



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Junielton da Silva Oliveira**

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA AUXILIAR NA IDENTIFICAÇÃO DE  
PRAGAS, DOENÇAS E DEFICIÊNCIAS NUTRITIVAS NA CULTURA  
DO ABACAXI**

**Palmas**

**2011**

**Junielton da Silva Oliveira**

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA AUXILIAR NA IDENTIFICAÇÃO DE  
PRAGAS, DOENÇAS E DEFICIÊNCIAS NUTRITIVAS NA CULTURA  
DO ABACAXI**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Sistemas de Informação, orientado pelo Professor Mestre Fernando Luiz de Oliveira.

**Palmas**

**2011**

**Junielton da Silva Oliveira**

**SISTEMA ESPECIALISTA PARA AUXILIAR NA IDENTIFICAÇÃO DE  
PRAGAS, DOENÇAS E DEFICIÊNCIAS NUTRITIVAS NA CULTURA  
DO ABACAXI**

Trabalho apresentado como requisito parcial da disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Sistemas de Informação, orientado pelo Professor Mestre Fernando Luiz de Oliveira.

**Aprovada em 06 de dezembro de 2011.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. MSc. Fernando Luiz de Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. MSc. Edeílson Milhomem da Silva  
Centro Universitário Luterano de Palmas

---

Prof. MSc. Cristina D'Ornellas Filipakis Souza  
Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas**

**2011**

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>8</b>  |
| 1.1.     | JUSTIFICATIVA.....                                 | 9         |
| 1.2.     | OBJETIVOS .....                                    | 9         |
| 1.3.     | ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....                      | 10        |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                   | <b>11</b> |
| 2.1.     | SISTEMAS ESPECIALISTAS .....                       | 11        |
| 2.1.1.   | ARQUITETURA BÁSICA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS ..... | 13        |
| 2.1.2.   | CICLO DE VIDA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS .....      | 19        |
| 2.1.3.   | CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS .....      | 22        |
| 2.2.     | CULTURA DO ABACAXI.....                            | 24        |
| 2.3.     | ESTUDO DE CASO: SECAJU .....                       | 28        |
| 2.3.1.   | BASE DE CONHECIMENTO .....                         | 29        |
| 2.3.2.   | SISTEMA DE JUSTIFICAÇÃO .....                      | 31        |
| 2.3.3.   | INTERFACE DO USUÁRIO .....                         | 32        |
| 2.3.4.   | RESULTADOS.....                                    | 34        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                    | <b>36</b> |
| 3.1.     | LOCAL E PERÍODO .....                              | 36        |
| 3.2.     | MATERIAIS .....                                    | 36        |
| 3.3.     | MÉTODOS.....                                       | 36        |
| 3.4.     | EXPERT SINTA.....                                  | 37        |
| 3.5.     | ESPECIALISTA.....                                  | 41        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                | <b>42</b> |
| 4.1.     | DESENVOLVIMENTO .....                              | 42        |
| 4.1.1.   | AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO.....                     | 42        |
| 4.1.2.   | FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO .....                 | 43        |
| 4.1.3.   | CODIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO .....                  | 48        |
| 4.2.     | BASE DE CONHECIMENTO .....                         | 48        |
| 4.3.     | O SISTEMA SECAXI .....                             | 50        |
| 4.4.     | TESTES .....                                       | 51        |
| <b>5</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                   | <b>56</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>             | <b>57</b> |
|          | APÊNDICE I.....                                    | 61        |

## RESUMO

Sistemas Especialistas é uma área da Inteligência Artificial que consiste no desenvolvimento de sistemas que possam simular e representar o conhecimento de um especialista humano. Desta forma, caso o especialista (ou uma pessoa da área) esteja em dúvida sobre uma situação problemática (controle, diagnóstico ou planejamento, por exemplo), o sistema poderá ajudá-lo na tomada de decisão. Outro fator importante consiste em amenizar a dependência do especialista em uma determinada situação, ou seja, caso haja uma situação problemática de urgência, o sistema poderá auxiliar como ponto de partida para a resolução do problema. Sistemas Especialistas podem ser desenvolvidos nos mais diferentes seguimentos da sociedade, sejam alguns deles: agricultura, economia, educação e medicina. Este trabalho aborda os principais conceitos necessários para o desenvolvimento de um Sistema Especialista, bem como apresenta o desenvolvimento de um Sistema Especialista para agricultura, mais precisamente para auxiliar na identificação de pragas, doenças e deficiências nutritivas na cultura do abacaxi.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas Especialistas, Abacaxi, Caju, *Expert* SINTA.

## **LISTA DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Produção brasileira de abacaxi em 2009 (EMBRAPA, 2010, p.1)..... | 25 |
| Tabela 2 - Produção brasileira de abacaxi em 2009 (EMBRAPA, 2010, p.1)..... | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Arquitetura Básica de Sistemas Especialistas. Adaptado de (FERNANDES, 1996, <i>apud</i> NASCIMENTO, 2003, p.16). ..... | 13 |
| Figura 2 - Regras de Produção. ....   | 15 |
| Figura 3 - Tela de Abertura do SECAJU .....   | 29 |
| Figura 4 - Base de Conhecimento do SECAJU .....   | 30 |
| Figura 5 - Sistema de Justificação do SECAJU .....  | 31 |
| Figura 6 - Consulta Direta no SECAJU .....  | 32 |
| Figura 7 - Consulta Múltipla Escolha no SECAJU .....  | 33 |
| Figura 8 - Tela de Resultados no SECAJU .....   | 34 |
| Figura 9 - Interface Inicial do Expert SINTA .....  | 38 |
| Figura 10 - Arquitetura simplificada do Expert SINTA (LIA, [s.a.], p.7).....  | 40 |
| Figura 11 – Base de Conhecimento do SECAXI .....  | 49 |
| Figura 12 – Tela de Abertura do SECAXI .....  | 50 |
| Figura 13 – Filtragem Por Estágio do Abacaxizeiro .....   | 51 |
| Figura 14 – Consulta Relacionada à Cochonilha .....   | 52 |
| Figura 15 – Resultado do Estudo de Caso 1 .....   | 52 |
| Figura 16 – Primeira Consulta da Deficiência de Potássio .....  | 53 |
| Figura 17 – Segunda Consulta da Deficiência de Potássio .....   | 54 |
| Figura 18 – Resultado do Estudo de Caso 2 .....   | 55 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|           |   |
|-----------|---|
| BC        | Base de Conhecimento                                      |
| CEULP     | Centro Universitário Luterano de Palmas                   |
| EMBRAPA   | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária               |
| IA        | Inteligência Artificial                                   |
| IU        | Interface do Usuário                                      |
| LIA       | Laboratório de Inteligência Artificial                    |
| MI        | Máquina de Inferência                                     |
| Ruraltins | Instituto de Desenvolvimento Rural do Estado do Tocantins |
| SAC       | Sistema de Aquisição de Conhecimento                      |
| SE        | Sistemas Especialistas                                    |
| SJ        | Sistema de Justificação                                   |
| SECAJU    | Sistema de Diagnósticos de Pragas e Doenças do Cajueiro   |
| ULBRA     | Universidade Luterana do Brasil                           |
| UFC       | Universidade Federal do Ceará                             |
| UFG       | Universidade Federal de Goiás                             |
| UFLA      | Universidade Federal de Lavras                            |

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma das principais responsáveis pelo grande volume das exportações brasileiras, sendo responsável por uma parcela altamente significativa (cerca de 70,4%) da riqueza gerada pelo agronegócio. Esses números representaram mais de R\$ 578 bilhões de reais para a economia nacional em 2010 (OUROFINO AGRONEGÓCIO, 2011, Online). No entanto, os produtores brasileiros ainda tomam prejuízos com situações adversas, principalmente com ataques de ameaças (pragas e doenças) em suas plantações.

Uma parte desses problemas ocorre por que nem sempre é possível ter profissionais especializados para acompanhar o cultivo. A presença destes profissionais acarreta em custos, sendo que os custos podem ser ainda maiores para produtores de localidades pequenas e distantes de grandes centros urbanos. Na área de Tecnologia da Informação existe um conjunto relevante de aplicações que trabalham para diminuir a dependência de profissionais especializados. Essas aplicações são denominadas Sistemas Especialistas.

Sistemas Especialistas é uma especialização da área de Inteligência Artificial (IA) que consiste em aplicações computacionais que utilizam o conhecimento de especialistas e procedimentos de inferência para resolver problemas específicos (LEVINE, 1988, *apud* HEINZLE, 2003, p.170). Estas aplicações podem ser encontradas nos mais diversos seguimentos, entre os quais: medicina, através de sistemas de diagnóstico médico; finanças, em aplicações para análise de crédito e; agricultura, com sistemas para identificação de pragas e doenças.

O domínio abordado neste trabalho se refere à cultura do abacaxi. A produtividade brasileira é considerada baixa (cerca de 22,5 t/ha). Este problema ocorre principalmente, pela ausência de seleção de plantas, tratamentos culturais inadequados e elevadas perdas por problemas fitossanitários, com ênfase para a doença fusariose, que pode causar perdas de 20% a 50%. Em alguns casos, estes prejuízos podem alcançar 80% (Portal de Serviços e Informações do Estado do Mato Grosso, 2010, Online).

## **1.1. JUSTIFICATIVA**

Sistemas Especialistas podem ser ferramentas úteis para auxiliar no processo de tomada de decisão. Esta utilidade pode ser mais bem caracterizada em situações que o profissional especialista encontra-se com dificuldade para determinar um diagnóstico, e por usuários não-especialistas que estejam em localidades em que a presença do especialista humano não é possível no momento desejado. Outro ponto a ser considerado é o fato de Sistemas Especialistas poderem chegar ao diagnóstico (ou a um diagnóstico inicial) com maior rapidez. Dessa forma, pode-se obter redução nos custos com a presença de vários especialistas humanos, pois as aplicações necessitam de poucas pessoas para analisar os resultados alcançados pelo sistema.

Um Sistema Especialista desenvolvido para a cultura do abacaxi poderá fornecer subsídios para auxiliar no diagnóstico de pragas como a cochonilha e a broca do fruto, doenças como a fusariose e a podridão negra, além de deficiências nutricionais como as de potássio e de nitrogênio. Com isso, os especialistas da abacaxicultura irão dispor de uma ferramenta para auxiliá-los durante a diagnose de situações problemáticas e os agricultores terão um recurso tecnológico para utilizar em situações de emergência, ou seja, em algum momento que o profissional especializado não possa estar presente.

## **1.2. OBJETIVOS**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um Sistema Especialista para auxiliar na identificação de pragas, doenças e deficiências nutricionais na cultura do abacaxi.

Os objetivos específicos consistem em:

- Contribuir para o aumento das pesquisas e desenvolvimento de tecnologias para a área da agricultura;
- Contribuir para o avanço das pesquisas em Sistemas Especialistas, servindo de referência para trabalhos a serem desenvolvidos futuramente;
- Fornecer uma ferramenta que possa auxiliar o trabalho de profissionais especializados no cultivo de abacaxi;
- Fornecer uma ferramenta que possa ajudar os produtores de abacaxi, principalmente os que vivem em regiões menores e mais afastadas de grandes centros.

### 1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte maneira:

- **Seção 2** – Apresenta os principais conceitos relacionados à área de Sistemas Especialistas. Estes conceitos têm o objetivo de explicar o funcionamento de Sistemas Especialistas, assim como apresentar os elementos que compõem a sua arquitetura básica, o ciclo de vida para o desenvolvimento de aplicações e a classificação em que cada sistema pode ser inserido. Depois serão apresentados alguns conceitos sobre a cultura do abacaxi. Os conceitos apresentados são necessários para se conhecer o domínio da aplicação proposta neste trabalho. Por fim, será apresentado um estudo de caso de um SE desenvolvido no contexto da agricultura, o SECAJU. Através da análise do SECAJU será possível compreender o funcionamento de um SE, assim como o modelo de aplicações desenvolvidas com a ferramenta *Expert SINTA*.
- **Seção 3** – Apresenta os materiais utilizados e a metodologia aplicada, além de apresentar a ferramenta *Expert SINTA*, definida para ser utilizada no desenvolvimento do Sistema Especialista proposto neste trabalho;
- **Seção 4** – Apresenta o processo de desenvolvimento utilizado para desenvolver o Sistema Especialista proposto neste trabalho. Nesta seção também são apresentadas as regras criadas, assim como a execução de algumas delas como exemplificação de estudo de caso.
- **Seção 5** – Apresentam as conclusões obtidas a partir deste trabalho, assim como possíveis trabalhos futuros que possam ser realizados;
- **Seção 6** – Apresenta as fontes bibliográficas utilizadas no decorrer do trabalho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo abordará os conceitos relacionados sob à área de Sistemas Especialistas (seção 2.1). Além dos conceitos de definição, serão apresentados conceitos sobre a arquitetura, ciclo de vida e classificação de Sistemas Especialistas. A seção 2.2 apresentará alguns conceitos relacionados ao cultivo do abacaxi. Na seção 2.3 é apresentado o SECAJU, um SE no contexto da agricultura, mais precisamente para auxiliar produtores de caju na identificação de pragas e doenças que possam atacar o cultivo deste fruto. Através do SECAJU, será possível compreender o funcionamento de um SE e do modelo de aplicações desenvolvidas com a ferramenta *Expert SINTA*.

### 2.1. SISTEMAS ESPECIALISTAS

Sistemas Especialistas (SE) são aplicações computacionais desenvolvidas para reproduzir o conhecimento de um ou mais especialistas, adquirido ao longo dos seus anos de trabalho e pesquisa, para poder aplicar este conhecimento na identificação e resolução de situações problemáticas na área de trabalho do especialista (KENDEL, 1992, *apud* NASCIMENTO, 2003, p.11). Segundo Savaris (2002, p.12), “Um Sistema Especialista é um programa inteligente de computador que se utiliza de métodos inferenciais para a resolução de problemas técnicos e altamente especializados”. Para Barrela (2000, p.20),

“Sistemas Especialistas são programas de computador que analisam situações problemáticas, ou dificuldades, em um determinado ambiente, e buscam a melhor forma de eliminar tais problemas, emulando o raciocínio de um especialista e aplicando conhecimentos específicos e inferência”.

As primeiras aplicações de SE surgiram a partir de uma revolução na era computacional que ocorreu na década de setenta. O objetivo dos pesquisadores naquele momento era desenvolver programas de computador que pudessem de alguma forma, “pensar”, para resolver problemas de maneira mais simplificada e com melhores resultados (BRONZINO, 1995, *apud* NASCIMENTO, 2003, p.12). O primeiro sistema caracterizado como SE foi o DENDRAL, utilizado para encontrar estruturas de moléculas orgânicas (NASCIMENTO, 2003, p.12).

As pesquisas na área de SE estão presentes em diferentes seguimentos da sociedade. Alguns seguimentos com trabalhos publicados são; finanças, Sistema Especialista Difuso Para Análise de Crédito (WEBER, 1993); medicina, Sistema Especialista On-Line de Auxílio ao Diagnóstico de Câncer de Próstata (PEREIRA, 2004); medicina veterinária, Sistema Especialista Para Primeiros Socorros Para Cães (SAVARIS, 2002); negócios, Um Sistema Especialista Probabilístico de Avaliação de Sucesso na Abertura de Novos Negócios (BROTTO, 2009); e marketing, Um Sistema Especialista Para Tomada de Decisão na Área de Marketing Estratégico (BATOCCHIO, 2002).

Entre os principais fatores para o surgimento desses sistemas, destacam-se os benefícios oferecidos pela aplicação e a sua utilidade em algumas situações, como aquelas onde a presença do especialista humano não é possível naquele momento. De acordo com Nascimento (2003, p.12), a utilização de Sistemas Especialistas pode proporcionar diversos benefícios, entre os quais estão:

- rapidez na determinação de problemas;
- decisão fundamentada em uma base de conhecimento;
- segurança, estabilidade e flexibilidade;
- pequeno número de pessoas para interagir com o sistema;
- dependência decrescente de pessoal específico;
- integração de ferramentas;
- impedimento de interpretação humana de regras operacionais.

É importante ressaltar que um SE dificilmente atingirá a capacidade cognitiva do especialista humano. A cognição é um processo complexo de obtenção do conhecimento, e está fundamentada em vários aspectos como atenção, percepção, memória e raciocínio, que dificilmente poderão ser descritos sistemicamente. Contudo, na ausência do especialista, o SE pode ser uma ferramenta fundamental a ser utilizada como ponto de partida na resolução de problemas (NASCIMENTO, 2003, p.13). O processo de cognição pode ser entendido através da aquisição de conhecimento. O engenheiro do conhecimento precisa ter capacidade cognitiva para entender e compreender o conhecimento que o especialista está lhe transferindo.

Para implementação de SE, além de se ter em mente a área de atuação e os objetivos do sistema, é fundamental compreender o funcionamento e a importância dos elementos compostos na arquitetura de SE. A seção 2.1.1 apresenta os componentes que fazem parte da arquitetura básica de SE.

### 2.1.1. ARQUITETURA BÁSICA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

A arquitetura utilizada para a criação de um SE deve ser definida de acordo com a análise de alguns fatores. Os principais fatores a serem considerados são o tipo da aplicação, o contexto, as metas que devem ser alcançados, as tecnologias para o desenvolvimento e o modelo de representação do conhecimento (RABUSKE, 1995, *apud*, ALEXANDRE, 2000, p.6).

Para Fernandes (1996, *apud* NASCIMENTO, 2003, p.16), a arquitetura básica de um SE é composta por cinco componentes, sendo eles: (1) a Base de Conhecimento; (2) a Máquina de Inferência; (3) o Sistema de Aquisição de Conhecimento; (4) o Sistema de Justificação; e (5) a Interface do Usuário. A Figura 1 mostra o modelo básico para arquitetura de Sistemas Especialistas.



**Figura 1** - Arquitetura Básica de Sistemas Especialistas. Adaptado de (FERNANDES, 1996, *apud* NASCIMENTO, 2003, p.16).

A Base de Conhecimento é primordial para o SE, haja vista que tem a responsabilidade de armazenar as regras (conhecimento) formalizadas e pertinentes a

aplicação. Uma vez que estas regras estão formalizadas, faz-se necessário o uso da Máquina de Inferência, responsável por controlar a busca das regras e as deduções do SE. Estas regras são apresentadas em forma de consultas ao usuário, o que ocorre por meio da Interface do Usuário. Assim, o usuário pode fornecer evidências para a Máquina de Inferência fazer o comparativo com as regras da Base de Conhecimento, e realizar as deduções aplicáveis. No entanto, o usuário pode requisitar uma explicação sobre a presença de determinada consulta, ou de deduções inferidas pelo SE, o que ocorre através do Sistema de Justificação. A inserção do conhecimento na Base de Conhecimento deve ser realizada através do Sistema de Aquisição de Conhecimento. Porém, para que haja conhecimento, o engenheiro do conhecimento deve interagir com o especialista. Após a aquisição, o conhecimento deve ser formalizado em algum modelo (por exemplo, regras de produção). Nas próximas subseções será descrito o funcionamento e a importância desses componentes.

#### **2.1.1.1 BASE DE CONHECIMENTO**

A Base de Conhecimento (BC) é o componente responsável por armazenar todo conhecimento pertinente ao SE. Este conhecimento deve ser armazenado mediante a um modelo de representação de conhecimento. A maioria dos Sistemas Especialistas tem o conhecimento representado em regras de produção (estruturas condicionais). No entanto, o conhecimento pode ser representado de outras formas como: *frames* (nós interligados e classificados por hierarquia) e redes semânticas (rede de relações e conceitos) (NASCIMENTO, 2003, p.17) e (SAVARIS, 2002, p.29).

Para Ribeiro (1987, *apud* ALEXANDRE, 2000, p.7) a construção da BC é uma das tarefas mais complexas no desenvolvimento de um SE. Isto ocorre por causa da necessidade de se formalizar (representar) o conhecimento, ou seja, a complexidade de uma representação pode ser maior do que de outra. Este processo é facilitado quando o desenvolvimento do SE ocorre por meio de alguma ferramenta adaptada como o *Expert SINTA*. Normalmente, estas ferramentas possuem um modelo de representação de conhecimento implementado. No caso do *Expert SINTA*, a representação é por meio de regras de produção (LIA, [s.a.], p. 4-5).

Regras de produção são comandos do tipo “SE condição, ENTÃO ação”. Quando a parte da condição SE da regra é satisfeita, a ação da parte ENTÃO será executada (WEBER, 1993, p.11). A Figura 2 demonstra o funcionamento do modelo de regras de produção.

```

SE
COMPUTADOR LIGA = Não
E ESTÁ LIGADO NA ENERGIA = Não
ENTÃO
DEFEITO = Computador sem alimentação.

```

**Figura 2 - Regras de Produção.**

A Figura 2 apresenta o funcionamento prático com regras de produção. No exemplo, tem-se uma regra com dois condicionais: SE “Computador liga = não” E “Está ligado na energia = não”. Caso as condições sejam satisfeitas, ou seja, o usuário informe a resposta “não” para as duas ocorrências, a regra executa a parte ENTÃO, e infere o diagnóstico “Defeito = Computador sem alimentação”.

O processo para adquirir o conhecimento a respeito de um determinado universo do especialista e estruturá-lo em uma BC é uma função de responsabilidade do engenheiro do conhecimento (NASCIMENTO, 2003, p.22). Contudo, após ter sido finalizada a estruturação do conhecimento na BC, a inserção de um novo fato pode modificar todo o processo de inferência, principalmente com as regras existentes sobre ele e que já estão sendo aplicadas, além de novos fatos gerados pela avaliação destas regras (RIBEIRO, 1987, *apud* ALEXANDRE, 2000, p.7).

A BC é utilizada para armazenar o conhecimento adquirido dos especialistas humanos. No entanto, para que esse conhecimento seja armazenado, é necessário um mecanismo para de edição de conhecimento. O componente responsável por fornecer suporte para edição de conhecimento é o Sistema de Aquisição de Conhecimento, apresentado na próxima seção.

### **2.1.1.2 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO**

A aquisição de conhecimento é um processo que consiste em coletar o conhecimento de alguma fonte especializada, na maioria das vezes humana, e transferi-lo para uma aplicação computacional. No contexto de Sistemas Especialistas, é o processo utilizado para extrair procedimentos, regras e métodos que são utilizados pelo especialista para a resolução de problemas específicos do seu domínio de atuação. Após o processo de aquisição ser realizado, o conhecimento adquirido é formalizado e, em seguida, representado na BC de acordo com o modelo de representação suportado pelo SE (WEBER, 1993, p.8).

O processo de formalização do conhecimento consiste em organizar e estruturar o conhecimento adquirido dos profissionais especialista, em um formato que possa ser representado na BC do SE que será desenvolvido (SAVARIS, 2002, p.24). Para realização deste trabalho será utilizado o formato de regras de produção.

O Sistema de Aquisição de Conhecimento (SAC) é um mecanismo utilizado para dar suporte ao conhecimento que será utilizado na SE. Este suporte consiste em permitir a inserção de novas regras (conhecimento), além de possibilitar a alteração ou eliminação das regras já existentes. Este componente é utilizado para prover a alimentação, ou seja, a representação do conhecimento na BC (NASCIMENTO, 2003, p.18).

De acordo com Rich & Knight (1993, *apud* PEREIRA, 2004, p. 57), o SAC fornece um mecanismo para realização de atividades importantes e essenciais para todos os SE. As atividades que podem ser realizadas através do SAC são: inserção de conhecimento; manutenção da consistência da BC; e garantia da completeza da BC.

Para que o conhecimento representado na BC seja utilizado pelo usuário, existe a necessidade de um mecanismo para processar, ou seja, analisar e inferir novos fatos através deste o conhecimento. O mecanismo responsável por fazer esse procedimento é a Máquina de Inferência, explicada na seção 2.1.1.3.

### **2.1.1.3 MÁQUINA DE INFERÊNCIA**

A Máquina de Inferência (MI) é o mecanismo responsável por interpretar as regras que estão na BC. Esse componente identifica as regras necessárias para serem avaliadas e, a partir disso, direciona o processo de inferência de acordo com os dados fornecidos pelo usuário para apresentar a solução mais viável para a situação analisada (NASCIMENTO, 2003, p.17).

De acordo com Weber (1993, p.12), a MI é utilizada para determinar a ordem com que serão processadas as informações, manipulando o conhecimento para que seja possível inferir conclusões ou recomendar ações. Consiste na forma de manipular o conhecimento armazenado na BC e, com isso, apresentar o diagnóstico e a solução para uma situação problemática.

Para Savaris (2002, p. 29) “a Máquina de Inferência é um elemento permanente, que pode inclusive ser reutilizado por vários sistemas especialistas”. Trata-se de um componente com função definida (interpretar as regras da BC) e que não precisa passar por alterações do seu funcionamento.

O processo de inferência consiste em comparar as evidências (respostas) fornecidas pelo usuário com as regras (conhecimento) representadas na BC, para encontrar situações válidas e realizar a inferência de resultados (NASCIMENTO, 2003, p.17-18). Por exemplo, suponha que na BC existam diversas regras sobre meteorologia. Portanto, caso o usuário queira sair ao ar livre, dado as evidências céu nublado e previsão de chuva neste dia, possivelmente pode-se inferir que essa pessoa ficará molhada.

Para realizar a inferência, a MI precisa decidir como aplicar as regras de maneira que não interfira no modo de raciocínio utilizado pelo especialista. Esta aplicação é feita através de uma forma de encadeamento. Existem duas maneiras de encadeamento: encadeamento para frente e encadeamento para trás (WATERMAN, 1986, *apud* SAVARIS, 2002, p.29), as quais serão detalhadas a seguir:

- O encadeamento para frente (*forward chaining*) é uma técnica de busca no qual a MI parte de um conjunto de premissas, ou seja, situações fornecidas pelo usuário, e desencadeia um processo de busca pela BC a procura de fatos, regras e heurísticas que melhor se aplique para as situações informadas pelo usuário (BATOCCHIO, 2002, p.98). Por exemplo, para analisar a concessão de crédito, o usuário informa alguns dados de entrada (premissas) como: rendimento anual, quantidade de dependentes, automóveis e imóveis; e a MI procura por situações representadas na BC para inferir um retorno positivo ou negativo sobre a concessão do crédito e, em caso de positivo, o valor que poderia ser emprestado.
- O encadeamento para trás (*backward chaining*) é uma técnica de busca no qual a MI parte de uma conclusão (diagnóstico), conclusão que pode ser fornecida pelo próprio usuário, e começa um processo de interação com o usuário para coletar evidências representadas na BC que possam provar se a conclusão é verdadeira (BATOCCHIO, 2002, p.98). Por exemplo, a partir de uma conclusão (paciente com hipertensão), a MI faz a validação do diagnóstico através de consultas como: usuário com dor de cabeça ou usuário com tonturas. Caso as afirmativas do usuário satisfaçam os fatos representados na regra, o diagnóstico é inferido e apresentado.

Para que as inferências possam ser apresentadas ao usuário do sistema, é preciso de um mecanismo que possa realizar todo processo de interação entre usuário e SE. A interação consiste em visualizar as consultas e os diagnósticos para o usuário. O mecanismo responsável por essa atividade é a Interface do Usuário, apresentada na seção 2.1.1.4.

#### **2.1.1.4 INTERFACE DO USUÁRIO**

O desenvolvimento de um SE é um processo complexo que requer a análise de algumas características essenciais. As principais características a serem consideradas são: grupo de usuários alvo; grau de conhecimento desses usuários; e os objetivos pretendidos no sistema. Outro ponto importante é compreender que os usuários podem não possuir interesse sobre aspectos técnicos do desenvolvimento do sistema, ou seja, não é necessário conhecimentos sobre área de IA (WEBER, 1993, p. 13).

A Interface do Usuário (IU) é um mecanismo responsável por estabelecer o meio de comunicação entre o usuário e o SE. A interface pode ser representada na forma de menus, consultas e representações gráficas. Este mecanismo é responsável por apresentar as consultas e os resultados do SE (NASCIMENTO, 2003, p.18).

Para Pereira (2004, p. 57), a IU também pode ser conhecida como sistema de consulta. Este sistema consiste em um módulo de acesso aos usuários finais do SE, o qual deve fornecer uma interface transparente, compreensível e de fácil utilização.

Durante a interação com o SE, o usuário pode requisitar informações sobre determinada situação corrente no sistema. O componente responsável por essa atividade é o Sistema de Justificação. Normalmente ele é utilizado para explicar o funcionamento do raciocínio utilizado pelo SE na busca pelas soluções, explicado na próxima seção.

#### **2.1.1.5 SISTEMA DE JUSTIFICAÇÃO**

O Sistema de Justificação (SJ) é o componente responsável por apresentar ao usuário a “linha de raciocínio” que o SE utilizou para chegar a uma conclusão. Esse esclarecimento ocorre por meio de um mecanismo disponibilizado pelo próprio SE para que o usuário possa compreender a situação apresentada. Além disso, os sistemas de justificação são recomendados para serem aplicados em situações de esclarecimento e de depuração do sistema durante seu desenvolvimento (MAUS, 1991, *apud* NASCIMENTO, 2003, p. 18).

Weber (1993, p. 13) identifica os principais objetivos para utilização dos mecanismos de justificativa, sendo eles: ensinar o usuário sobre o assunto, ou seja, mostrar que sua conclusão é consistente; e lembrar o usuário de elementos importantes da análise, que levam o sistema a determinada conclusão. Além desses objetivos, o SJ ajuda a tornar o SE confiável. Por exemplo, para obter confiabilidade, o usuário pode solicitar explicação para uma situação corrente. Dessa forma, o SJ exibe o “raciocínio” utilizado, possibilitando ao usuário utilizar

outra fonte de conhecimento (literatura, especialistas) para validar a situação descrita no sistema.

O SJ ao usuário deve ser um requisito obrigatório em todos os SE. Esse componente deve ter a capacidade de responder perguntas do tipo: Como chegou a esta conclusão? Por que chegou a esta conclusão? Por que não chegou a uma conclusão diferente? (FORSYTH, 1984, *apud* SAVARIS, 2002, p. 30). Estas perguntas podem ser definidas durante a implementação do SJ no SE. No *Expert SINTA*, a justificação é definida por meio da pergunta “Por que?”, disponível em todas as consultas para exibir a o raciocínio utilizado para o diagnóstico.

O desenvolvimento de um SE é um processo que envolve a interação entre o construtor do sistema (Engenheiro do Conhecimento) e a fonte do conhecimento (os Especialistas). Este processo consiste em implementar os procedimentos, estratégias e regras para a solução de um problema específico, adquiridos através de uma técnica de aquisição de conhecimento, e um modelo de formalização (representação) de conhecimento (WATERMAN, 1986, *apud* NASCIMENTO, 2003, p.13).

Para Savaris (2002, p.22), o desenvolvimento de SE minimiza a separação em etapas, mas formalmente continuam a ser consideradas. Este conjunto de etapas pode ser chamado de ciclo de vida de SE, o qual será explicado na seção 2.1.2.

### 2.1.2. CICLO DE VIDA DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

O desenvolvimento de SE, assim como qualquer tipo de *software*, é uma atividade complexa e que requer experiência em planejamento e desenvolvimento. Este processo de desenvolvimento requer um ciclo de vida que possa garantir o sucesso dos sistemas desenvolvidos. Este ciclo consiste em um roteiro de trabalho composto por um conjunto de macro-etapas, organizadas e com tarefas bem definidas para serem seguidas (TONSIG, 2003 *apud* BASSETTO, 2006, p.39).

De acordo com o roteiro apresentado por Bassetto (2006, p.39-41), o ciclo de vida de Sistemas Especialistas deve ser composto por cinco etapas: (1) Levantamento de informação; (2) Análise; (3) Projeto; (4) Implementação e; (5) Teste. Já o modelo descrito por Batocchio (2002, p.98-99) descreve o ciclo de desenvolvimento de Sistemas Especialistas com seis etapas: (1) Validação; (2) Aquisição do Conhecimento; (3) Projeto; (4) Teste; (5) Documentação e; (6) Manutenção. O modelo proposto por Savaris (2002, p.22-26) também descreve um ciclo com seis etapas: (1) Identificação; (2) Conceituação; (3) Formalização; (4) Implementação; (5) Teste e Avaliação e; (6) Revisão.

De acordo com os trabalhos de Bassetto, Batocchio e Savaris, foi possível adaptar um modelo de organização de atividades para o desenvolvimento de Sistemas Especialistas. Esse modelo compreende as principais características abordadas pelos autores, e apresenta um ciclo de desenvolvimento composto por oito etapas. Essas etapas são:

- **Projeto:** nesta fase é realizado o trabalho de planejamento do SE. Primeiramente são identificados os participantes do projeto, ou seja, a equipe de desenvolvimento (líder, engenheiro do conhecimento e auxiliares), a fonte de conhecimento (os especialistas colaboradores) e demais parceiros (governo, universidades, empresas privadas) (SAVARIS, 2002, p.22) (etapa 1). Também são definidos os recursos tecnológicos (equipamentos, ambiente de desenvolvimento, banco de dados, linguagem de programação etc.) ou ferramentas adaptadas caso não haja programação, que serão utilizados para desenvolver o sistema. Por fim, é definido o escopo do projeto, especificando os objetivos e as características funcionais do sistema proposto (BATOCCHIO, 2002, p.98) (etapa 1);
- **Aquisição de Conhecimento:** nesta fase é feito o levantamento de todo conhecimento que será representado no SE (BASSETO, 2006, p.40) (etapa 1). Nesta etapa, o engenheiro do conhecimento interage com os especialistas selecionados, e realizam o processo de aquisição de conhecimento. Esse conhecimento corresponde a um conjunto de procedimentos, estratégias e métodos utilizados pelos especialistas para identificar e resolver os problemas pertinentes ao seu domínio de estudo (BATOCCHIO, 2002, p.99) (etapa 2);
- **Formalização do Conhecimento:** nesta fase o conhecimento adquirido é organizado formalmente. Na verdade, a formalização é um processo que consiste em estruturar o conhecimento para ser representando e armazenado na BC. Essa estruturação envolve três aspectos importantes, sendo eles: o espaço das hipóteses, ou seja, a organização e a interligação das hipóteses, o modelo subjacente, que corresponde ao formato que o sistema utilizará para encontrar as soluções, e as características dos dados, sendo algumas delas: precisão, consistência e quantidade (SAVARIS, 2002, p.24) (etapa 3);
- **Implementação:** nesta fase é realizada a codificação das regras e a integração das funcionalidades do sistema. A codificação é a inserção do conhecimento na BC. Pode ser realizada através da utilização de tecnologias de desenvolvimento (plataforma, banco de dados, linguagem de programação), ou através de ferramentas adaptadas, as quais devem ser descritas na fase de definição do projeto. A integração consiste em programar a ligação

entre os componentes do sistema (BASSETO, 2006, p.41) (etapa 4). Em ferramentas adaptadas, o usuário deve se preocupar apenas com a representação do conhecimento respeitando a estrutura e o formato de raciocínio compreendido pela ferramenta (SAVARIS, 2002, p.24) (etapa 4);

- **Testes e Avaliação:** nesta fase ocorrem os testes do sistema. Estes testes consistem em analisar todas as funcionalidades para identificar e corrigir erros antes de entregar o sistema para o usuário final (BASSETO, 2006, p.41) (etapa 5). Para análise devem ser considerados aspectos importantes como: desempenho e utilidade. Um SE útil e com bom desempenho deve ser capaz de atingir todos os objetivos definidos em seu escopo (SAVARIS, 2002, p.24) (etapa 5). Os testes devem ser realizados continuamente durante todo o ciclo de desenvolvimento do sistema, tendo como principal objetivo, validar a estrutura e o conhecimento do sistema (BATOCCHIO, 2002, p.99) (etapa 4);
- **Revisão:** nesta fase é feita a revisão geral do sistema. Essa revisão deve ser feita seguindo as características definidas no escopo do sistema. O processo consiste em revisar a aplicação para, com isso, ser possível realizar alterações e melhorias em aspectos observados na fase de teste e avaliação. De acordo com a quantidade e importância das mudanças feitas nessa fase, o sistema poderá passar por um novo processo de avaliação (SAVARIS, 2002, p.26) (etapa 6);
- **Documentação:** nesta fase é feita a documentação do sistema desenvolvido. Essa documentação deve conter informações básicas do sistema, entre as quais: nome, descrição, desenvolvedores, parceiros e outras informações, caso sejam necessárias. Além disso, deve apresentar informações necessárias para a utilização do sistema e o funcionamento do conhecimento representado no mesmo. A descrição deste funcionamento deve fornecer o passo-a-passo da execução do sistema, apresentando as regras (fatos formalizados) e os procedimentos (evidências requisitadas) para encontrar as soluções na aplicação (BATOCCHIO, 2002, p.99) (etapa 5);
- **Manutenção e Atualização:** esta fase ocorre depois da entrega do sistema para o usuário e são realizados os processos de manutenção e atualização do sistema. A manutenção consiste em fornecer suporte para resolver problemas técnicos que possam ocorrer com o sistema. A atualização consiste em analisar o conhecimento para fazer o seu refinamento, ou seja, inserir novos conhecimentos, realizar alterações necessárias ou excluir regras que se tornaram obsoletas. Esta etapa também permite modificações nas especificações iniciais do sistema (BATOCCHIO, 2002, p.99) (etapa 6).

Um ciclo de vida organizado e bem estruturado pode influenciar no desenvolvimento de uma aplicação eficiente. Um SE eficiente, ao final do seu ciclo de desenvolvimento, deve ser capaz de resolver situações problemáticas da área que foi projetado. Em geral, Sistemas Especialistas podem ser desenvolvidos para auxiliar em diversos seguimentos da sociedade. Esses sistemas estão divididos em várias categorias diferentes. Na próxima seção serão apresentadas as principais categorias de Sistemas Especialistas.

### 2.1.3. CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS

Um SE pode ser uma ferramenta útil para o processo de tomada de decisão. Esta utilidade se torna ainda mais visível caso sejam observadas as diferentes classes de problemas e os contextos em que os Sistemas Especialistas podem ser inseridos. Os Sistemas Especialistas são classificados de acordo com as características do seu funcionamento. As principais categorias de Sistemas Especialistas são (FERNANDES, 1996, *apud* NASCIMENTO, 2003, p. 14-16), (REATEGUI, 1993, p.18-20), (SAVARIS, 2002, p. 18-20):

- **Interpretação:** sistemas utilizados para inferir a descrição de situações. A inferência é o resultado da interpretação que o sistema faz a partir de uma análise comparativa entre as regras contidas na BC e as evidências informadas pelo o usuário. Devem considerar outras possíveis situações de inferências, eliminando as que não se mostram consistentes. Um exemplo dessa classe é um SE para interpretar fotos de satélite para sensoriamento remoto;
- **Diagnósticos:** sistemas utilizados para identificar problemas específicos de um domínio. O diagnóstico é feito através da interpretação dos dados contidos na BC, os quais são comparados com as evidências informadas pelo o usuário. Além disso, podem detectar problemas ocasionados por falhas dos equipamentos utilizados. Estes sistemas têm o sistema de interpretação de dados embutido como subsistema. Um exemplo dessa classe é um SE para auxiliar no diagnóstico de câncer de próstata;
- **Monitoramento:** sistemas utilizados para realizar o monitoramento de atividades. As atividades são requisitos pré-estabelecidos, cujo comportamento deve ser continuamente verificado, sinalizando quando for preciso realizar uma intervenção para o sucesso das atividades. Um exemplo desta classe é um SE para monitorar os processos industriais de uma empresa;

- **Predição:** sistemas utilizados para realizar a previsão do futuro em um determinado seguimento. Essa previsão é realizada a partir da análise de um conjunto de dados do passado e do presente. A aplicação também deve possuir mecanismos para analisar vários futuros possíveis e definir qual é o mais viável para ser aplicado. Um exemplo desta classe é um SE para a predição de crescimento de uma empresa;
- **Planejamento:** sistemas utilizados para planejar iniciativas que serão utilizadas para atingir um objetivo. Consiste em dividir um problema em várias partes e gerenciar as atividades para solucionar as partes da melhor maneira possível. Devem definir aspectos de prioridade para atividades conflitantes. A análise mais profunda deve ser realizada pelo especialista humano que opera o sistema. Um exemplo desta classe é um SE para auxiliar na elaboração das estratégias de marketing de uma empresa;
- **Projeto:** sistemas semelhantes aos sistemas de planejamento. Consiste em elaborar especificações para satisfazer os objetivos dos requisitos particulares. As soluções não podem ser selecionadas de um grupo de soluções possíveis, elas devem ser construídas a partir desse grupo de soluções. Um exemplo desta classe é um SE para auxiliar na elaboração de projetos de *software*;
- **Depuração:** sistemas utilizados para solucionar problemas provocados por inconsistência de dados. Sistemas de depuração devem possuir mecanismos automáticos para verificar e validar as partes do sistema. Um exemplo dessa classe é um SE para verificar a consistência dos dados em diferentes bases de dados;
- **Reparo:** sistemas utilizados para auxiliar no reparo de defeitos. O reparo é feito a partir de um plano desenvolvido e executado pelo SE, que gerencia a solução encontrada para o defeito diagnosticado. O desenvolvimento nem sempre é possível, pois um reparo de um problema do mundo real é uma tarefa bem mais complexa. Um exemplo dessa classe é um SE para auxiliar na manutenção de microcomputadores;
- **Instrução:** sistemas utilizados para instruir os usuários no processo de aprendizagem. A instrução consiste em verificar e corrigir o comportamento dos usuários durante a aprendizagem do domínio apresentado. Sistemas de instrução possuem os sistemas de diagnóstico e de reparo embutidos como subsistemas. Um exemplo dessa classe é um SE para auxiliar no treinamento de operadores de telemarketing;
- **Controle:** sistemas utilizados para controlar outros sistemas (não apenas de computação). Devem interpretar os fatos (regras em sistemas de computação), identificando a tendência de variação no futuro. Também devem apresentar os diagnósticos de todos os possíveis

problemas e formular um plano para sua correção. Este plano deve ser executado e monitorado para garantir que o objetivo seja alcançado com sucesso. Um exemplo desta classe é um SE para auxiliar no acompanhamento de pacientes com hipertensão.

Sistemas Especialistas são desenvolvidos com o objetivo de solucionar problemas específicos de um determinado domínio. Um SE precisa estar obrigatoriamente inserido em um contexto para ser aplicado, sejam alguns deles: agricultura, computação, economia, educação e saúde. A seção 2.2 apresentará alguns conceitos relacionados à cultura do abacaxi, domínio escolhido para se desenvolver o SE proposto neste trabalho.

## **2.2. CULTURA DO ABACAXI**

O abacaxizeiro é originário do Brasil. Trata-se de uma planta de clima tropical, com caule curto e grosso, ao redor do qual crescem folhas estreitas, compridas e resistentes, quase sempre margeadas por espinhos. Os frutos podem ser consumidos de diversas formas, entre as quais: consumo de pedaços em calda; sucos e geléias; amaciamento de carnes com o suco do abacaxi; com a bromelina, substância usada como digestivo e anti-inflamatório; e na produção industrial de álcool, ácido cítrico e rações para animais (NASCENTE et. al. 2001, online).

As regiões mais favoráveis para o cultivo comercial do abacaxi, ou seja, as que o abacaxizeiro apresenta a melhor capacidade de adaptação são as situadas entre os paralelos 25°N (entre o Estado da Flórida e Cuba) e o 25°S (na altura da cidade de Ponta Grossa, no Estado do Paraná) (EMBRAPA, 2006, p.11-12).

O desenvolvimento e a produção de abacaxi são bastante influenciados pelas condições climáticas do ambiente, situando-se entre 22°C e 32°C, a melhor faixa de temperatura para o crescimento das raízes e folhas. A planta é capaz de suportar temperaturas próximas de 40°C. No entanto, acima desse limite (40°C), pode ocorrer a queima das folhas do fruto, principalmente se o calor excessivo estiver associado a uma grande exposição solar (EMBRAPA, 2006, p.11-12).

A produção comercial de abacaxi nos principais países produtores é baseada em poucas cultivares, sendo as principais: Smooth Cayenne (cultivar mais plantada no mundo), Pérola, Singapore Spanish, Queen, Red Spanish e Perolera (EMBRAPA, 2006, p.19-20). As cultivares mais conhecidas no Brasil são: Pérola (Branco de Pernambuco), Smooth Cayenne, Perolera e a Primavera e (NASCENTE et. al. 2001, online).

O Brasil é um dos maiores produtores de abacaxi do mundo. Em 2009, o abacaxizeiro foi cultivado em todos os Estados brasileiros, atingindo uma produção superior a

1.400.000.000 (um bilhão e quatrocentos milhões de frutos) (EMBRAPA, 2010, p.1). A Tabela 1 apresenta a produção brasileira de abacaxi em 2009 dos dez maiores Estados produtores. Os dados completos com a produção de todos os Estados brasileiros podem ser conferidos no Apêndice I do trabalho.

**Tabela 1** - Produção brasileira de abacaxi em 2009 (EMBRAPA, 2010, p.1).

| <b>Estados</b>      | <b>Área Colhida<br/>(ha)</b> | <b>Rendimento<br/>(mil frutos)</b> | <b>Produção<br/>(frutos/ha)</b> |
|---------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Paraíba             | 8.918                        | 263.000                            | 29.491                          |
| Minas Gerais        | 8.707                        | 255.756                            | 29.374                          |
| Pará                | 9.978                        | 241.098                            | 24.163                          |
| Bahia               | 4.885                        | 121.127                            | 24.796                          |
| Rio Grande do Norte | 3.763                        | 120.337                            | 31.979                          |
| São Paulo           | 3.309                        | 68.401                             | 20.671                          |
| Rio de Janeiro      | 2.996                        | 67.257                             | 22.449                          |
| Goiás               | 2.226                        | 55.384                             | 24.881                          |
| Tocantins           | 2.273                        | 48.657                             | 21.407                          |
| Mato Grosso         | 1.743                        | 41.697                             | 23.923                          |
| <b>BRASIL</b>       | <b>60.176</b>                | <b>1.470.995</b>                   | <b>24.445</b>                   |

Por meio da Tabela 1, pode-se identificar que o Estado da Paraíba foi o maior produtor brasileiro de abacaxi em 2009, com 263 milhões de frutos. Outro ponto a ser observado é que o Rio Grande do Norte apresenta a maior produção (frutos/ha) do país, com média de quase 32 mil frutos/ha. Na tabela também é possível verificar a importância do Tocantins no cenário nacional de produção de abacaxi. O Estado foi o nono maior produtor em 2009, com uma produção superior a 48 milhões de frutos.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um SE para auxiliar na produção de abacaxi. O sistema tem como objetivo auxiliar no diagnóstico de pragas, doenças e deficiências nutritivas que possam ocorrer no abacaxizeiro. As pragas de maior incidência na cultura do abacaxi no Brasil são:

- **Cochonilha:** a cochonilha (*Dysmicoccus brevipes*) é um inseto pequeno, sem asas, que se apresenta coberto por uma espécie de farinha branca. Essa praga, além de debilitar a

planta com sua ação sugadora, transmite o agente causal da doença murcha do abacaxi (NASCENTE et. al. 2001, online).

- **Broca do Fruto:** a broca do fruto (*Thecla basalides*) é a larva de uma pequena borboleta que ataca a inflorescência, cavando galerias e provocando o aparecimento de uma substância com aspecto de goma (NASCENTE et. al. 2001, online).
- **Broca do Talo:** é uma mariposa grande (*Castnia icarus*), cuja larva branco-amarelada ataca os tecidos do caule da planta, abrindo galerias no seu interior, além de causar a morte do "olho" da planta (EMBRAPA, [s.a.], online).
- **Ácaro alaranjado:** O ácaro (*Dolichotetranychus floridanus*) incide nos tecidos brancos (sem clorofila) da base das folhas, tanto em mudas como em plantas jovens e adultas, causando danos, em geral, superficiais (EMBRAPA, [s.a.], online).

A abacaxicultura está susceptível a vários tipos de doenças. Essas doenças podem gerar muitos prejuízos aos produtores de abacaxi. Algumas das doenças presentes na cultura do abacaxi são:

- **Fusariose:** causada pelo fungo *Fusarium subglutinans*, também pode ser conhecida por gomose. Essa doença causa prejuízos devido à infecção de mudas, morte de plantas no campo, infecção das inflorescências e dos frutos, resultando em perdas elevadas na produção (CUNHA, 2003, p.63). Trata-se da doença mais perigosa para a cultura do abacaxi no Brasil. Pode causar perdas de até 80% na produção de frutos, além de poder infectar cerca de 40% das mudas, das quais 20% morrem antes da produção e colheita (EMBRAPA, 2010, p.08).
- **Fitofitora (Podridão do Olho):** causada pelo fungo *Phytophthora nicotianae var. parasitica*, também pode ser conhecida como podridão-do-topo ou das raízes. Essa doença causa perdas elevadas na produção, principalmente em plantios instalados em solos sujeitos a encharcamento ou deficiência de drenagem (CUNHA, 2003, p.67). A doença está presente em todas as regiões produtoras de abacaxi do mundo. A sua ocorrência acontece nos primeiros meses após o plantio, e causa a morte das plantas (EMBRAPA, 2010, p.10).
- **Chalara (Podridão Negra):** causada pelo fungo *Chalara paradoxa (ex-Thielaviopsis)*, também pode ser conhecida como podridão-mole. É uma doença de pós-colheita, que pode ser responsável por perdas elevadas, tanto em frutos destinados ao consumo “in natura”, quanto nos destinados à indústria (CUNHA, 2003, p.69). Presente em todas as regiões produtoras de abacaxi do mundo, essa doença caracteriza-se pelo desenvolvimento

de uma podridão mole, aquosa, especialmente em frutos destinados ao mercado in natura (EMBRAPA, 2010, p.14).

As deficiências nutritivas são problemas caracterizados pela falta de componentes nutricionais no solo. Esses problemas podem acarretar em prejuízos no abacaxizeiro. Algumas das deficiências nutricionais que podem aparecer na cultura do abacaxi são:

- **Ferro:** caracteriza-se pelo desenvolvimento de clorose a partir das folhas jovens. As folhas jovens tornam-se fracas, largas e amarelas, com uma “rede” verde que corresponde aos vasos condutores, e as folhas velhas ficam secas. O fruto é vermelho com coroa clorótica. Este tipo de deficiência é muito frequente em solos com as seguintes condições: condições: pH (potencial Hidrogeniônico) elevado; ricos em manganês; compactados; possuem áreas com cupinzeiros; e forte adubação nitrogenada de plantas submetidas a uma diminuição bastante rápida da atividade radicular (EMBRAPA, 2010, p.36).
- **Magnésio:** o abacaxizeiro apresenta porte normal. As folhas mais velhas são amareladas enquanto as partes sombreadas pelas mais novas permanecem verdes. Observam-se ainda manchas amarelas que se tornam marrons em ambiente controlado e ressecamento das folhas velhas que não completaram seu crescimento antes do surgimento da deficiência. Produzem frutos com baixa acidez, pobres em açúcar e sem sabor. A deficiência nutricional de magnésio é frequentemente encontrada em solos pobres de magnésio e em ambientes fortemente ensolarados (EMBRAPA, 2010, p.34).
- **Nitrogênio:** as plantas apresentam folhagem amarelo-esverdeada a amarela. As folhas são pequenas, estreitas e pouco numerosas. O desenvolvimento da planta é lento, o que confere um aspecto fraco. O fruto é pequeno, muito colorido e com a coroa pequena. A produção de mudas praticamente não acontece. Este tipo de deficiência pode ser encontrada em solos pobres em matéria orgânica, sem adubação, em ambientes quentes e ensolarados (EMBRAPA, 2010, p.30).
- **Potássio:** caracteriza-se pela folhagem verde a verde-escura, mais pronunciada com a adubação nitrogenada. As folhas mostram pequenas pontuações amarelas que crescem, multiplicam-se e podem se concentrar sobre as margens do limbo. Ocorre também um ressecamento da extremidade da ponta. A planta apresenta porte ereto e pedúnculo pouco resistente. O fruto é pequeno, com baixa acidez e sem aroma. A deficiência de potássio ocorre com frequência, exceto em plantios instalados em solos ricos em potássio (EMBRAPA, 2010, p.32).

O conhecimento adquirido sobre as pragas, doenças e deficiências nutricionais na cultura do abacaxi será formalizado como regras de produção (Se<condição... Então<ação>). Por exemplo, para a identificação da doença fusariose, alguns sintomas podem ser representados em regras de produção da seguinte forma: SE “lesão no caule e na região acolorofilada da base da folha = sim”; E “exsudação de uma substância gomosa a partir dos tecidos infectados = sim”; E “abertura da roseta central das plantas, de forma a visualizar as folhas mais novas = sim”, ENTÃO a doença é a “fusariose”.

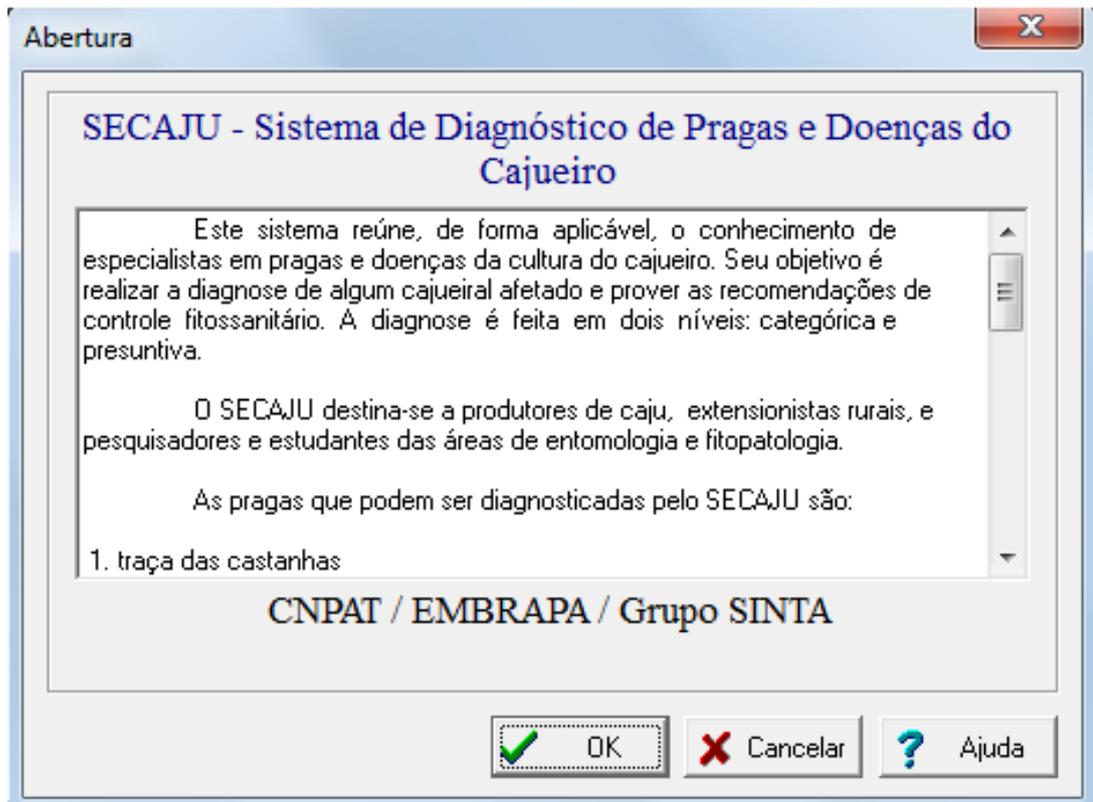
Para o desenvolvimento do sistema proposto será utilizada a ferramenta *Expert SINTA*. O *Expert SINTA* possui MI própria e capacidade de representação do conhecimento no modelo de regras de produção. A ferramenta foi utilizada no desenvolvimento do SECAJU, um SE no contexto da agricultura, desenvolvido para auxiliar na identificação de pragas e doenças na cultura do caju. A seção 2.3 apresenta o estudo de caso sobre o SECAJU.

### **2.3. ESTUDO DE CASO: SECAJU**

O Sistema de Diagnóstico de Pragas e Doenças do Cajueiro (SECAJU) é um SE desenvolvido para auxiliar no processo de produção de caju. O auxílio acontece através da possibilidade de identificar de pragas e doenças no cajueiro.

O sistema foi desenvolvido através de uma pareceria entre CNPAT, EMBRAPA e o Grupo SINTA da Universidade Federal do Ceará (UFC), utilizando a ferramenta *Expert SINTA*. O seu objetivo é realizar a diagnose de algum cajueiral afetado por alguma ameaça, e prover as recomendações necessárias para o controle fitossanitário (LIA, [s.a.], SECAJU).

O SECAJU destina-se a produtores de caju, extensionistas rurais, pesquisadores e estudantes das áreas de entomologia e fitopatologia. Trata-se de uma aplicação desenvolvida no contexto da agricultura. A Figura 3 apresenta a tela de abertura do SECAJU.

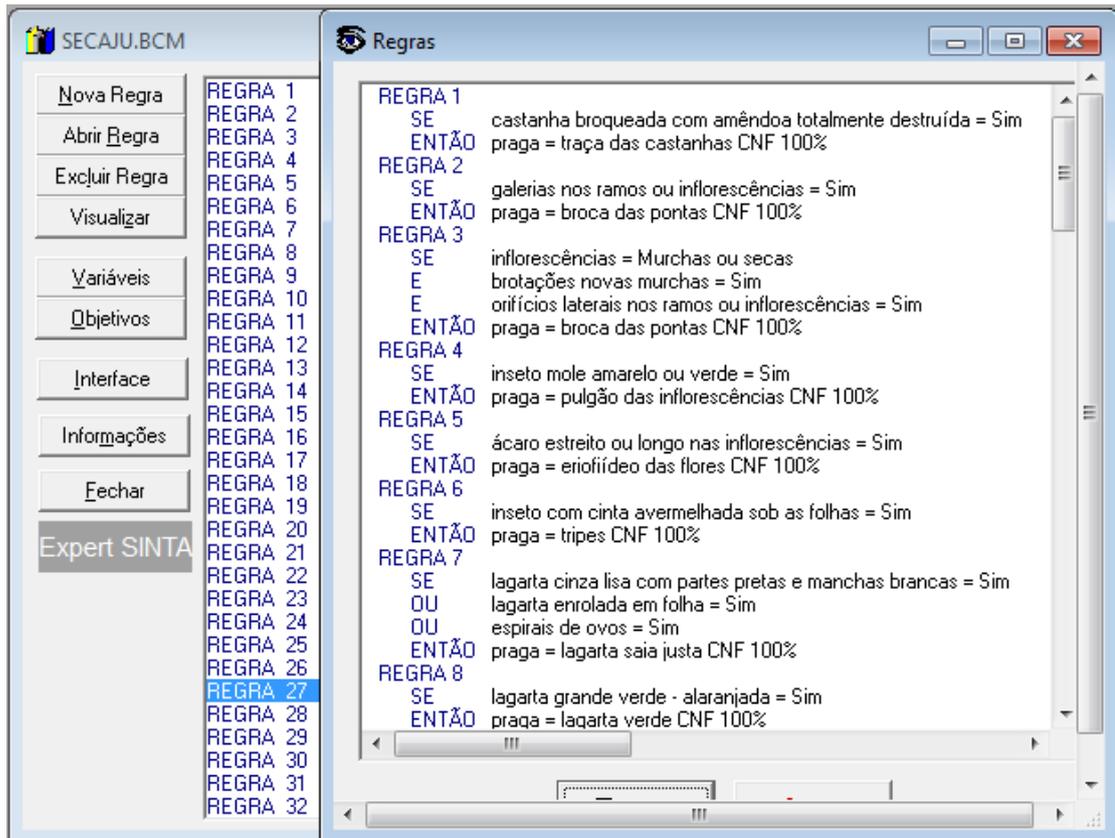


**Figura 3** - Tela de Abertura do SECAJU

A Tela apresentada na Figura 3 segue o adotado para todas as aplicações desenvolvidas com o *Expert* SINTA, mudando apenas as informações específicas como: nome do sistema; texto de apresentação; e desenvolvedores. Para iniciar a interação com o SECAJU, o usuário deve clicar na opção “OK”. Nas próximas subseções será descrito o funcionamento prático do SECAJU.

### 2.3.1. BASE DE CONHECIMENTO

A Base de Conhecimento de um SE consiste na representação sistêmica do conhecimento do especialista utilizado na criação do sistema. No caso do SECAJU, a Base de Conhecimento foi desenvolvida por meio de regras de produção, a partir de conhecimentos adquiridos com especialistas da cultura do cajueiro, juntamente com a equipe de desenvolvimento. As regras foram formalizadas no padrão de regras de produção: “Se”... “Então”, com aplicação de fator de confiança para cada regra. O *Expert* SINTA possui suporte para essas representações. A Figura 4 apresenta uma lista com a quantidade de regras existentes no SECAJU, assim como os fatos que compõem algumas dessas regras.



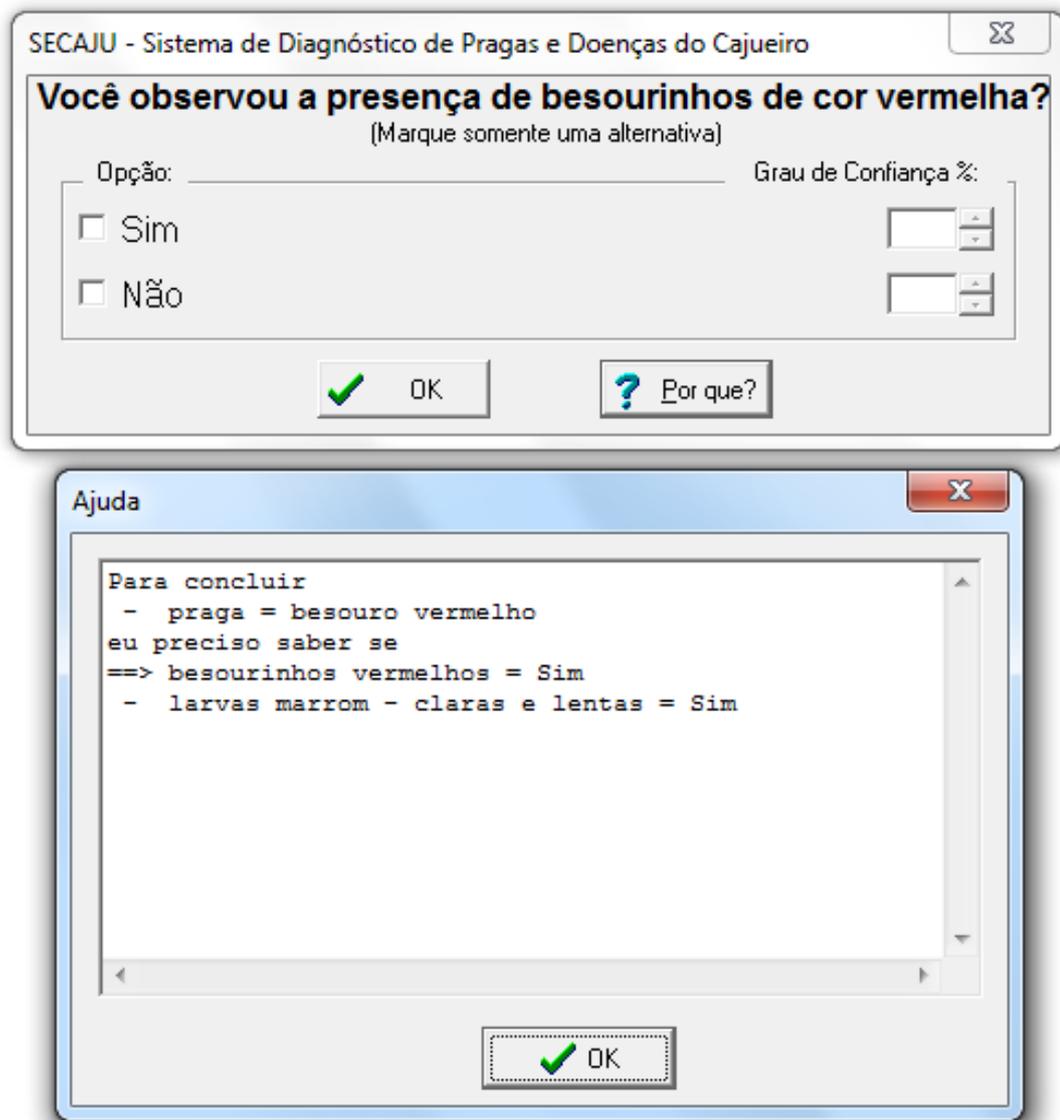
**Figura 4 - Base de Conhecimento do SECAJU**

A Figura 4 mostra uma lista com as regras do SECAJU. Na imagem pode-se identificar a lista com 32 regras, sendo que algumas destas são visualizadas ao lado. Através das regras visualizadas pode-se compreender o funcionamento do conhecimento representado em regras de produção. Para exemplificar, tem-se a partir da regra 2, o diagnóstico da praga broca das pontas CNF 100%. A notação CNF é utilizada para representar o grau de confiança de consultas e diagnósticos no *Expert SINTA*. Por se tratar de uma consulta com apenas um condicional, o diagnóstico broca das pontas pode ser obtido desde que a sua condição: “galerias nos ramos ou inflorescências” seja informada como verdadeira CNF 100%. Caso a resposta do usuário seja informada com CNF 86%, este será o grau de confiança do diagnóstico. O funcionamento de fatores de confiança será descrito na seção 3.4.

As regras são apresentadas ao usuário pelo SE em forma de consultas. Com isso, durante uma consulta, o usuário pode questionar a existência daquela consulta por meio de um mecanismo de explicação, o Sistema de Justificação. O SJ apresenta os fatos que compõem a regra da consulta apresentada, e assim, o usuário pode compreender a utilidade dessa consulta. A próxima subseção apresenta o funcionamento do Sistema de Justificação.

### 2.3.2. SISTEMA DE JUSTIFICAÇÃO

O Sistema de Justificação é um mecanismo com a finalidade de justificar ao usuário porque determinada situação está ocorrendo no sistema. Em aplicações desenvolvidas com o *Expert SINTA* como o SECAJU, essa representação pode ficar mais clara e visível através da opção “Por que?”, existente em todas as consultas que o sistema apresenta ao usuário. A Figura 5 apresenta o funcionamento do mecanismo de justificação no SECAJU.



**Figura 5** - Sistema de Justificação do SECAJU

A Figura 5 apresenta a consulta: “Você observou a presença de besourinhos de cor vermelha?” para o usuário. Através da opção “Por que?”, o usuário pode questionar ao

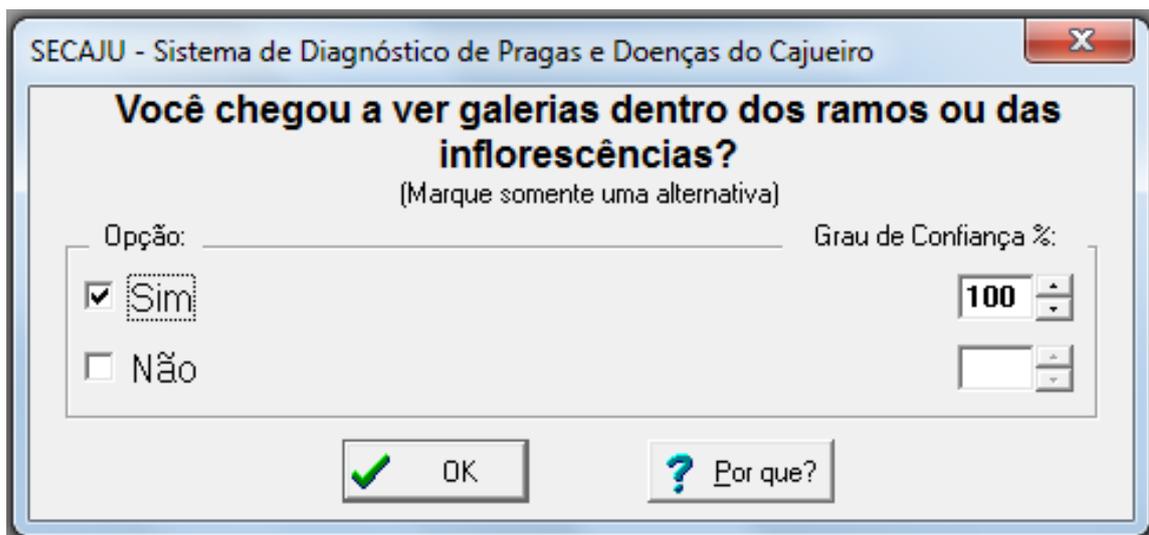
sistema a presença da consulta na interação. No exemplo, supõe-se que o usuário resolveu questionar o sistema. Assim, o mesmo apresentou a regra da consulta. Esta regra define que a praga pode ser o besouro vermelho, se as duas condições: “besourinhos vermelhos” (consulta em questão) e “larvas marrom – claras e lentas presentes” forem satisfeitas.

A justificação pode ser requisitada através do mecanismo de interação entre usuário e SE. A interação consiste na apresentação das consultas e diagnósticos ao usuário, e é realizada pelo componente Interface do Usuário. A próxima subseção mostra o funcionamento da Interface do Usuário.

### 2.3.3. INTERFACE DO USUÁRIO

A Interface do Usuário é responsável pela interação entre usuário e SE. No SECAJU, a interação ocorre de maneira bem simplificada, através de consultas realizadas pelo SE e respondidas pelo usuário. O *Expert* SINTA permite que as consultas sejam estruturadas em dois modelos de representação: direto e múltipla escolha. Os dois modelos apresentados podem ser identificados a partir da interação com o SECAJU.

O modelo de consulta direta consiste em apresentar consultas com opção de resposta direta. As opções disponíveis no modelo direto são: “Sim” para ocorrência do fato representado na consulta e “Não” pela não ocorrência desse fato. A Figura 6 exemplifica o modelo de uma consulta direta no SECAJU.



**Figura 6** - Consulta Direta no SECAJU

Por meio da Figura 6, pode-se identificar o formato das consultas diretas no *Expert SINTA*. No exemplo apresentado a consulta é: “Você chegou a ver galerias dentro dos ramos ou das inflorescências?”. Também pelo exemplo pode-se observar que o sistema informa ao usuário que só é possível marcar uma das duas alternativas disponíveis: “Sim” ou “Não”. O exemplo mostra a consulta respondida com a opção “Sim” e com grau de confiança de 100%, o que indica certeza da ocorrência do fato consultado. Após a confirmação da resposta, o SE apresenta uma nova consulta ou a inferência de um diagnóstico encontrado.

O modelo de consulta de múltipla escolha consiste em apresentar consultas com duas ou mais alternativas, que inclusive podem receber mais de uma opção como dado de entrada. Dada uma regra com quatro situações possíveis, no modelo de consulta direta, cada situação seria representada em uma consulta específica. No modelo de consultas múltipla escolha, a regra poderia ser apresentada em uma única consulta contendo as quatro situações. Com isso, a utilização do SE fica mais fácil e o tempo de interação do usuário diminui. A Figura 7 mostra a exemplificação de uma consulta múltipla escolha no SECAJU.

**Figura 7 - Consulta Múltipla Escolha no SECAJU**

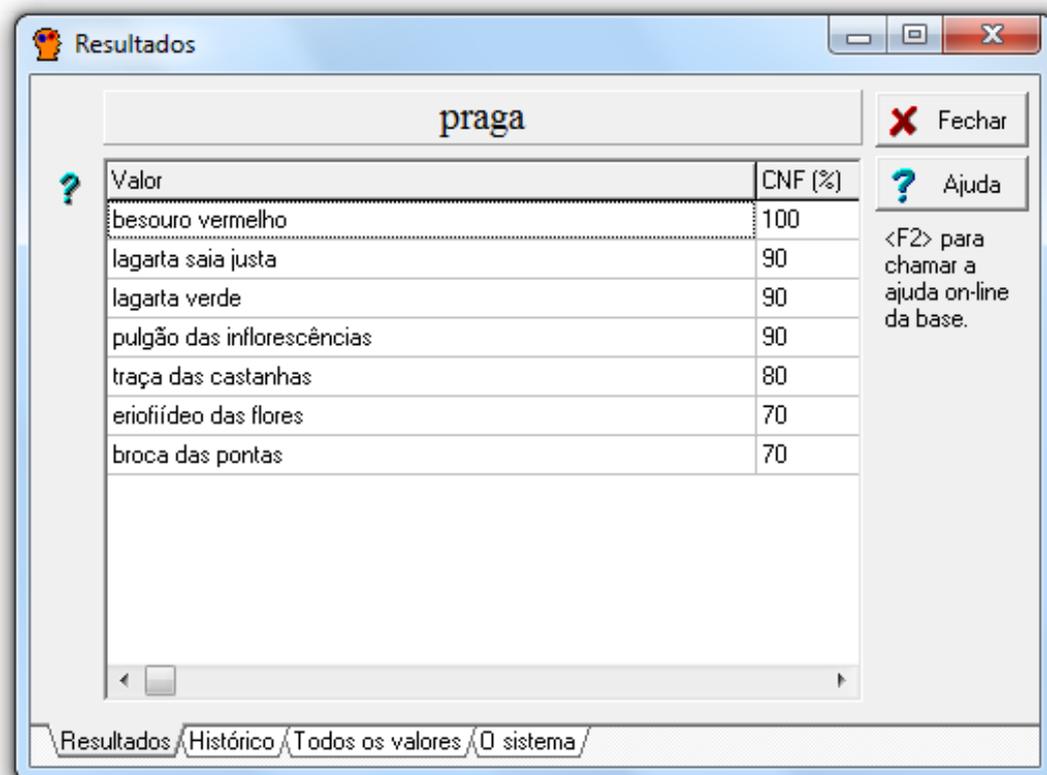
Por meio da Figura 7, pode-se identificar o formato das consultas múltipla escolha no *Expert SINTA*. No exemplo apresentado, a consulta é: “Em que condições estão os maturis? Maturi é o caju novo, ou seja, a castanha verde, grande e mole, antes do desenvolvimento do

pendúculo.”. Diferente das consultas diretas, em uma consulta múltipla escolha o usuário pode marcar quantas alternativas desejar. Neste exemplo, as opções disponíveis para o usuário são: “Necrosadas (muito escuros)” ; “Rachados” ; “Mumificados” e “Deformados”. Igualmente às consultas diretas, após a confirmação, o SE apresenta uma nova consulta ou a inferência de um diagnóstico encontrado.

A partir de um conjunto de consultas realizadas, o SE infere o provável diagnóstico do problema. No SECAJU, o diagnóstico pode ser uma praga ou uma doença relacionada à cultura do caju. Na próxima subseção será apresentado um modelo exemplo do SECAJU.

#### 2.3.4. RESULTADOS

O SECAJU pode ser uma ferramenta útil na cultura do cajueiro. Com ele, os produtores de caju podem identificar diversas pragas que atacam o cajueiro. Entre as pragas que podem ser diagnosticadas pelo sistema estão: a traça das castanhas; o besouro vermelho; a larva do broto terminal e a cigarrinha. A Figura 8 apresenta uma tela de resultados gerados a partir de um conjunto de consultas realizadas.



**Figura 8** - Tela de Resultados no SECAJU

A Figura 8 apresenta o modelo de resultados alcançados pelo SECAJU, uma lista contendo os diagnósticos inferidos pelo sistema, no caso, algumas pragas pertencentes a cultura do caju. O exemplo apresenta um diagnóstico inferido pelo SECAJU dentro da categoria praga. Este diagnóstico mostra que a partir da interação entre o usuário e o SECAJU, foram identificadas as seguintes pragas: o besouro vermelho; a lagarta saia justa; a lagarta verde; o pulgão das inflorescências; a traça das castanhas; o eriofídeo das flores e a broca das pontas. Pela imagem também é possível verificar o grau de confiança (CNF %) de cada diagnóstico encontrado. Na praga besouro vermelho, o sistema chegou a um diagnóstico com 100% de precisão. Já na praga broca das pontas, o diagnóstico foi obtido com apenas 70% de precisão.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção serão apresentados os locais, as metodologias e os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho que, juntamente com as orientações recebidas, permitiram a conclusão do mesmo. Esta seção também menciona a ferramenta que foi definida para o desenvolvimento da aplicação, o *Expert SINTA*.

#### **3.1. LOCAL E PERÍODO**

O trabalho foi desenvolvido no CEULP/ULBRA. As atividades foram desenvolvidas entre janeiro e dezembro de 2011.

#### **3.2. MATERIAIS**

Os materiais utilizados neste trabalho podem ser divididos em duas categorias:

- Fontes Bibliográficas – o referencial teórico foi embasado em teses de doutorado, dissertações de mestrado, livros que abordam os conceitos usados, artigos científicos e trabalhos publicados na *web*.
- *Software* – *Expert SINTA*, ferramenta automatizada para o desenvolvimento de Sistemas Especialistas.
- Materiais Específicos para o Domínio – revista da EMBRAPA: abacaxi: fitossanidade e o manual de identificação de pragas, doenças e deficiências nutricionais na cultura do abacaxi da EMBRAPA.

#### **3.3. MÉTODOS**

A organização das atividades pode ser descrita e dividida em quatro etapas relevantes:

- A primeira consistiu na realização das pesquisas para montar a biblioteca de referências, no qual estão: teses de doutorado, dissertações de mestrado, monografias, artigos e publicações científicas.

- Em seguida foi realizado um estudo para obter conhecimento sobre a cultura do abacaxi e compreender o funcionamento de Sistemas Especialistas. Este estudo permitiu conhecer as pragas, doenças e deficiências nutricionais que podem ocorrer no cultivo de abacaxi, além de conhecer os conceitos relacionados aos Sistemas Especialistas;
- Na terceira parte foi elaborado o referencial teórico abordando alguns conceitos sobre a cultura do abacaxi e os principais conceitos sobre os Sistemas Especialistas. Este referencial também apresenta uma análise prática do funcionamento do SECAJU, um SE desenvolvido no *Expert SINTA*. Esta análise permitiu compreender a dinâmica de desenvolvimento de aplicações com o *Expert SINTA*.
- Parte teórica finalizada iniciou-se a parte prática. Primeiro foram produzidas regras com base no conhecimento extraído de materiais bibliográficos. Estes materiais descrevem todos os sintomas e situações que podem ocorrer em determinado problema (doença, por exemplo). Em seguida, foram realizadas entrevistas com a especialista parceira em busca de validar o conhecimento encontrado na literatura e agregar novos conhecimentos para a Base de Conhecimento.
- Após a obtenção do conhecimento, foi realizado o processo de formalização do conhecimento. Este processo consiste em reunir todo conhecimento adquirido e padronizar no formato de regras de produção. Ou seja, transformar uma determinada ocorrência (praga, por exemplo), em um conjunto de regras (sintomas) para poder chegar ao diagnóstico final.
- Por fim, as regras inseridas foram avaliadas através da realização de testes de validação, que permitiram identificar e corrigir erros, e consequentemente, validar o conhecimento estruturado no sistema. Esses testes foram realizados em parceria com os especialistas envolvidos no desenvolvimento do trabalho.

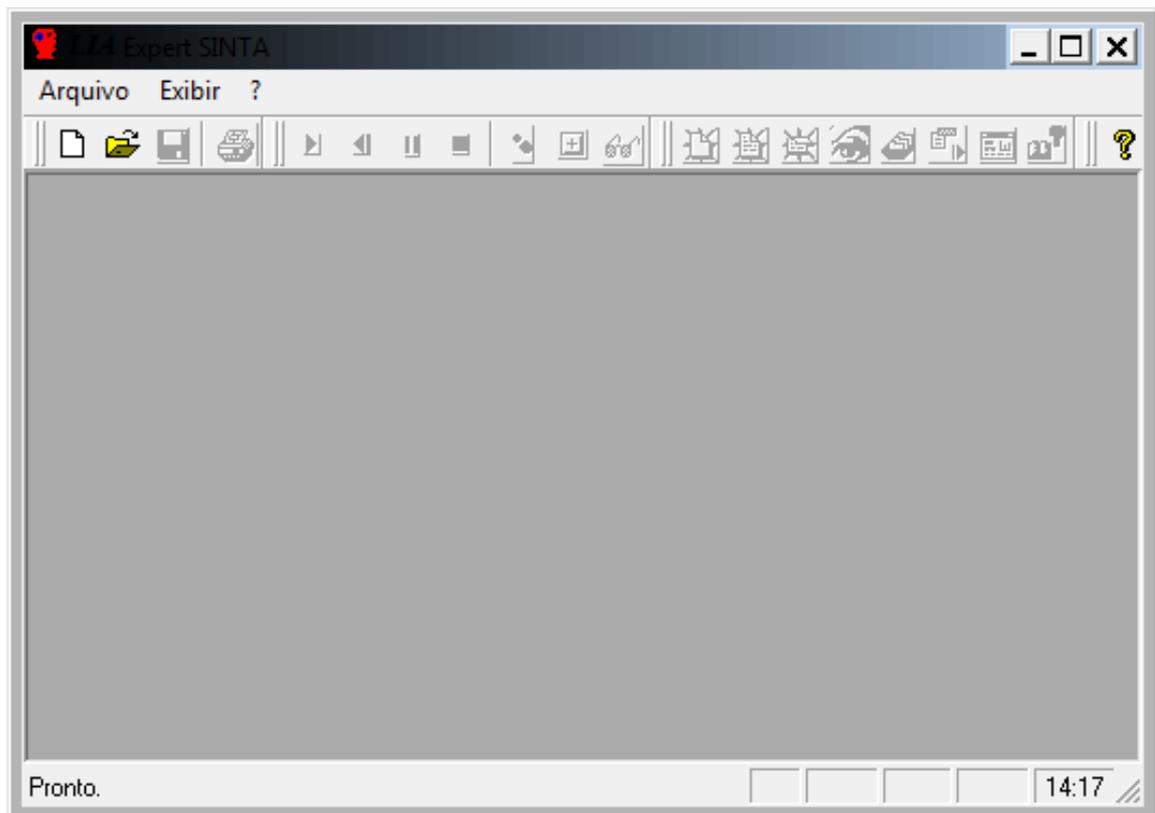
### **3.4. EXPERT SINTA**

O *Expert SINTA* é uma ferramenta computacional adaptada para o desenvolvimento de SE. A representação do conhecimento no *Expert SINTA* segue o modelo de regras de produção e probabilidades. Tem como principal objetivo simplificar o trabalho de desenvolvimento do SE, fornecendo MI própria, geração automática das telas de consulta, tratamento probabilístico das regras formalizadas e utilização de mecanismo de justificativa baseada no

contexto da aplicação. O sistema de consulta também é gerado automaticamente a partir das regras definidas (LIA, [s.a.], p. 4-5). Outras características pertinentes a essa ferramenta são:

- utilização do encadeamento para trás (*backward chaining*) como método de raciocínio para a busca das soluções;
- utilização de fatores de confiança para determinar o percentual de certeza nas evidências fornecidas pelo usuário e no resultado alcançado pelo SE;
- existência de ferramentas de depuração para acompanhar a execução das consultas e compreender como o SE chegou a determinada conclusão;
- possibilidade de incluir ajudas on-line para as bases desenvolvidas.

O *Expert SINTA* foi desenvolvido pelo Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará (UFC). Para sua utilização, não é preciso instalar outros recursos no computador, nem o próprio *Expert SINTA* é instalado. A ferramenta consiste em um arquivo executável (ExSINTA.exe), disponibilizado em licença *freeware* (gratuito) na página *web* do LIA. A Figura 9 apresenta a interface de abertura do *Expert SINTA*.



**Figura 9** - Interface Inicial do Expert SINTA

A Figura 9 apresenta a interface inicial do *Expert SINTA*. Esta interface aparece a partir da execução do arquivo (ExSINTA.exe). Na tela inicial, pode-se identificar um “Menu” na parte superior, com as opções “Arquivo” e “Exibir”. O trabalho com a ferramenta deve ser iniciado pela opção “Arquivo”. Por meio dela, é possível criar uma nova base de regras (Base de Conhecimento), ou executar uma base já existente e compatível com o padrão aceito pelo *Expert SINTA*. A opção “Exibir” é utilizada para controlar a exibição da barra de ferramentas com os recursos de trabalho do *Expert SINTA*. Entre os principais recursos fornecidos pelo *Expert SINTA* tem-se: criar uma nova base; abrir uma base existente; criar, editar e excluir regras, além de outros mecanismos necessários para se desenvolver uma aplicação.

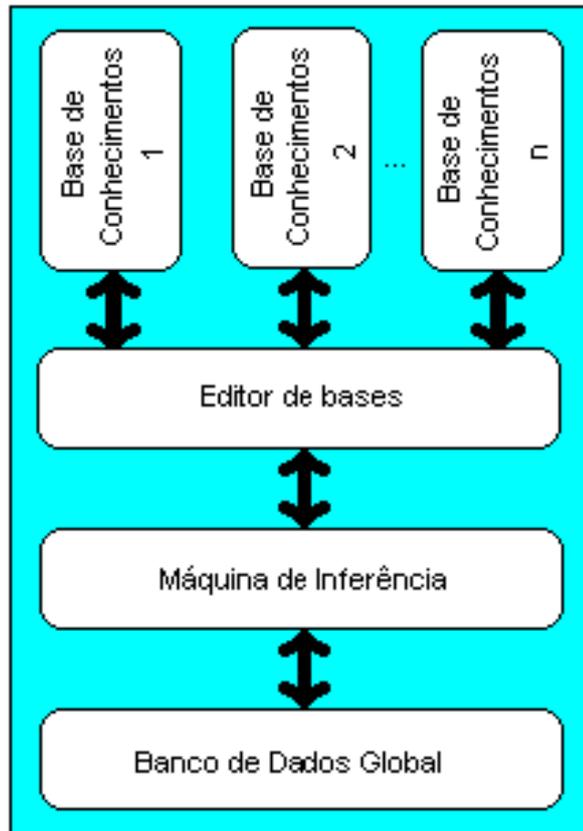
Sistemas Especialistas desenvolvidos no *Expert SINTA* são representados por um arquivo com extensão (.bcm). O pacote do *Expert SINTA*, com ferramenta e manual, é acompanhado de uma base real, que pode ser utilizada para se compreender o funcionamento da ferramenta e das aplicações desenvolvidas com ela. A base é a SECAJU.BCM, que faz referência ao estudo de caso apresentado (Seção 2.3).

Graus de confiança podem ser atribuídos quando não se tem a certeza a evidência que está sendo informada. O *Expert SINTA* possui mecanismos para controlar fatores de confiança nas evidências e nos diagnósticos apresentados ao usuário. Este tratamento ocorre de acordo com os seus dois conectivos lógicos: “E” e “OU”.

O conectivo E é representado da seguinte forma: tenham-se duas condições  $var_1 = value_1$  e  $var_2 = value_2$ , com os respectivos graus de confiança  $c_1$  e  $c_2$ , temos que a sentença  $var_1 = value_1$  E  $var_2 = value_2$  retornará como valor de confiança  $c_1 \times c_2$ . Por exemplo, se o grau de confiança de uma condição: estados das folhas = esfrelam facilmente é 80% e o grau de confiança de outra condição: presença de manchas irregulares = sim é 70%, temos que a conjunção das duas sentenças retornará um valor CNF de 56%, pois esse é o produto  $(0.80 * 0.70)$  dos dois valores (LIA, [s.a.], p.15).

O conectivo OU é representado da seguinte forma: tenham-se duas condições  $var_1 = value_1$  e  $var_2 = value_2$ , com os respectivos graus de confiança  $c_1$  e  $c_2$ , temos que a sentença  $var_1 = value_1$  OU  $var_2 = value_2$  retornará como valor de confiança  $c_1 + c_2 - c_1 \times c_2$ . Por exemplo, se o grau de confiança de uma condição besouros vermelhos = sim é 80% e o de outra condição larvas marrons = sim é 70%, temos que a disjunção das duas sentenças retornará um valor CNF de  $(0.70 + 0.80 - 0.70 * 0.80) = 1.50 - 0.56 = 0.94 = 94\%$ . Sendo assim, o grau de confiança do diagnóstico será 94% (LIA, [s.a.], p.15-16).

Os SE desenvolvidos no *Expert SINTA* seguem um modelo de arquitetura composta por quatro componentes: (1) a Base de Conhecimento; (2) o Editor de bases; (3) a Máquina de Inferência; (4) o Banco de Dados Global (LIA, [s.a.], p. 4-5). A Figura 10 apresenta o modelo de arquitetura de SE implementados no *Expert SINTA*.



**Figura 10** - Arquitetura simplificada do Expert SINTA (LIA, [s.a.], p.7)

A Base de Conhecimento e a Máquina de Inferência (Figura 10), existentes no modelo de arquitetura do *Expert SINTA* correspondem aos componentes Base de Conhecimento e Máquina de Inferência, apresentados na Seção 2.1.1.1 e 2.1.1.3 respectivamente. O Editor de Bases (Figura 10) é o meio pelo qual o *Expert SINTA* possibilita a criação das BC desejadas. O Editor de Bases é comparado ao Sistema de Aquisição de Conhecimento, apresentado na seção 2.1.1.2. O Banco de Dados Global (Figura 10) corresponde às evidências apontadas pelo usuário durante a consulta. Este componente está relacionado à Interface do Usuário, apresentada na seção 2.1.1.4. O *Expert SINTA* também fornece mecanismo para justificação de conteúdo. Este recurso não é apresentado na arquitetura, mas pode ser identificado por meio da seção 2.3.2 (Figura 4) (LIA, [s.a.], p. 7).

### 3.5. ESPECIALISTA

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio da especialista Milene Mendonça de Souza Magalhães, formada em Agronomia pela Universidade Federal do Goiás (UFG), com especialização em Fertilidade de Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Atualmente exerce o cargo de engenheira agrônoma no Instituto de Desenvolvimento Agrário do Tocantins (Ruraltins), sendo responsável por Fruticultura e Flores Tropicais.

O primeiro contato com a especialista ocorreu por telefone. Neste contato foi apresentado superficialmente como seria o trabalho, além de deixar agendada uma reunião na sede do Ruraltins.

Nesta reunião foram apresentados os objetivos e necessidades para a realização do trabalho. Também foi apresentada a ferramenta *Expert SINTA* e o sistema SECAJU explicar como será o desenvolvimento do trabalho. Ao final, a especialista disponibilizou material didático específico da cultura do abacaxi e orientou para que as regras fossem criadas com base nesses materiais e corrigidas durante outras reuniões.

Ao final do desenvolvimento, o SE desenvolvido foi levado para ser executado de forma geral. Durante a execução, a especialista deu indicações para mudança de texto nas perguntas, além de alterações na definição do grau de confiança de algumas regras.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentado o processo de desenvolvimento do SE proposto neste trabalho, assim como as regras (BC) construídas a partir do conhecimento adquirido dos especialistas da cultura e alguns testes de funcionalidade para apresentar o sistema. Para isto, a seção 4.1 esta dividida em três partes correspondendo ao desenvolvimento do sistema. Este processo inclui a coleta de dados (seção 4.1.1), a formalização para o formato de regras de produção (4.1.2) e, por fim, a manipulação desse conhecimento através do *Expert SINTA* (seção 4.1.3.). A seção 4.2 apresenta a BC desenvolvida. Esta base tem seus dados divididos em grupos (variáveis objetivos), que representam os objetivos que o sistema pode alcançar, sendo eles: praga; doença; deficiência nutricional e anomalia abiótica. A seção 4.3 descreve alguns testes realizados no sistema. Os testes exemplificarão o funcionamento da ferramenta em diferentes situações que podem ocorrer no abacaxizeiro.

### 4.1. DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento do sistema proposto está dividido e estruturado em três etapas: aquisição de conhecimento; formalização do conhecimento; e codificação do conhecimento. As seções 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 descrevem o que foi feito em cada etapa.

#### 4.1.1. AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTO

A aquisição de conhecimento é uma atividade essencial e indispensável para qualquer projeto de SE. Trata-se da fase de identificação do conhecimento necessário para o desenvolvimento do sistema. O conhecimento pode ser adquirido de diversas formas, entre as quais: utilização de materiais bibliográficos e entrevistas com especialistas do domínio de atuação do SE.

Para realização dessa tarefa, inicialmente foi realizada uma reunião na sede do Ruraltins em Palmas, para expor a proposta (necessidades e objetivos a serem alcançados) para a especialista em fruticultura do órgão, a qual se dispôs a ser parceira do projeto. Nesta reunião ficou definido que o conhecimento necessário seria adquirido com base em materiais

bibliográficos relacionados ao cultivo do abacaxi e incrementado através de reuniões periódicas para validar e agregar novos conhecimentos.

Os materiais utilizados foram: artigos científicos, revistas de fitossanidade e o manual da EMBRAPA, sendo que alguns foram disponibilizados e indicados pela própria especialista. Estes materiais descrevem todos os sintomas e situações que podem ocorrer em determinado problema (doença, por exemplo).

Após a aquisição de conhecimento, o mesmo deve ser padronizado no modelo que será utilizado no SE. Aplicações desenvolvidas com o Expert SINTA tem como padrão, regras de produção (seção 3.4). A seção 4.2 apresenta todas as regras formalizadas no padrão do Expert SINTA, assim como a forma em que elas estão organizadas.

#### 4.1.2. FORMALIZAÇÃO DO CONHECIMENTO

A formalização do conhecimento é a fase utilizada para padronizar o conhecimento adquirido na fase de aquisição de conhecimento. O conhecimento foi dividido e estruturado em quatro formas (grupos): pragas; doenças; deficiências nutricionais e anomalia abiótica. Esses grupos foram aplicados em três estágios possíveis do abacaxizeiro: vegetativa, no qual o abacaxizeiro ainda não está produzindo frutos; reprodutiva, no qual o abacaxizeiro já está com frutos; e pós-colheita, o qual o fruto já foi colhido na lavoura. Esta divisão vai ficar mais clara a partir da seção 4.3 (Testes).

As pragas que podem ser identificadas pelo sistema são: a cochonilha; a broca do fruto; a broca do talo e o ácaro alaranjado. Os três últimos são os únicos descritos no manual de identificação de pragas da EMBRAPA (EMBRAPA, 2010, p. 20-26). A cochonilha é o agente causador da murcha, uma doença muito conhecida na cultura do abacaxi (EMBRAPA, 2010, p. 18-19). As regras correspondentes a essas pragas estão estruturadas da seguinte forma:

- **Ácaro Alaranjado**

**SE** → Você observou uma forte coloração alaranjada na base das folhas (na parte não-clorofilada) da planta = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Ácaro Alaranjado **CNF** 100%

- **Cochonilha**

**SE** → Você observou a presença de insetos meio rosados, cobertos por uma massa cerosa, branca, de aspecto farinhento, presentes nas raízes ou nas bases folhas = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Cochonilha **CNF** 100%

É importante ressaltar que o ácaro alaranjado e a cochonilha também podem aparecer durante a fase reprodutiva, sendo encontrados na planta. A cochonilha pode ocasionar uma doença altamente prejudicial ao cultivo do abacaxi, a murcha associada à cochonilha.

As pragas broca do fruto e broca do talo tiveram a construção de suas regras divididas em duas partes: parte 1 e parte 2. A parte 1 está relacionada a visualização da praga e a parte 2 a visualização dos sintomas da praga. As regras estão estruturadas da seguinte forma:

- **Broca do Talo (Parte 1)**

**SE** → Você observou uma lagarta de coloração branco-amarelada presente nas folhas = Sim

**OU** → Você observou uma mariposa com asas de coloração marrom com reflexo verde nas asas anteriores, e vermelho nas asas posteriores = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Broca do Talo **CNF 100%**

- **Broca do Talo (Parte 2)**

**SE** → Você observou se as folhas estão seccionadas na região basal = Sim

**E** → Você observou se o olho da planta está morto = Sim

**E** → Você observou a presença de resina misturada com dejetos na base das folhas = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Broca do Talo **CNF 90%**

- **Broca do Fruto (Parte 1)**

**SE** → Você observou a presença de uma lagarta de cor amarelo-escuro, corpo ligeiramente achatado com aspecto de lesma = Sim

**OU** → Você observou uma pequena borboleta cinzento-escuro brilhante, com manchas alaranjadas nas asas posteriores voando pelo abacaxizeiro = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Broca do Fruto **CNF 100%**

- **Broca do Fruto (Parte 2)**

**SE** → Os frutos apresentam exsudação de resina entre os frutinhos sempre misturados com dejetos da larva = Sim

**E** → Na parte interior dos frutos, foi observado à existência de galerias = Sim

**ENTÃO** → **Pragas** = Broca do Fruto **CNF 90%**

As doenças que podem ser identificadas pelo sistema são: a fusariose, mais séria ameaça à cultura do abacaxi no Brasil (EMBRAPA, 2010, p.08); a fitofitora (podridão do olho), presente em todas as regiões produtoras de abacaxi do mundo (EMBRAPA, 2010, p.10); a chalara (podridão negra), a mais importante doença de pós-colheita do fruto do abacaxizeiro (EMBRAPA, 2010, p.10) e; a murcha associada à cochonilha, um dos mais importantes problemas fitossanitários da abacaxicultura mundial (EMBRAPA, 2010, p.10). A

fusariose pode ocorrer em duas fases: vegetativa ou reprodutiva. Sendo assim, foram criadas duas regras para satisfazer as duas fases. A chalara é uma doença pós-colheita que ocorre por causa de maus cuidados com os frutos. Para essa doença criou-se uma classificação exclusiva (Pós-Colheita) porque não pode ser inserida em nenhuma das outras duas. As regras correspondentes a essas doenças estão estruturadas da seguinte forma:

- **Fusariose – Vegetativa**

**SE** → Você observou se existe uma lesão na região inferior do caule/talo e na região aclorofilada da base das folhas = Sim

**E** → A região infectada apresenta exsudação de substância gomosa = Sim

**E** → Você observou se houve avermelhamento das folhas e morte da planta = Sim

**E** → Você observou se houve a “abertura” da roseta central da planta, de forma a visualizar as folhas mais novas = Sim

**ENTÃO** → **Doenças** = Fusariose **CNF** 100%

- **Fusariose – Reprodutiva**

**SE** → Os frutos apresentam exsudação de goma na parte central dos frutinhos, os quais evidenciam descoloração vermelho-amarronzada = Sim

**E** → A polpa do fruto apresenta-se apodrecida na região afetada = Sim

**ENTÃO** → **Doenças** = Fusariose **CNF** 80%

- **Fitofitora (podridão do olho)**

**SE** → Você observou se as folhas mais novas apresentam coloração amarela embaçada à cinza, enquanto as folhas mais velhas não sofrem alterações = Sim

**E** → Você observou o surgimento de lesões na parte aclorofilada da base das folhas, as quais não atingem a parte clorofilada = Sim

**E** → Você observou se tem uma faixa marrom separando a parte infectada da parte sadia = Sim

**E** → Você tentou remover as folhas infectadas? Essas folhas podem ser facilmente removidas, evidenciando uma podridão-mole e com odor desagradável = Sim

**ENTÃO** → **Doenças** = Fitofitora **CNF** 90%

- **Murcha associada à Cochonilha**

**SE** → As raízes evidenciam paralisação do crescimento e apodrecimento = Sim

**E** → As folhas expressam coloração avermelhada e os bordos se curvam para baixo e para dentro = Sim

**E** → As folhas perdem a turgescência (murcham) e apresenta seca da região apical = Sim

**ENTÃO** → **Doenças** = Murcha associada à Cochonilha **CNF** 90%

- **Chalara (podridão-negra) – Pós-colheita**

**SE** → Existe uma lesão de cor amarela intensa, que progride da base para o ápice do fruto, conferindo formato de cone = Sim

**E** → A poupa do fruto está se tornando líquida, com exsudação do suco, restando apenas às fibras escuras que correspondem aos feixes vasculares = sim

**ENTÃO** → **Doenças** = Podridão-Negra **CNF** 90%

As deficiências nutricionais que podem ser identificadas pelo sistema são: de nitrogênio; de ferro; de potássio; de magnésio; e de cobre. As regras correspondentes a essas deficiências estão divididas de duas formas: vegetativa e reprodutiva. As regras produzidas para a fase vegetativa são:

- **Deficiência de Nitrogênio**

**SE** → As folhas mais velhas apresentam folhagem amarelo-esverdeada = Sim

**E** → As folhas são pequenas, estreitas e pouco numerosas = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Nitrogênio **CNF** 80%

- **Deficiência de Ferro**

**SE** → Você observou se as folhas mais jovens estão apresentando descoloração = Sim

**E** → As folhas mais velhas estão ficando secas = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Ferro **CNF** 80%

- **Deficiência de Potássio**

**SE** → As folhas mais velhas apresentam pequenas pontuações amarelas, que crescem e se multiplicam = Sim

**E** → Você observou se está acontecendo o ressecamento da extremidade apical da folha = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Potássio **CNF** 80%

- **Deficiência de Magnésio**

**SE** → As folhas mais velhas são amareladas enquanto as partes sombreadas pelas folhas mais novas permanecem verdes = Sim

**E** → As folhas são amarelas e avermelhadas ao longo das margens = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Magnésio **CNF** 100%

As regras produzidas para a fase reprodutiva são:

- **Deficiência de Nitrogênio**

**SE** → Os frutos são pequenos, muito coloridos, e com a coroa pequena = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Nitrogênio **CNF** 80%

- **Deficiência de Ferro**

**SE** → Os frutos são vermelhos e com a coroa clorótica (meio amarelada) = Sim

**E** → A poupa do fruto apresenta aspecto translucido (meio transparente) = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Ferro **CNF** 90%

- **Deficiência de Potássio**

**SE** → Os frutos têm tamanho muito reduzido e não amadurece completamente na parte superior = Sim

**E** → Os frutos apresentam baixa acidez e falta de aroma = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Potássio **CNF** 90%

- **Deficiência de Magnésio**

**SE** → Os frutos possuem baixa acidez, são pobres de açúcar e praticamente sem sabor = Sim

**ENTÃO** → **Deficiências** = Deficiência de Magnésio **CNF** 70%

O sistema também permite a identificação de uma anomalia abiótica que não estava prevista inicialmente, mas que foi inserida durante as interações com a especialista o qual identificou a sua necessidade, pois esta anomalia esta relacionada aos cuidados que o produtor deve ter com a forte exposição dos frutos ao sol, que podem causar grandes prejuízos na lavoura. A anomalia é a queima solar e sua regra está estruturada da seguinte forma:

- **Queima Solar**

**SE** → Você observou se os frutos encontram-se mais caídos para um lado em relação ao eixo central = Sim

**E** → Os frutos apresentam descoloração amarelada na casca, que com o passar do tempo apresente a cor marrom escuro = Sim

**E** → Aparentemente os frutos apresentam paralisação do crescimento = Sim

**E** → Você observou se internamente, a polpa apresenta-se mais translúcida na região afetada = Sim

**ENTÃO** → **Doenças** – Queima Solar **CNF** 90%

Após a formalização do conhecimento, foi realizado o processo de codificação das regras no *Expert SINTA*. Este processo consiste em criar uma BC na ferramenta e inserir as regras produzidas. A seção 4.1.3 apresenta o funcionamento do processo de criação e inserção de conhecimento através do *Expert SINTA*, assim como a exemplificação de algumas regras criadas.

### 4.1.3. CODIFICAÇÃO DO CONHECIMENTO

A codificação do conhecimento é a fase de criação das regras de conhecimento. Nesta fase, todo o conhecimento padronizado na fase de formalização é transferido para a BC no *Expert SINTA*. No entanto, para esta fase é necessário compreender os conceitos de variáveis univaloradas e multivaloradas. As variáveis univaloradas recebem apenas um valor e as variáveis multivaloradas podem receber mais de um valor (LIA, [s.a.], pag. 13).

As variáveis univaloradas são geralmente utilizadas como condicionais para um determinado objetivo. Um exemplo de variável univalorada criada no sistema é: “frutos com baixa acidez e falta de aroma”. Essa variável é uma das condições para se diagnosticar a deficiência de potássio no estagio reprodutivo. O *Expert SINTA* possibilita a criação de perguntas para as variáveis univaloradas. Para a variável “frutos com baixa acidez e falta de aroma”, a consulta realizada ao usuário pelo sistema é “os frutos apresentam baixa acidez e falta de aroma?”.

As variáveis multivaloradas normalmente são utilizadas para os resultados do SE. Neste trabalho, o conceito de variáveis multivaloradas foi aplicado em apenas duas variáveis do sistema: “estágio do abacaxizeiro” e “diagnósticos”. A variável “estágio do abacaxizeiro” foi criada para permitir a filtragem de regras. Os valores definidos foram: vegetativa (planta sem frutos); reprodutiva (com frutos); e pós-colheita (pronto para o consumo). Dessa forma, o usuário poderá informar que condições encontram-se o abacaxizeiro a ser analisado e, com isso, reduzir a quantidade de consultas e direcioná-las para as reais necessidades. Já a variável “diagnósticos”, além de ser uma variável multivalorada, contém a notação de variável-objetivo, que no *Expert SINTA* corresponde a uma variável de conclusão (para resultados) (LIA, [s.a.], pag. 23). Os valores que compõem essa variável correspondem a todas as pragas, doenças, deficiências nutritivas e anomalias abióticas (seção 4.1.2) que poderão ser diagnosticadas no sistema.

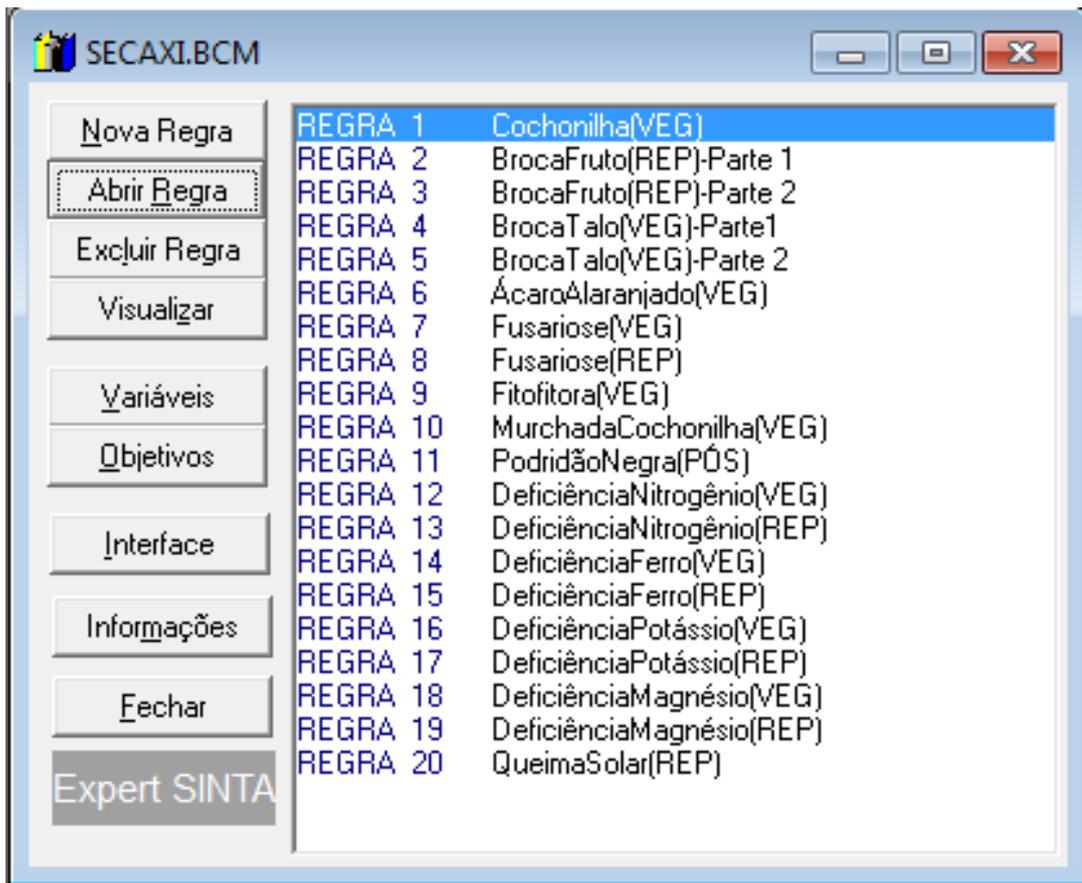
Após a codificação do conhecimento na BC, têm-se o SE pronto para ser utilizado. A seção 4.2 apresenta a BC criada.

## 4.2. **BASE DE CONHECIMENTO**

A BC é o resultado do trabalho de desenvolvimento do SE. A BC armazena todo conhecimento adquirido, analisado e produzido durante o processo de desenvolvimento. Com

isso, têm-se uma ferramenta de auxílio para pessoas inseridas no contexto da aplicação (especialistas e não-especialistas).

A BC do SECAXI é composta por 20 regras. Essas regras englobam as diferentes situações que podem ser encontradas no abacaxizeiro, sejam elas: pragas; doenças; deficiências nutricionais e anomalias abióticas. A Figura 11 apresenta uma lista com as regras do SECAXI.



**Figura 11** – Base de Conhecimento do SECAXI

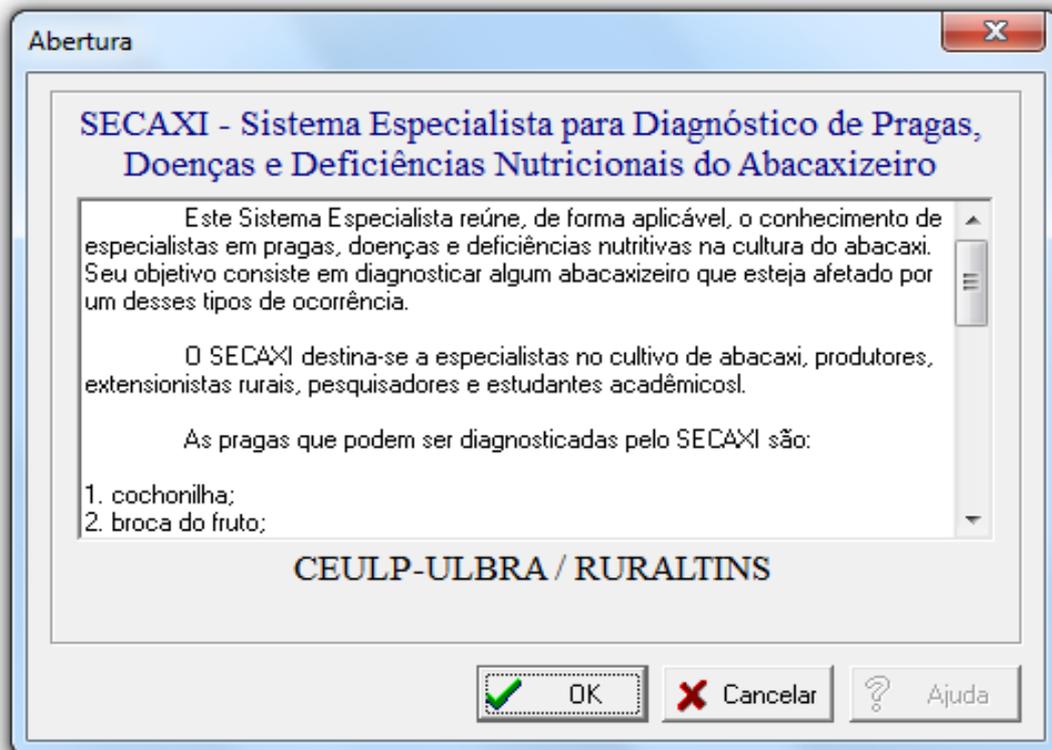
A Figura 11 mostra uma lista com todas as regras produzidas para o SECAXI. Na imagem pode-se identificar a lista com 20 regras. Também é possível verificar a divisão das regras por estágios: vegetativo (VEG); reprodutivo (REP) e pós-colheita (PÓS).

Para a utilização do SECAXI é necessário executar a BC pelo *Expert SINTA*. As regras são apresentadas ao usuário em forma de consultas. A seção 4.3 apresenta dois estudos de caso para testar o sistema.

### 4.3. O SISTEMA SECAXI

O Sistema Especialista para Diagnóstico de Pragas, Doenças e Deficiências Nutricionais do Abacaxizeiro (SECAXI) é uma ferramenta desenvolvida para auxiliar no cultivo de abacaxi. Este auxílio ocorre através da possibilidade de identificação de ameaças (doenças, por exemplo) que possam causar perdas na plantação.

O SECAXI destina-se aos especialistas no cultivo de abacaxi, produtores, extensionistas rurais, pesquisadores e estudantes acadêmicos. A Figura 12 apresenta a tela de abertura do SECAXI.



**Figura 12** – Tela de Abertura do SECAXI

A Figura 12 mostra a tela de abertura do SECAXI. Essa tela aparece no momento em que se inicia a execução do sistema. Trata-se de uma tela informativa, que apresenta informações relevantes sobre desenvolvedores, beneficiários e objetivos que podem ser alcançados. Para iniciar a interação com o sistema, o usuário deve clicar na opção “OK”.

Iniciada a interação com o sistema, o usuário deverá informar em que estágio está o abacaxizeiro que será analisado. A organização de estágios do abacaxizeiro pode ser

compreendida nas seções 4.1.2 e 4.1.3. A Figura 13 apresenta a primeira interação direta entre SECAXI e usuário.

**Figura 13** – Filtragem Por Estágio do Abacaxizeiro

A Figura 13 mostra a tela de filtragem da fase do SECAXI. Através da informação (vegetativa, reprodutiva ou pós-colheita) fornecida pelo o usuário, o sistema poderá fazer o direcionamento das regras para atender a situação necessitada e conseqüentemente reduzir a quantidade de consultas a serem realizadas pelo sistema. A seção 4.4 apresenta dois casos de teste criados para avaliar o SECAXI.

#### 4.4. TESTES

Para testar o funcionamento do SECAXI foram criados dois estudos de caso. O primeiro é para o estágio vegetativo do abacaxizeiro, e consiste no diagnóstico da praga cochonilha. O segundo é para o estágio reprodutivo do abacaxizeiro, e consiste no diagnóstico da deficiência nutricional de potássio.

##### ESTUDO DE CASO 1: COCHONILHA

A cochonilha é uma praga muito conhecida na cultura do abacaxi. Trata-se de um inseto meio rosado, coberto por uma massa branca, que pode ser facilmente visualizada na parte inferior das plantas.

Supondo que o usuário informe a condição “Vegetativa” no início da interação com o SECAXI, o sistema vai entrar nas regras relacionadas a abacaxizeiro em estagio vegetativo. A primeira regra desse estágio é exatamente a que pode identificar a cochonilha.

As entradas possíveis para as consultas no SECAXI são: “Sim” para afirmação do fato consultado e, “Não” para sua não ocorrência. O grau de confiança pode ser utilizado para não se afirmar com certeza a ocorrência do fato. A Figura 14 mostra a consulta da cochonilha.

**Figura 14** – Consulta Relacionada à Cochonilha

De acordo com a Figura 14, é possível observar que as características são semelhantes às relacionadas com a descrição da praga cochonilha. Sendo assim, se o usuário informar “Sim”, o sistema irá diagnosticar essa praga. Caso o usuário informe “Não” significa que ele não observou o fato no abacaxizeiro. A Figura 15 mostra a tela de resultados da cochonilha.

| Valor      | CNF (%) |
|------------|---------|
| cochonilha | 100     |

**Figura 15** – Resultado do Estudo de Caso 1

A Figura 15 mostra que o diagnóstico encontrado pelo sistema foi à cochonilha. Outro ponto a ser observado é o valor de confiança (CNF %) que está com 100%. Este resultado com 100% indica que o usuário informou com toda certeza a existência do inseto com as características da cochonilha e que o valor da regra também foi definido com 100% para essa ocorrência.

## ESTUDO DE CASO 2: DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO

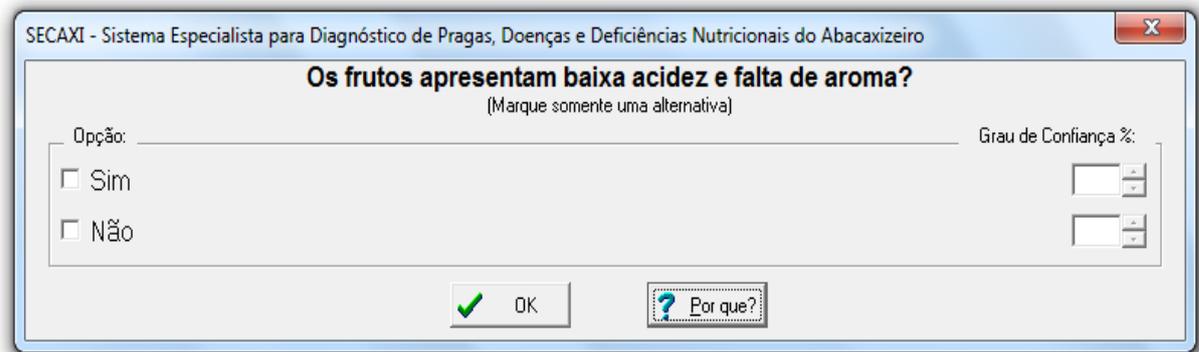
A deficiência nutricional de potássio é caracterizada pelo surgimento de pontuações amarelas nas plantas mais velhas. Essas pontuações vão crescendo e se multiplicando pelas folhas. Também acontece o ressecamento da extremidade apical da folha. Os frutos são pequenos, possuem baixa acidez e pouco de aroma, além de não amadurecerem completamente na parte superior.

Supondo que o usuário informe a condição “Reprodutiva (Com frutos)” no início da interação com o SECAXI, o sistema vai entrar nas regras relacionadas a abacaxizeiro em estágio reprodutivo. A regra que corresponde à deficiência nutricional de potássio é a oitava a ser executada.

A deficiência nutricional de potássio foi dividida em seus dois estágios: vegetativo e reprodutivo. Como o estudo de caso 2 apresenta uma situação indicada para a fase reprodutiva, a regra foi formada pelos sintomas decorrentes do fruto e definida em dois condicionais. A Figura 16 apresenta a primeira consulta relacionada a deficiência de potássio.

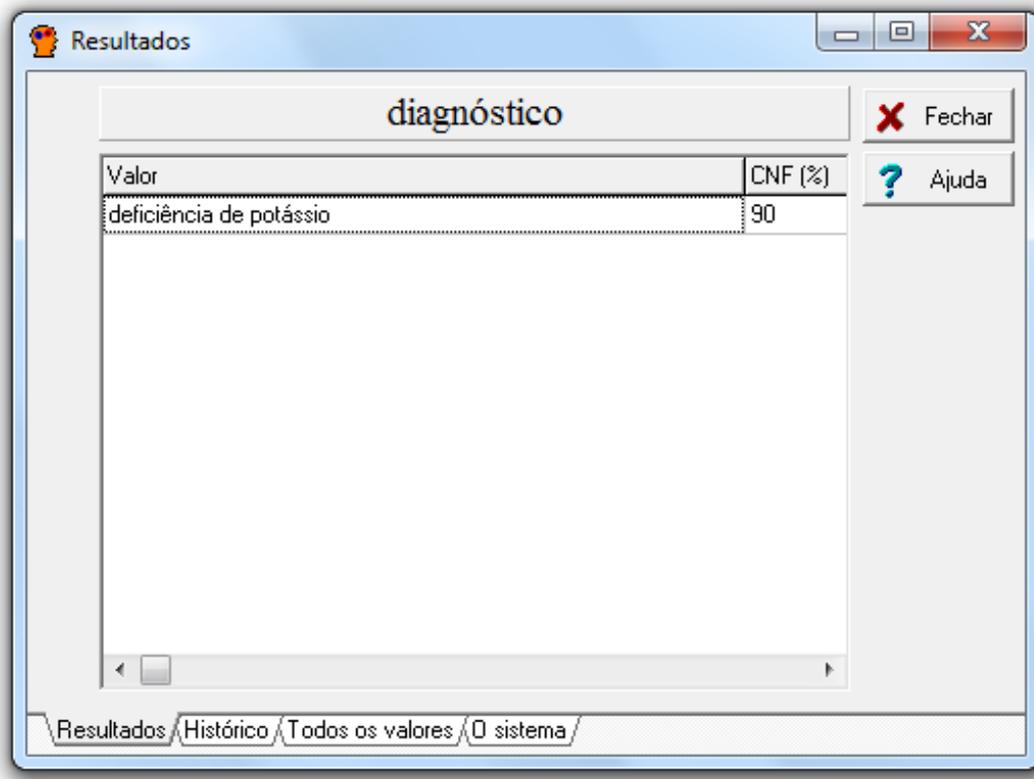
**Figura 16** – Primeira Consulta da Deficiência de Potássio

De acordo com a Figura 16, é possível observar algumas características de abacaxizeiro com a deficiência de potássio. Sendo assim, se o usuário informar a resposta “Sim”, o sistema continuará executando a regra e será direcionado para a próxima consulta. Caso o usuário informe “Não” significa que ele não observou essa ocorrência e a entrada na regra será invalidada. A Figura 17 apresenta a segunda consulta da deficiência de potássio.



**Figura 17** – Segunda Consulta da Deficiência de Potássio

A Figura 17 faz referência a outros dois sintomas comuns dessa deficiência: frutos com baixa acidez e falta de aroma. Assim, se o usuário informar “Sim”, o sistema chegará ao diagnóstico da deficiência de potássio. Caso o usuário informe “Não”, o sistema não poderá diagnosticar essa deficiência. A Figura 18 mostra a tela de resultados da deficiência nutricional de potássio.



**Figura 18** – Resultado do Estudo de Caso 2

A Figura 18 mostra que o diagnóstico encontrado pelo sistema foi à deficiência nutricional de potássio. O valor de confiança está com 90%. No desenvolvimento desta regra foi atribuído o valor de 90% para as respostas positivas do usuário em relação às consultas. Este valor foi definido pela própria especialista tendo como justificativa algumas semelhanças entre as deficiências nutricionais. Para que o sistema obtivesse o resultado com 90%, o usuário informou com toda certeza as condições relacionadas à deficiência de potássio.

Os testes realizados se mostraram eficientes para os propósitos definidos. Contudo, também foi possível compreender pelo segundo caso de teste, uma grande limitação da ferramenta *Expert SINTA*. A ferramenta invalida a regra se o usuário não informar como verdadeiro todas as ocorrências (sintomas) definidos para uma regra.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sistemas Especialistas são ferramentas fundamentais para auxiliar no processo de resolução de problemas específicos. A sua aplicação, que pode ocorrer em diversos segmentos, faz com que sejam ferramentas de grande relevância. A utilização de SE, além de poder diminuir a dependência de profissionais, pode reduzir os custos com a manutenção desses profissionais ou propiciar que seus conhecimentos sejam aplicados de outras formas.

Através da análise do SECAJU foi possível concluir que o *Expert SINTA* é uma ferramenta prática, de fácil usabilidade e compreensão para o desenvolvimento de SE. A existência de máquina de inferência própria, e da automatização das consultas, faz com que o processo de desenvolvimento tenha como prioridade a aquisição e formalização do conhecimento. Outro fator importante da ferramenta é a existência de mecanismo de justificativa integrado.

A colaboração da especialista foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho, principalmente na parte de compreensão do domínio. A cultura do abacaxi possui alguns termos específicos complexos de entender para pessoas que não estão inseridas nesta área. Ao final do desenvolvimento, a especialista também fez as correções de texto das perguntas, a indicação pontos para serem retirados ou incrementados nas regras, além de definir o valor de confiança para cada regra.

Para trabalhos futuros, espera-se que o SECAXI possa ser revisado e atualizado periodicamente (a cada seis meses, por exemplo). A cultura do abacaxi ainda possui outras ameaças que não foram descritas nessa versão do sistema. Trata-se de algumas doenças como a podridão das raízes e a podridão aquosa e deficiências nutricionais como as de cobre e zinco que ainda não são tão presentes na cultura.

Outra situação a ser revista futuramente esta relacionada a limitação da ferramenta que foi apresentada na seção 4.4. Espera-se que o SECAXI possa ter seu conhecimento reaproveitado para ser desenvolvido em outra ferramenta com mais recursos de aplicabilidade.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, Adriana Bombassaro. **Protótipo de Um Sistema Especialistas Utilizando a Ferramenta Expert SINTA Shell para Auxílio no Setor de Suporte de uma Software House**. 2000. 82p. Bacharelado (Ciências da Computação). Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

BARRELA, Wagner Däumichen. **Sistemas Especialistas Modulados e Abrangentes para a Gestão de Operações**. 2000. 159p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

BASSETTO, Nayara Zago. **SERPA - Sistema Especialista Para Produção de Álcool**. 2006. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Faculdade de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BATOCCHIO, Maria Cristina Aranda. **Um Sistema Especialista Para Tomada de Decisão na Área de Marketing Estratégico**. 2002. 164p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BROTTO, Osvaldo César. **Um Sistema Especialista Probabilístico de Avaliação de Sucesso na Abertura de Novos Negócios**. 2009. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CNPAT, EMBRAPA, Grupo SINTA. **SECAJU: Sistema de Diagnóstico de Pragas e Doenças do Cajueiro**. Laboratório de Inteligência Artificial – LIA da Universidade Federal do Ceará – UFC. [s.a]. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/Sinta/sinta.zip>>. Acesso em 06 mar. 2011.

CUNHA, Getúlio Augusto Pinto da. Abacaxi: manejo cultural e mercado. In: SEMANA INTERNACIONAL DA FRUTICULTURA, FLORICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 10, 2003, Centro de Convenções de Fortaleza. Fortaleza, CE: Instituto de Desenvolvimento da Fruticultura e Agroindústria – Frutal, 2003. 127p. Disponível em: <<http://www.unitins.br/ates/arquivos/Agricultura/Fruticultura/Abacaxi/Abacaxi%20-%20Manejo%20Cultural%20e%20Mercado.pdf>>. Acesso em 18 out. 2010.

EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA TROPICAL. **A cultura do abacaxi**. – 2. ed. revisada e ampliada – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 91p.: il. – (Coleção Plantar; 49).

\_\_\_\_. **Manual de Identificação de Pragas, Doenças e Deficiências Nutricionais na Cultura do Abacaxi**. 2007. Revisada e ampliada em março de 2010. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/documentos/documentos\\_178.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/documentos/documentos_178.pdf)>. Acesso em 08 jun. 2011.

\_\_\_\_. **Perguntas e Respostas: Abacaxi**. EMBRAPA. [s.a.]. [Online]. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/index.php?p=perguntas\\_e\\_respostas-abacaxi.php](http://www.cnpmf.embrapa.br/index.php?p=perguntas_e_respostas-abacaxi.php)>. Acesso em 08 jun. 2011.

\_\_\_\_. **Produção brasileira de abacaxi em 2009**. EMBRAPA. 2010. Disponível em: <[http://www.cnpmf.embrapa.br/planilhas/Abacaxi\\_Brasil\\_2009.pdf](http://www.cnpmf.embrapa.br/planilhas/Abacaxi_Brasil_2009.pdf)>. Acesso em 08 jun. 2011.

HEINZLE, Roberto; FEITEN, Wantoir; WEISSHEIMER, Érico Olavo. Protótipo de um Sistema Especialista para Análise de Crédito de Pessoas Físicas. In: Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins, 5, 2003, Palmas, TO. **Anais do V Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins**. Palmas, TO: Centro Universitário Luterano de Palmas/ULBRA, outubro, 2003. p.169-178. Disponível em: <<http://www.infociencia.info/obras/ARTc872.pdf>>. Acesso em 24 nov. 2010.

LIA. **Expert SINTA**: uma ferramenta visual para criação de sistemas. Laboratório de Inteligência Artificial – LIA da Universidade Federal do Ceará – UFC. [s.a.]. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/Sinta/sinta.zip>>. Acesso em 06 mar. 2011.

\_\_\_\_. **Expert SINTA**: manual do usuário. Laboratório de Inteligência Artificial – LIA da Universidade Federal do Ceará – UFC. [s.a.]. Disponível em: <<http://www.lia.ufc.br/Sinta/sinta.zip>>. Acesso em 06 mar. 2011.

MATOS, Aristóteles Pires de. **Abacaxi**: fitossanidade. Organizador, EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA, (Cruz das Almas-BA) - Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. 77p.; il. - (Frutas do Brasil; 9)

NASCENTE, Adriano Stephan; COSTA, Rogério Sebastião Corrêa da; MEDEIROS COSTA, José Nilton. **Cultivo do Abacaxi em Rondônia**. [s.a]. EMBRAPA. [Online]. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Abacaxi/CultivodoAbacaxiRO/index.htm>>. Acesso em 16 mar. 2011.

NASCIMENTO, Raphael Luiz. Sistemas Especialistas. In: FERNANDES, Anita Maria da Rocha. **Inteligência Artificial**: noções gerais. Florianópolis, SC: Visual Books Editora, 2003. cap.2, p.11-26.

Ourofino Agronegócio. **Participação do PIB do agronegócio no PIB brasileiro**. 2011. [Online]. Disponível em: < <http://www.ourofino.com/defensivos-agricolas/noticias/2011/06/14/participacao-do-pib-do-agronegocio-no-pib-brasileiro.html> >. Acesso em 29 jun. 2011.

PEREIRA, Marcos Aurélio. **Sistema Especialista On-line de Auxílio ao Diagnóstico de Câncer de Próstata**. 2004. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Portal de Serviços e Informações do Estado do Mato Grosso. Cultura do abacaxi. 2010. [Online]. Disponível em: <[http://www.mt.gov.br/wps/portal?cat=Agricultura%2C+Extrativismo+e+Pesca&cat1=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM\\_Category%2FFruticultura%2Fb2f763804fe4aefc807f9494d1d615af%2FPUBLISHED&con=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM\\_Content%2FCultura+do+abacaxi\\_1%2F80d137804fe4b09d8d3c9d94d1d615af%2FPUBLISHED&showForm=no&siteArea=In\\_cio&WCM\\_GLOBAL\\_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portalmto/e-MatoGrosso/Estado/Informa\\_es/Cultura+do+abacaxi\\_1](http://www.mt.gov.br/wps/portal?cat=Agricultura%2C+Extrativismo+e+Pesca&cat1=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM_Category%2FFruticultura%2Fb2f763804fe4aefc807f9494d1d615af%2FPUBLISHED&con=com.ibm.workplace.wcm.api.WCM_Content%2FCultura+do+abacaxi_1%2F80d137804fe4b09d8d3c9d94d1d615af%2FPUBLISHED&showForm=no&siteArea=In_cio&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/portalmto/e-MatoGrosso/Estado/Informa_es/Cultura+do+abacaxi_1)>. Acesso em 29 jun. 2011.

REÁTEGUI, Eliseo Berni. **Um Modelo para Sistemas Especialistas Conexionistas Híbridos**. 1993. 123p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SAVARIS, Silvana Valdemara Aparecida Michelotto. **Sistema Especialista Para Socorros Para Cães**. 2002. 156p. Dissertação (Mestre em Ciência da Computação). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SILVA, Daniel Rodrigues da; POZZEBOM, Eliane; ALMEIDA, Maria Aparecida Fernandes. SEMAÇA – Sistema Especialista para Auxílio no Diagnóstico de Doenças da Maça e Macieira. In: Simpósio de Informática Planalto Médio, 3, 2002, Passo Fundo, RS. **Anais...** Passo Fundo, RS: Universidade de Passo Fundo, maio, 2002.

WEBER, Rosina de Oliveira. **Sistema Especialista Difuso para Análise de Crédito**. 1993. 78p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

## APÊNDICE I

**Tabela 2** - Produção brasileira de abacaxi em 2009 (EMBRAPA, 2010, p.1).

| <b>Estados</b>      | <b>Área Colhida<br/>(ha)</b> | <b>Rendimento<br/>(mil frutos)</b> | <b>Produção<br/>(frutos/ha)</b> |
|---------------------|------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Paraíba             | 8.918                        | 263.000                            | 29.491                          |
| Minas Gerais        | 8.707                        | 255.756                            | 29.374                          |
| Pará                | 9.978                        | 241.098                            | 24.163                          |
| Bahia               | 4.885                        | 121.127                            | 24.796                          |
| Rio Grande do Norte | 3.763                        | 120.337                            | 31.979                          |
| São Paulo           | 3.309                        | 68.401                             | 20.671                          |
| Rio de Janeiro      | 2.996                        | 67.257                             | 22.449                          |
| Goiás               | 2.226                        | 55.384                             | 24.881                          |
| Tocantins           | 2.273                        | 48.657                             | 21.407                          |
| Mato Grosso         | 1.743                        | 41.697                             | 23.923                          |
| Espírito Santo      | 1.812                        | 33.699                             | 18.598                          |
| Maranhão            | 1.211                        | 23.451                             | 19.365                          |
| Pernambuco          | 903                          | 22.960                             | 25.426                          |
| Amazonas            | 2.557                        | 22.378                             | 8.752                           |
| Sergipe             | 840                          | 20.136                             | 23.971                          |
| Ceará               | 556                          | 17.585                             | 31.628                          |
| Rondônia            | 659                          | 11.012                             | 16.710                          |
| Alagoas             | 564                          | 10.851                             | 19.239                          |
| Paraná              | 356                          | 8.345                              | 23.441                          |
| Rio Grande do Sul   | 475                          | 5.732                              | 12.067                          |
| Mato Grosso do Sul  | 241                          | 4.774                              | 19.809                          |
| Acre                | 319                          | 3.802                              | 11.918                          |
| Amapá               | 710                          | 2.159                              | 3.041                           |
| Roraima             | 130                          | 911                                | 7.008                           |
| Santa Catarina      | 27                           | 268                                | 9.926                           |
| Piauí               | 15                           | 150                                | 10.000                          |
| Distrito Federal    | 3                            | 68                                 | 22.667                          |
| <b>BRASIL</b>       | <b>60.176</b>                | <b>1.470.995</b>                   | <b>24.445</b>                   |