
Campus Universitário – Trindade - 88040-900 – Florianópolis – SC

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas)  
Rua Yolando S. Logli, 255 - B. Industrial II CEP: 35.588-000 - Arcos – MG

Daniel@uniplac.rct-sc.br, eliane@inf.ufsc.br, mafa@pucminas.br

**Abstract.** *This work presents the conception of an ES, rule-based, that is destined to the aid in the diagnosis of diseases that generally attack apples and apples trees. The prototype uses the concept of Cycle of Life of a program, supported by phases of the Software Engineering. The work intends to contribute with the development of applications of the Informatics on Agriculture for the improvement the quality of the production.*

**Resumo.** *Este trabalho apresenta a concepção de um SE baseado em regras, que destina-se ao auxílio no diagnóstico de doenças que geralmente atacam macieiras e maçãs. O protótipo do sistema utiliza o conceito de Ciclo de Vida de um programa, conduzido pelas fases da Engenharia de Programas. O trabalho pretende contribuir com o desenvolvimento de aplicações da Informática na Agricultura para a melhoria da qualidade da produção.*

**Palavras chaves:** *Inteligência Artificial, Sistemas especialistas, ciclo de vida, diagnóstico doenças, maçãs e macieiras.*

### **1. Introdução**

A expressão inteligência artificial está associada, geralmente, ao desenvolvimento de sistemas especialistas. Estes sistemas baseados em conhecimento, construídos, principalmente, com regras que reproduzem o conhecimento do perito, são utilizados para auxiliar determinados problemas em domínios específicos.

Analisando os problemas inerentes à Engenharia de Programas nota-se que o desenvolvimento de um SE, seja qual for a sua finalidade, deve basear-se no conceito de Ciclo de Vida. A abordagem deste trabalho é a elaboração de um SE, implementando-o em uma aplicação baseada no paradigma da Inteligência Artificial (IA) simbólica obedecendo as fases do Ciclo de Vida da Engenharia de Programas.

Diversos produtos constituem a matéria-prima utilizada por muitas indústrias e empresas, além de serem a principal fonte de renda para muitas famílias. A produção de maçãs é altamente viável na região planalto catarinense, visto o clima favorável e o grande número de produtores. Foi pensando justamente no desenvolvimento econômico da região que se resolveu desenvolver um trabalho que pudesse, de alguma forma,

auxiliar a produção agrícola, seguindo outros trabalhos já desenvolvidos anteriormente [Kaplan and Rock 1995].

O objetivo do trabalho é desenvolver um protótipo de um sistema especialista capaz de auxiliar no diagnóstico de doenças em macieiras, buscando auxiliar produtores e professores da área de fruticultura, além de contribuir para o desenvolvimento da informática agrícola.

## **2. Cultivo da Maçã**

Segundo as normas de classificação de maçãs da Associação Brasileira dos Produtores de Maçãs [ABPM 2001]: "Entende-se por maçã o fruto da espécie *malus domestica borkh.*"

Até os dias de hoje não se sabe ao certo quando e onde se originou a macieira, e qual ou quais foram as espécies silvestres que deram origem à maçã contemporânea, cujas variedades são atualmente conhecidas. Podem ser, por exemplo, a *malus sylvestris*, originária da Europa, a *malus prinifolia*, originária do cáucaso e de parte da Rússia, ou todas elas em conjunto. A maçã é, talvez, a fruta que engloba a maior quantidade de variedades conhecidas, estima-se algo entre 5 e 20 mil. Dessas 3 a 4 mil são cultivadas em maior ou menor escala, em diferentes partes do mundo [Benassi 2000]. O certo é que este número vem crescendo a cada dia com o aprimoramento e o desenvolvimento de novas variedades em estações experimentais [ABPM 2001]

O Brasil transformou-se em um grande produtor de maçãs, desde a metade dos anos 70, existindo inúmeras variedades da fruta desenvolvidas no próprio país, tais como a Rainha, a Soberana e a Brasil. Em suas variedades, os frutos da macieira podem ser distinguidos e agrupados por suas qualidades e sabor, tamanho, forma, aparência e consistência da polpa e da casca, e por suas distintas utilidades.

Em Santa Catarina, provavelmente um dos primeiros pomares a ser implantado foi no município de Bom Jardim da Serra. A implantação data de 1940. A partir de 1963, se deu o início dos plantios comerciais no município de Fraiburgo. Segundo Fischer [Boneti and Ribeiro 1999] o estado de Santa Catarina foi responsável por cerca de 490.000 toneladas de maçãs no ano 2000. Isto corresponde a mais da metade da produção nacional que foi de 900.000 toneladas/ano. A média de produtividade alcançada no Brasil é de 20 toneladas por hectare.

Dados da ABPM [ABPM 2001] indicam que a doença que mais ataca a macieira é a sarna, quando as temperaturas estão mais baixas. Quando as temperaturas são mais elevadas, a doença que mais prejudica a planta é a podridão amarga.

Além da importância dos tratos culturais, existem rigorosas normas de classificação e controle de qualidade para maçãs. Estas normas têm por objetivo definir as características de identidade, qualidade, acondicionamento, embalagem e apresentação da maçã para fins de comercialização, destinadas ao consumo em estado fresco (in natura).

Estes dados apontam para um grande interesse e a utilidade de um Sistema Especialista no auxílio à qualidade da produção de maçãs do Planalto Catarinense. O protótipo desenvolvido também auxilia no treinamento de aprendizes das escolas agrícolas em Ciências Agrárias existentes na região na identificação de doenças.

### 3. Sistemas Especialistas

Os Sistemas Especialistas (SE) são a principal aplicação do paradigma simbólico da Inteligência Artificial (IA). Os SE são sistemas computacionais que devem apresentar um comportamento semelhante a um especialista humano em um determinado domínio [Barr and Feigenbaum 1982],[Bittencourt G. 2001] [Russel and Norvig 1995].

Inicialmente, a estrutura básica dos SE eram desenvolvidas imaginando-se que a resolução dos problemas era feita através de um computador digital. Atualmente, em vez de definir o SE dando sua estrutura de implementação, é melhor se definir independente da maneira que ele vai ser implementado [Almeida 1999]. Os SE podem ser implementado através de:

- IAS - Inteligência Artificial Simbólica - com manipulação simbólica.
- IAC - Inteligência Artificial Conexionista - a implementação é feita com o paradigma de Redes Neurais Artificiais [Fisher 2001].
- Sistemas híbridos: podem utilizar os paradigmas simbólico, conexionista e evolutivo [Barreto 1995].

Um SE pode e deve se possível reunir o conhecimento de vários especialistas humanos diferentes. São bases de conhecimento individuais. Algumas propriedades desejáveis de um SE são encontradas na literatura [Barreto 2001], [Barreto 1995]:

*Aprendizado:* O SE deverá ser capaz de aprender. As técnicas de aprendizado são utilizadas por programas que conseguem em cima de uma base de conhecimentos e mudar esta base de conhecimento de acordo com a sua utilização. Deve-se utilizar as técnicas de manter a verdade, ou seja, quando se introduzir um novo conhecimento na base de conhecimento, este deve ser testado para verificar se entra em conflito com outros já existentes. A manipulação de informações simbólicas permite analisar ilustrações, desenhos símbolos na tela do computador, diagramas, etc..

*Explicação:* Um SE deve ser capaz de explicar seu raciocínio, ou seja como um programa chega a uma conclusão. Quais os passos que ele tomou, desde o início até a finalização, com explicações para cada passo. Essa característica é muito importante, pois assim o usuário tem acesso ao mecanismo de raciocínio do sistema, de forma que sua validação se torna mais aceitável. É desejável que tenha uma interface em linguagem natural.

*Disponibilidade:* O programa deve funcionar de maneira autônoma e ser disponível para o uso. Os SE têm a capacidade de absorver e armazenar o conhecimento humano, evitando que ele se perca com o passar do tempo.

*Robustez :* Um programa é robusto se a variação dos dados não alterar muito o comportamento do programa. Neste caso, o uso de abordagens como a lógica nebulosa é útil para dar robustez ao programa, pois permite tratar com um tipo de imprecisão. Uma característica altamente relevante para os SE é o recurso de trabalhar com imprecisões e incertezas. Assim, problemas cujo conhecimento seja incompleto ou não inteiramente precisos, podem ser resolvidos por meio da satisfação e da heurística.

*Similaridade:* É uma propriedade intrínseca a sua própria definição, similar ao especialista humano. Dentre os primeiros SE cita-se o MYCIN de Shortlife [Stair 1998] para diagnóstico de doenças infecciosas do sangue, que sugeria uma separação entre a base de conhecimento e o modo de manipulação da base de conhecimento.

Para que um sistema seja realmente considerado especialista, ele deve apresentar as propriedades características citadas. Entretanto, as citadas neste sistema influenciam positivamente na decisão de desenvolver um sistema especialista. Porém, existem as características negativas, que limitam a sua utilidade, a maioria têm a ver com custos, complexidade e controle. Segundo Stair [Rural News 2001] dentre as características consideradas negativas tem-se:

- Um SE baseado em regras funciona através da comparação das regras com casos semelhantes e de outras formas. Ele não consegue, por exemplo, funcionar mesclando regras e casos. Isso pode limitar sua capacidade de resolver problemas.
- O conhecimento presente em um SE precisa ser refinado constantemente, para que sua qualidade seja mantida. Atualmente, é necessário que o Engenheiro do Conhecimento faça este trabalho, pois os SE não tem a capacidade de absorver novas regras diretamente, nem eliminar regras redundantes ou contraditórias.
- Problemas inerentes à Engenharia de Programas: Aceitabilidade, dificuldade de utilização por usuários e dificuldade com a manutenção do programa.

Além dessas, uma outra característica marcante nos SE é que eles não estão livres de erros. Mesmo que o conhecimento seja absorvido de forma exata, e na programação não haja erros, um SE pode resultar em erros, devido a sua complexidade de funcionamento [Neto 2000].

#### **4. Representação do Conhecimento nos SE**

O desenvolvimento da lógica formal no século XIX ofereceu uma notação precisa para declarações sobre todas as coisas do mundo e suas relações. Os programas de computadores podem tomar uma descrição em lógica e encontrar a solução do problema, se ela existir.

Em termos de computabilidade, se não há solução para o problema ele nunca pára e em termos de complexidade, o tempo e recursos necessários para resolver determinado problema podem crescer de tal maneira que seja inviável sua resolução. Geralmente, os problemas em IA são NP-completos [Barreto 2001]. Observando estes critérios e as representações do conhecimento utilizando a lógica clássica da IA simbólica verifica-se quais são as regras de raciocínio válido.

Uma primeira maneira de representar o conhecimento no SE proposto é a utilização de regras do tipo: SE condição ENTÃO ação ou conclusão. Deve-se notar que a ação é uma ordem e a conclusão é uma prova. Quando se coloca uma regra dentro de uma base de conhecimento, por exemplo;  $A \Rightarrow B$ .

Supõe-se que esta regra é verdade, pois dentro de uma base de conhecimento numa fórmula lógica não se tem valores de verdade e falso. Dentro de uma base de conhecimento pode-se ter várias regras [Shortlife 1974]. Além desta representação pode-se construir outras representações para um problema. Outras representações podem utilizar redes semânticas (relações e conceitos) num grafo semântico ou molduras cuja idéia é colocar uma estrutura complexa que define toda uma situação de algo [Barreto 1995].

O SE, aqui proposto, utiliza como modelo de representação do conhecimento um *Sistema de Produção*. **Definição 1:** Um Sistema de Produção *SP* é definido como uma quádrupla:  $S_P = \langle R, E, e_0, F \rangle$ , onde:

$R$  é um conjunto de regras;  $E$  é um conjunto de estados;

$e_0$  é o estado inicial;  $F$  é o conjunto de estados finais.

As regras são constituídas de um lado esquerdo (um padrão) que determina a que estados a regra pode ser aplicada, e um lado direito, que descreve a transformação a ser aplicada aos estados que se encaixam no padrão, originando novos estados. São estruturas do tipo: SE <condição> ENTÃO <ação>, onde:

<condição> estabelece um teste cujo resultado depende do estado atual da base de conhecimento. Tipicamente o teste verifica a presença ou não de certas informações na base.

<ação> altera o estado atual da base de conhecimento, adicionando, modificando ou removendo unidades de conhecimento presentes na base.

A base de conhecimentos é constituída de inúmeras regras utilizando os operadores E, OU ou NÃO.

## 5. O Conceito de Ciclo de Vida de um SE baseado em regras

Grande parte do esforço de desenvolver um sistema especialista se encontra na eliciação do conhecimento, ou seja, como capturar e utilizar o conhecimento de um ser humano em uma aplicação computacional. Essa é uma tarefa realmente importante, mas para que ela resulte em um bom sistema especialista, o mesmo deve ser desenvolvido utilizando técnicas que considerem todo o universo que o cerca, desde o início do projeto até a morte do programa.

Essas técnicas envolvem o ciclo de vida de um programa, aumentam a sua qualidade e facilitam a sua manutenção.

Um ponto, considerado muito importante, é a avaliação do sistema no que diz respeito a sua utilidade. O sistema aqui proposto é tratado segundo o conceito de "Ciclo de Vida de um SE baseado em regras" e as linhas guias podem ser encontradas em [Barreto 2001].

Como qualquer programa, fases do ciclo de vida de um SE podem ser descritas como:

**Análise de Oportunidades:** É o estudo dos problemas relevantes a serem tratados pelo SE.

**Análise Funcional:** Após saber se o SE tem uma potencial comunidade de usuários, torna-se necessário saber que funcionalidades são desejadas deste SE.

**Conceituação:** Criação do modelo capaz de resolver o problema, incluindo a definição das ferramentas a serem utilizadas;

**Eliciação do conhecimento:** Obtenção do conhecimento do especialista pelo Engenheiro do Conhecimento.

**Implementação:** Desenvolvimento construtivo do sistema utilizando alguma linguagem e/ou ferramenta de programação.

**Teste do SE:** É a utilização de problemas e soluções propostas por especialista diferentes das usadas para construir a base de conhecimentos e comparando as respostas do SE com o especialista.

**Manutenção:** É a atualização da base de conhecimentos, melhoria da interface.

**Morte:** Termina o ciclo de vida.

No SE aqui proposto, a *Análise de Oportunidades* apontou para o desenvolvimento do protótipo para auxílio ao diagnóstico de doenças em macieiras. Um estudo das principais doenças e pragas que atacam as macieiras e, portanto as maçãs são a base da *Análise Funcional* deste SE. Na etapa de *Conceituação* é criado o modelo do sistema englobando os aspectos e características do conhecimento obtido no sistema. Nesta fase, nota-se a utilidade de um protótipo para o ensino e treinamento através de dados obtidos em situações reais [Grupo Sinta 1996].

A *Elicitação do Conhecimento*. A base de conhecimentos é desenvolvida com auxílio de especialistas humanos (agricultores, empresários do setor, outros). A base de conhecimentos foi dividida levando em consideração os aspectos físicos das folhas, ramos e frutos das macieiras.

Neste trabalho, a base de conhecimentos foi elicitada através de referências bibliográficas [Boneti e Ribeiro 1999], e de entrevistas com profissionais da área agrícola (engenheiros agrônomos e professores).

Outro próximo passo realizado foi a *Implementação*. A linguagem escolhida é *Object Pascal* e a ferramenta de desenvolvimento é *Borland Delphi 5*. Também existe a possibilidade de inclusão de bibliotecas prontas da Ferramenta *Expert Sinta* [Gallant 1988] para inclusão de características adicionais no desenvolvimento do SE. Um banco de imagens com variações dos ataques das doenças nos frutos foi montado para inclusão no sistema.

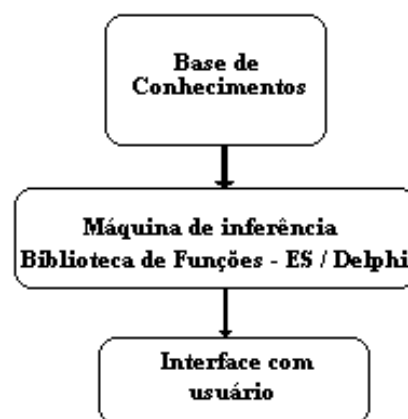


Figura 1 : Arquitetura do Sistema

A Figura 1 mostra um diagrama simplificado da arquitetura do sistema. Vale ressaltar que a base de conhecimentos é dividida em:

- aspectos físicos da árvore;
- aspectos físicos da fruta;
- doenças;

Na *análise funcional*, foi definido que o usuário escolhe uma base de conhecimentos e responde a uma seqüência de questões inseridas em telas e menus, e o sistema fornece respostas pela manipulação de regras através do motor de inferência (produzido com objetos do *Delphi* e bibliotecas de funções do *Expert Sinta* [Gallant]).

Como os SE devem ser auto-explicativos [Barreto 1995] e uma ajuda sensível ao contexto deverá permitir uma melhoria na qualidade do programa e a interface com o usuário. Basicamente, após a abertura do programa, o usuário será conduzido a uma tela onde poderá escolher as bases de conhecimentos para os tipos de doenças abordados. Após a escolha da base de conhecimentos o usuário pode iniciar a consulta ao sistema. Assim, diversas caixas de diálogo irão aparecendo com as opções sobre o estado geral da macieira e sobre os aspectos das folhas, caules e frutos das maçãs produzidas. As regras são habilitadas conforme as escolhas das opções nas telas de interface com usuário.

## 6. Protótipo implementado SEMAÇÃ

Um protótipo inicial, denominado Semaçã - Sistema Especialista para Auxílio ao Diagnóstico de Doenças em Macieiras, oferece suporte ao treinamento na identificação de algumas doenças, escolhidas pelo seu grau de importância. A utilização do SE em situações de treinamento permite aos usuários a familiarização com situações simples, hipotéticas, com o diagnóstico de doenças envolvendo maçãs (figura 2).

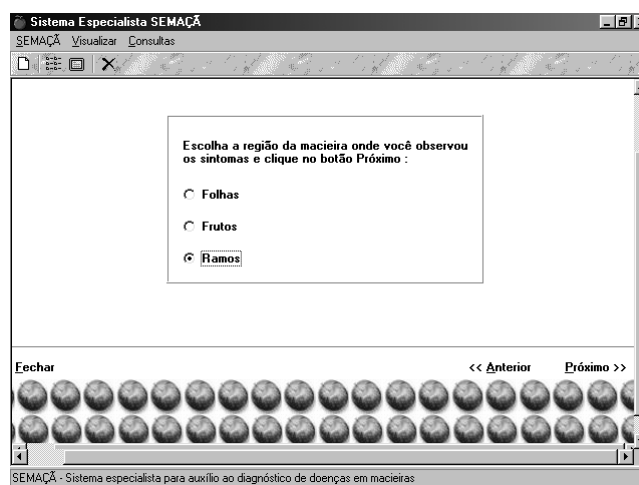


Figura 2: Semaçã, inicializando o protótipo e opções da consulta.

Quanto as ferramentas para desenvolvimento de sistemas especialistas pode-se citar como exemplo de *shells* de SE atualmente em uso o *Babylon*, *Expert Elements Environment*, *RT-Expert*, *WindExS*, *Mobal*, *FOCL*, e o *Expert Sinta*. O protótipo implementado neste trabalho teve sua base de conhecimento construída com a utilização da *shell Expert Sinta*.

### 6.1 Implementação

#### 6.1.1 Base de regras

Como citado anteriormente, a base de regras deste protótipo foi implementada no shell Expert Sinta. Para criar uma base de regras no Expert Sinta, é necessário seguir os passos de criação de uma base de regras neste shell, que podem ser encontrados completamente descritos em GRUPO SINTA (1996).

### 6.1.2 Interface com o usuário

Após a criação da base de regras, o protótipo foi implementado na ferramenta de desenvolvimento Delphi. Para aproveitar a base de regras criada no Expert Sinta, foi utilizado a VCL (*Visual Component Library*) Expert Sinta, que permite a importação da base de regras para um aplicativo padrão Windows. O SE possui funções básicas como:

- **Nova Consulta:** Esta função faz com que o SE inicie uma nova consulta à base de regras. É a principal função do SE. Ao iniciar uma consulta, o usuário deve escolher a região da macieira onde observou os sintomas, e então clicar no botão *Próximo*. O Botão *Fechar* encerra a consulta. Feito isso, o SE começa uma série de perguntas sobre possíveis sintomas que a macieira pode apresentar. O usuário responde estas perguntas, sempre escolhendo uma entre as respostas apresentadas.

Ao término das perguntas, é exibido a janela com o resultado da consulta, indicando a(s) doença(s) que o SE diagnosticou (Figura 3).

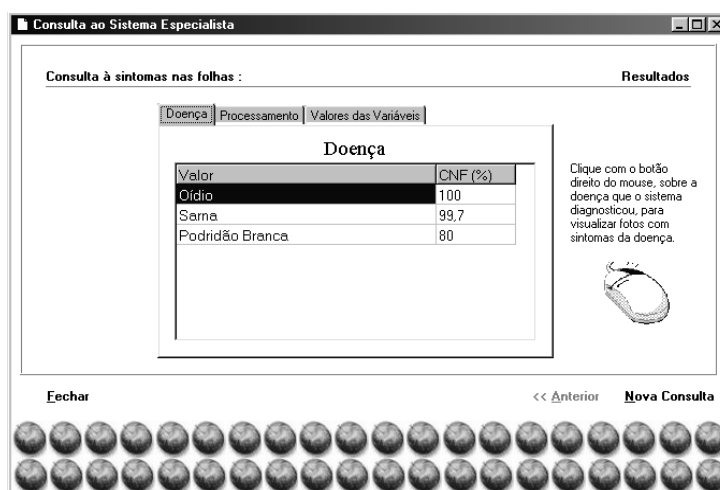


Figura 3: Semaçã, apresentando o resultado da pesquisa.

- **Base de Regras:** o usuário pode visualizar a base de regras do SE , conforme figura 4.

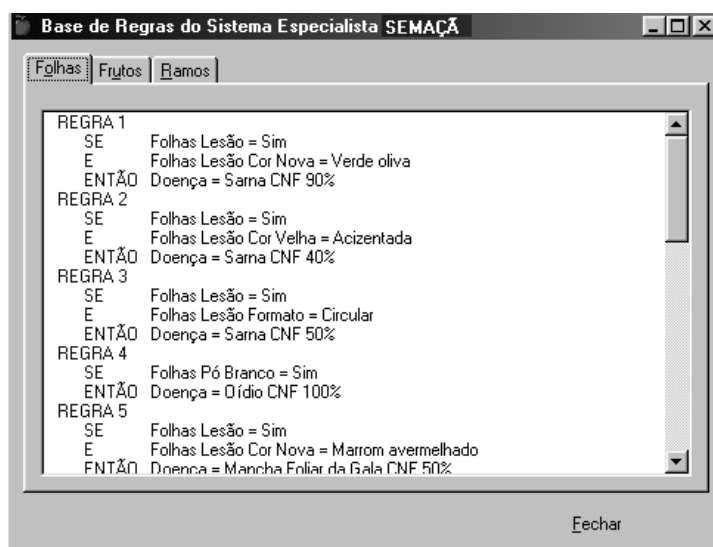


Figura 4 - Semaçã, base de regras.



- **Fotos:** o usuário pode visualizar fotos de partes de macieiras atacadas pelas doenças que o SE pode diagnosticar, conforme a figura 5.

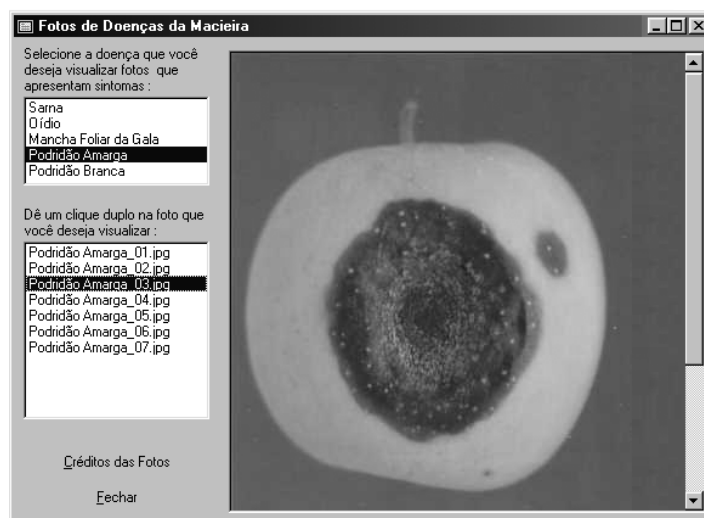


Figura 5 - Semaça, Fotos de Doenças da Macieira.

## 6.2 Teste do sistema especialista

Os testes estão sendo realizados por grupos distintos de usuários : Professores da área da IA, Professores da área da fruticultura e Produtores de maçã.

## 7. Conclusão

A finalidade do SE, aqui proposto, é de auxiliar os produtores de maçãs, com um sistema capaz de auxiliar na identificação de doenças em macieiras para a melhoria da qualidade na produção de maçãs.

Os resultados de um estudo sobre o ciclo de vida de sistemas especialistas acrescenta informações que certamente auxiliarão nas tomadas de decisões de como o projeto deve ser desenvolvido, nos fazendo abstrair o que realmente é importante e quais passos devem ser seguidos e como executá-los.

O protótipo inicial oferece suporte ao treinamento na identificação de algumas doenças, escolhidas pelo seu grau de importância. A utilização do SE em situações de treinamento permite aos usuários a familiarização com situações simples, hipotéticas, com o diagnóstico de doenças envolvendo maçãs. Isto parece ser interessante na tomada de decisões quando surgirem situações reais.

O sistema não pretende substituir qualquer profissional e conta com uma base de conhecimentos oriunda e avaliada por mais de um especialista na área. Este protótipo utiliza bases de conhecimentos originadas das pesquisas efetuadas com agricultores, empresas de produção de maçãs. Foi sugerido a inclusão de um banco de imagens contendo fotos de árvores, folhas e frutos para facilitar a visualização e o enriquecimento do sistema.

## 7. Referências Bibliográficas

Almeida, M. A. F. (1999) Aprender, atividade inteligente: e se esta inteligência for parcialmente artificial ? ,115 f. Tese (Mestrado em Ciência da Computação) - Curso de Pós-Graduação em Ciência da Computação, UFSC, Florianópolis.

- ABPM (2001) Associação Brasileira dos Produtores de Maçãs, obtido do site URL: <http://www.abpm.org.br/>, novembro.
- Barr, A. ; Feigenbaum, A. (1982) Handbook of Artificial Intelligence, v.2, cap. 9, Califórnia, USA, Heuristech Press.
- Barreto, J.M. (2001) Inteligência Artificial no Limiar do Século XXI, Florianópolis: Duplic, 3<sup>a</sup>. Ed.
- Barreto, J. M. (1995) “Notas de aulas da disciplina Lógica Nebulosa”, Mestrado em Engenharia Biomédica, GPEB, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Benassi, I. (2000) “O cultivo da maçã”, Irmãos Benassi, URL: <http://www.irmaosbenassi.com.br/>.
- Bittencourt, G. (2001) *Inteligência artificial: ferramentas e teorias*. Florianópolis: Guilherme Bittencourt, 2<sup>a</sup> Ed.
- Boneti, J. I. S. ; Ribeiro, L. G. (1999) “Manual de Identificação de doenças e pragas da macieira”, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S. A. (EPAGRI), Florianópolis, 1999.
- Fisher, I. (2001) “Florada da Maçã”, Fraiburgo, URL: <http://www.fischerfraiburgo.com.br/producp.htm#florada>.
- Gallant, S. (1988) "Connectionist Expert Systems", Communications of ACM, vol.31, no. 2. February.
- Grupo Sinta (1996) - Sistemas Inteligentes Aplicados, Expert Sinta V.1.1 Manual do usuário. Universidade Federal do Ceará.
- Kaplan, R.; Rock, D. (1995) "New directions for intelligent tutoring", AI EXPERT, v.10, No2.
- Mcculloch, W. S. ; Pitts, W. H. A logical calculus of ideas immanent on nervous activity. Bull. of mathematical biophysics, no. 5, 1943.
- Minsky, M. L. ; Papert, S. A. Perceptrons: an introduction to computational geometry. Massachusets: The MIT Press, 1969.
- Neto, W. C. B. (2000) “Sistema especialista para diagnóstico de doenças infecto-contagiosas em bovinos e eqüinos”, SE-VET. 2000, 12 f., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Russel, S; Norvig, P. Artificial Intelligence: a modern approach, London: Prentice Hall, 1995.
- RURAL NEWS. (2001) “Maçãs”, URL: <http://ruralnews.terra.com.br/agricultura/frutas/maca.htm>.
- Stair, R. M. (1998) “Princípios de sistemas de informação - uma abordagem gerencial”. LTC Editora.
- Shortlife, E.H. (1974) “Mycin: A rule-based computer program for advising physicians regarding antimicrobial therapy selection”, Stanford University, California.