

IGOR RIBEIRO LIMA

**SOFTWARE PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA
DIAGNOSTICAR SUPERFÍCIES USINADAS EM
MADEIRA**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

IGOR RIBEIRO LIMA

**SOFTWARE PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA
DIAGNOSTICAR SUPERFÍCIES USINADAS EM
MADEIRA**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Área de Concentração:

Aplicações Móveis

Orientador:

Prof. Dr. Heitor Augustus Xavier Costa

Co-Orientador:

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

**Ficha Catalográfica preparada pela Divisão de Processo Técnico da Biblioteca
Central da UFLA**

Lima, Igor Ribeiro

Software para Dispositivos Móveis para Diagnosticar Superfícies Usinadas em Madeira / Igor Ribeiro Lima. Lavras – Minas Gerais, 2009. 51 p.

Monografia de Graduação – Universidade Federal de Lavras. Departamento de Ciência da Computação.

1. Aplicações Móveis. 2. Lógica Fuzzy. 3. Superfície Usinada em Madeira. I. LIMA, I. R. II. Universidade Federal de Lavras. III. Software para Dispositivos Móveis para Diagnosticar Superfícies Usinadas em Madeira.

IGOR RIBEIRO LIMA

**SOFTWARE PARA DISPOSITIVOS MÓVEIS PARA
DIAGNOSTICAR SUPERFÍCIES USINADAS EM
MADEIRA**

Monografia de graduação apresentada ao Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Ciência da Computação para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Aprovada em ___/___/_____

Prof. Dr. Sérgio Martins de Souza

Prof. Dr. Antônio Maria Pereira de Resende

Prof. Dr. José Reinaldo Moreira da Silva
(Co-Orientador)

Prof. Dr. Heitor Augustus Xavier Costa
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação	2
1.2. Objetivo	3
1.3. Metodologia de Desenvolvimento	4
1.4. Estrutura do Trabalho	5
2. MOBILIDADE	7
2.1. Considerações Iniciais	7
2.2. Importância	8
2.3. Vantagens e Desvantagens	10
2.4. Interface com o Usuário	12
2.5. <i>WebServices</i>	14
2.6. Considerações Finais	17
3. SISTEMA ESPECIALISTA	18
3.1. Considerações Iniciais	18
3.2. Estrutura de um Sistema Especialista	19
3.3. Representação do Conhecimento	20
3.4. Máquina de Inferência – Método de Mamdani	21
3.5. Classificação dos Sistemas Especialistas.....	22
3.6. Considerações Finais	23
4. USINAGEM DA MADEIRA.....	24
4.1. Considerações Iniciais	24
4.2. Operações de Usinagem	24
4.3. Qualidade da Usinagem	25
4.4. Qualidade de Superfícies Usinadas.....	26
4.5. Acabamentos Superficiais	27
4.6. Considerações Finais	28
5. WMacDiag Mobile – Sistema Especialista Móvel para Diagnosticar Superfícies Usinadas em Madeira	29
5.1. Considerações Iniciais	29
5.2. Arquitetura do WMacDiag Mobile.....	30
5.3. A Base de Regras do WMacDiag Mobile.....	31
5.4. Casos de Uso do WMacDiag Mobile	33
5.5. Calibragem do Software	33
5.5.1. Metodologia para Calibragem.....	35

5.5.2.	Confiabilidade da Metodologia de Calibragem.....	38
5.5.3.	Resultados Obtidos na Calibragem	40
5.6.	Apresentação do WMacDiag Mobile	40
5.7.	Considerações Finais	43
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
6.1.	Conclusões	45
6.2.	Contribuições	46
6.3.	Trabalhos Futuros	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1 – Método de Mamdani com Composição Max-Min (Fonte: LOPES <i>et al.</i> , 2005).....	22
Figura 3-2 – Função de Pertinência (Fonte: LOPES <i>et al.</i> , 2005).	22
Figura 5-1 – Arquitetura de Sistemas Baseados em Regras <i>Fuzzy</i> (Fonte: LOPES <i>et al.</i> (2005))	31
Figura 5-2 – Diagrama de Casos de Uso do Sistema	33
Figura 5-3 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Excelente .	36
Figura 5-4 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Regular	36
Figura 5-5 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Péssima	36
Figura 5-6 – Escolher o Tipo de Teste a ser Realizado	41
Figura 5-7 – Escolher a Calibragem da Usinagem dos Testes.....	42
Figura 5-8 – Calibragem	42
Figura 5-9 – Conjunto <i>Fuzzy</i> da Calibragem.....	42
Figura 5-10 – Entrada das Intensidades do Erro	42
Figura 5-11 – Conjuntos <i>Fuzzy</i>	43
Figura 5-12 – Nota da Superfície Usinada	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1 – Regras de Produção <i>Fuzzy</i> para o Cálculo da Intensidade do Erro	32
Tabela 5-2 – Planilha de Coleta de Notas da Qualidade das Superfícies Usinadas em Madeira.....	36
Tabela 5-3 – Variação do Percentual de Defeito em Relação a Cada Nota.....	37
Tabela 5-4 – Variação da Concentração de Defeito em Relação a Cada Nota	37
Tabela 5-5 – Variação do Defeito em Relação a Cada Nota	37
Tabela 5-6 – Variação de Cada Nota	37
Tabela 5-7 – Percentuais da Área e Concentração do Defeito de Cada Peça com as Respectivas Notas Geradas pelos Avaliadores e pelo Software.....	39

Software para Dispositivos Móveis para Diagnosticar Superfícies Usinadas em Madeira

RESUMO

Na qualificação de superfícies usinadas em madeiras, a norma ASTM D 1666-87,1995 é utilizada por pesquisadores e centros moveleiros. A principal limitação dessa qualificação está na subjetividade do método, que apresenta diferenças nos resultados de diferentes avaliadores. O objetivo deste artigo será apresentar um Sistema Especialista Móvel capaz de diagnosticar as superfícies usinadas em madeira. Para a implementação desse sistema, serão utilizados conceitos básicos da lógica *fuzzy* e algumas técnicas que viabilizam o cálculo com variáveis lingüísticas. A representação e o processamento do conhecimento utilizando variáveis lingüísticas são modelados e interpretados por meio de sistemas e modelo de inferência *fuzzy*. Além desses conceitos matemáticos, a linguagem de programação Java foi utilizada em sua versão *micro edition* (J2ME). O percentual e a intensidade dos defeitos da superfície usinada foram as duas variáveis de entrada no programa para a qualificação dessa superfície. O uso de Java promoveu maior portabilidade no que diz respeito à aplicabilidade do sistema no processo decisório do diagnóstico da superfície usinada. Os resultados preliminares mostraram que o software simulou o conhecimento humano e a experiência dos especialistas em madeira, manipulando as informações sobre a superfície usinada de forma inteligente. Assim, o Sistema Especialista Móvel será capaz de atribuir notas de avaliação para a superfície usinada apenas com o valor do percentual e intensidade de seus defeitos. Em suma, este software fornecerá suporte aos pesquisadores e aos centros moveleiros na qualificação da superfície usinada, padronizando as avaliações realizadas por diferentes profissionais, reduzindo o tempo e os custos da operação.

Palavras-chave: Sistema especialista, lógica *fuzzy*, superfície usinada em madeira

Mobile Specialist System for Diagnosing Wood Work Machine Surface

ABSTRACT

The ASTM D 1666-87 1995 standard is responsible by qualification of woodwork machine surface. This qualification is subjective and is used by researches and furniture sector. The paper objective is to present a Mobile Specialist System that can aid in the diagnosis of wood work machine surface. In its implementation, fuzzy logic concepts were used in the representation and processing of knowledge base. Besides, programming language Java was used in its micro edition version. The percentage and intensity values of the defects are the entry variables in software. Java made possible greatest mobility toward software, concerning the usability of the system in decision procedure of diagnosis of wood work machine surface. The preliminary results showed this software is able to give degrees for wood work machine surface, using the percentage and intensity values of the defects. This software could help the researches and furniture sector in the standardization of the degrees of the wood work machine surface, reducing the time and the costs of the machining process.

Keywords: Specialist system, fuzzy logic, wood work machine surface

1. INTRODUÇÃO

Com a crescente popularidade dos dispositivos e soluções móveis, muitas instituições públicas e privadas adotam essa tecnologia. O objetivo é melhorar a realização de suas atividades e ingressar na chamada “era da tecnologia móvel”. Esta crescente impulsiona, em paralelo, o crescimento da procura por soluções corporativas e, principalmente, para o desenvolvimento de software para auxiliar um especialista em um processo decisório. Usando mobilidade, estas instituições podem ter decisões mais ágeis, agregando o conceito de mobilidade ao conhecimento advindo da inteligência computacional [Moretti, 2009].

Em geral, a expressão inteligência computacional está associada ao desenvolvimento de sistemas especialistas. Estes sistemas são baseados em conhecimento, construídos com regras, reproduzindo o conhecimento do especialista, e utilizados para solucionar determinados problemas em domínios específicos. Nem todos os problemas devem ser resolvidos por meio de sistemas especialistas, pois há características que indicam se determinado problema deve ou não ser instrumentalizado por esta tecnologia. A análise do problema constitui-se no primeiro estágio do ciclo de desenvolvimento dos sistemas especialistas, contribuindo fortemente para o sucesso da implementação do sistema [Mendes, 1997].

Com a emergência desta técnica, evidenciaram-se alguns importantes aspectos, até então inexplorados, por exemplo, o aumento significativo da produtividade de um especialista, na execução de tarefas especializadas, quando assistido por um sistema inteligente. Outro aspecto relevante é a portabilidade destes sistemas especialistas, por serem passíveis de desenvolvimento e utilização em dispositivos móveis. Esta portabilidade torna o sistema especialista bastante popular e acessível [Mendes, 1997].

A excelência no desenvolvimento de um sistema especialista depende de fatores ligados à natureza do conhecimento envolvido, como a confiabilidade, a integridade, a ambigüidade e a estabilidade. Em uma situação ideal, é interessante ter uma aplicação na qual o conhecimento seja restrito a um domínio e as decisões sejam determinadas inteiramente por fatores mensuráveis que não mudam com o tempo. Dessa forma, a implementação de um sistema especialista se tornam mais fácil quando se conhece as

regras antecipadamente e estas são determináveis. O raciocínio deste ideal é: quanto mais sólido for o entendimento do domínio do especialista, mais confiáveis serão as decisões do sistema.

Sob esse ponto de vista, um sistema especialista para dispositivo móvel pode ser uma eficiente ferramenta para um engenheiro florestal durante a avaliação de superfície usinada, servindo de suporte durante a tomada de decisão no diagnóstico de superfície usinada em madeira. No diagnóstico de superfícies usinadas em madeiras, a norma americana ASTM 1666-87 (1995) é utilizada por pesquisadores e profissionais do setor. A principal limitação dessa qualificação está na subjetividade do método, que apresenta diferenças nos resultados gerados pelos diferentes avaliadores das diferentes instituições de pesquisa.

Segundo esta norma, a avaliação de superfícies usinadas por diferentes máquinas é feita visualmente de forma cuidadosa avaliando cada tipo e intensidade dos defeitos. Portanto, esta norma está em função do grau e da intensidade dos defeitos na superfície. As notas atribuídas a estas superfícies variam de 1 a 5 para a qualidade de diferentes superfícies usinadas. A qualificação pode ser uma tarefa complicada; de certa maneira, ela é uma comparação em que o avaliador confronta os dados reunidos com as informações disponíveis nessa norma.

Uma possível solução para minimizar a subjetividade deste método de avaliação é a criação de um sistema especialista móvel, que simula o conhecimento humano e a experiência do especialista em madeira. Assim, este sistema especialista será capaz de manipular as informações sobre a superfície usinada em madeira de forma inteligente e atribuir notas de avaliação para a superfície usinada apenas com o valor do percentual e intensidade de seus defeitos.

1.1. Motivação

A norma americana ASTM D 1666-87 (1995) é utilizada por pesquisadores e centros moveleiros na qualificação de superfícies usinadas em madeiras. A principal limitação dessa qualificação está na subjetividade do método, que apresenta diferenças nos resultados de diferentes avaliadores.

Tendo em vista esta limitação, pode-se observar que problemas atendidos por profissionais especialistas podem ser solucionados por sistemas especialistas móveis. Por exemplo, têm-se i) o diagnóstico das vias aéreas superiores e inferiores, por um médico e ii) o diagnóstico das superfícies de madeira usinadas, por um engenheiro florestal ou industrial madeireiro.

É importante salientar que, atualmente existem em outros domínios da ciência modelagem para sistema especialista, por exemplo: i) Modelagem difusa de um sistema especialista médico: avaliação dos fatores de internação em crianças queimadas (WESTPHAL, 2004); ii) Sistema especialista para análise de crédito de pessoas físicas (HEINZLET et al., 2003); iii) MobileX-DAVIS: sistema especialista móvel para o auxílio ao diagnóstico de pacientes com doenças nas vias superiores e inferiores (JUNQUEIRA, 2006).

Nesse contexto, o sistema especialista móvel MobileX-DAVIS pode auxiliar no diagnóstico de doenças das vias aéreas superiores e inferiores ajudando o médico a tomar decisões e optar por exames laboratoriais mais detalhados. Esse sistema tem a finalidade de simular a atuação de um médico no diagnóstico de pacientes que apresentam sinais e sintomas de doenças das vias aéreas superiores e inferiores, a partir de informações fornecidas por especialistas de área médica. Assim sendo, para o auxílio na qualificação de superfícies usinada, um sistema especialista móvel torna-se útil para a diminuição da subjetividade do método. Nesse caso, os valores do percentual e intensidade dos defeitos da superfície usinada são os parâmetros necessários para a qualificação da superfície. Estes parâmetros serão fornecidos pelo profissional treinado na área de madeira.

Um ponto importante deste trabalho é minimizar a subjetividade do método de avaliação sugerido pela norma americana na qualificação de superfície usinada em madeira, tendo como parâmetro de entrada do sistema os valores do percentual e intensidade dos defeitos, buscando obter uma padronização das avaliações realizadas por diferentes profissionais e a redução do tempo e os custos na operação de usinagem de madeira.

1.2. Objetivo

O objetivo deste trabalho é i) apresentar o desenvolvimento de um sistema especialista móvel capaz de diminuir as dificuldades encontradas no diagnóstico e na

classificação da superfície usinada em madeiras e ii) fornecer suporte aos pesquisadores e aos centros moveleiros na padronização das avaliações realizadas por diferentes profissionais.

Como objetivos específicos, podem ser citados:

- Realizar estudo mais aprofundado da linguagem de programação Java em sua versão *micro edition* (J2ME);
- Averiguar características da nova tendência moderna: aplicativos e dispositivos móveis;
- Realizar levantamento de técnicas de inteligência artificial, em especial, a lógica *fuzzy*, abordando o modelo de Mamdani;
- Estudar técnicas de usinagem e de qualificação da superfície da madeira.

1.3. Metodologia de Desenvolvimento

Seguindo o modelo apresentado por Jung (2004), com relação ao tipo da pesquisa, este trabalho pode ser classificado: i) quanto à sua natureza como aplicada, pois objetiva aplicar os conhecimentos básicos na geração de um produto; ii) quanto aos objetivos como exploratória, pois tem por finalidade observar, registrar e analisar vários fatores; iii) quanto aos procedimentos como experimental, pois utiliza protótipos, simulação e modelagem; e iv) quanto ao local de realização como pesquisa em laboratório, pois é possível controlar as variáveis que podem intervir no experimento.

Para a implementação do software, foram realizados estudos sobre a linguagem de programação Java em sua versão *micro edition* (J2ME). Como fonte de estudo, livros específicos relacionados à pesquisa e tutoriais sobre Java do site oficial da Sun Microsystems¹ foram lidos.

Houve constante preocupação com relação à metodologia de desenvolvimento do código fonte deste trabalho, visando facilitar a sua manutenção e a sua evolução. O paradigma de programação usado foi orientação a objetos e a linguagem de programação foi J2ME (*Java Micro Edition*). Foram usados a IDE (*Integrated Development*

¹ java.sun.com

*Environment*²) NetBeans 6.1 e o kit de desenvolvimento Java versão 6 (*JDK – Java Development Kit*³).

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário realizar estudos de lógica *fuzzy* e das técnicas de usinagem de madeira propostas pela norma ASTM 1666-87 (1995). O estudo sobre a lógica *fuzzy* permitiu a modelagem da representação e processamento do conhecimento. Para a criação da base de conhecimento, foi utilizado o conceito de variáveis linguísticas e a manipulação destas variáveis foi feita por meio do modelo de inferência *fuzzy*, neste caso, o modelo de Mamdani.

Para a calibragem do sistema especialista desenvolvido, a seguinte metodologia foi adotada: foram preparados 52 corpos-de-prova de madeira, com diferentes tipos de qualidade de usinagem. Para conseguir diferentes tipos de qualidade de superfícies usinadas, os corpos-de-prova foram usinados com diferentes velocidades de avanço⁴. Essa metodologia serviu para a obtenção de dados que possibilitou a calibragem de sistema especialista de qualificação de superfícies usinadas em madeiras.

Após a implementação e a calibragem do software, foram realizados testes por outras pessoas para comprovar a efetividade do sistema especialista. De acordo com os resultados obtidos nos testes, o ele obteve resultados satisfatórios e significativos.

Para facilitar o andamento do trabalho, aconteceram reuniões constantes entre o orientador, o co-orientador e o orientado para discussão a respeito do desenvolvimento do projeto, em especial coleta de artigos e de periódicos na área de sistemas especialistas e usinagem de madeira.

1.4. Estrutura do Trabalho

Além deste capítulo, este trabalho está organizado em mais 5 capítulos.

² <http://www.netbeans.org/>

³ <http://java.sun.com/javase/downloads/index.jsp>

⁴ Velocidade com que se avança a madeira e é expressa em metros por minuto (m/min) Isto é importante, pois atua diretamente no acabamento superficial da madeira (<http://www.franzoi.com.br/informacoes-secao-fresas.php>).

O capítulo 2 aborda a importância do uso da mobilidade e os cuidados que se deve ter para o desenvolvimento de aplicações móveis, levando em consideração vantagens, desvantagens e importância com a interface com o usuário.

O capítulo 3 apresenta um breve resumo sobre a história dos primeiros sistemas especialistas, como é a sua estrutura e como é a representação do conhecimento e mostra como é o funcionamento da máquina de inferência.

O capítulo 4 apresenta conceitos sobre a usinagem da madeira e a importância da qualidade da usinagem e da qualidade de superfícies usinadas.

O capítulo 5 apresenta o sistema especialista desenvolvido com a descrição do processo de elaboração, as ferramentas utilizadas, a sua funcionalidade e os conceitos envolvidos.

O capítulo 6 apresenta conclusões, contribuições e sugestão de trabalhos futuros.

2. MOBILIDADE

2.1. Considerações Iniciais

Atualmente, vive-se em um mundo em que a informação é a principal ferramenta das pessoas e das empresas para garantirem a sua sobrevivência no mercado. Este novo cenário mundial iniciou-se com a chegada da internet, em meados da década de 90 [Assis, 2003]. Considerada o maior repositório de informações do mundo, a internet permite a troca de conhecimentos de maneira rápida e fácil.

Mais que a própria internet, a tecnologia móvel forma a base da principal revolução tecnológica do século XXI. Esta tecnologia permite ao indivíduo se comunicar a qualquer momento e em qualquer lugar. A mobilidade muda a forma dos seres humanos interagirem, afetando suas relações sociais, familiares, afetivas e profissionais [Promon, 2005]. Diante disso, vale ressaltar que os dispositivos móveis tornam-se cada vez mais importantes no mundo da tecnologia da informação.

Alguns tipos de aplicações procuradas são para o acesso a informações e notícias, leituras de correio eletrônico, transações bancárias e entretenimento. Nestes casos, a conveniência e a funcionalidade oferecidas pelos dispositivos móveis são as principais características que muitas pessoas optam pelo uso da mobilidade [Lee *et al.*, 2005]. Tem-se, também, o uso da internet por estes dispositivos, caracterizando o conceito de internet móvel ou internet sem fio.

Com a miniaturização dos dispositivos móveis, novas maneiras para os usuários interagirem com os seus computadores foram fornecidas. Com isso, houve necessidade de desenvolvimento de aplicações móveis para melhor conforto desses usuários [Proença, 2006].

Segundo Lee *et al.* (2005), uma aplicação móvel antes de ser projetada, desenvolvida e implantada deve ser planejada de forma correta e eficiente. Ela é implementada por razões de negócio, por exemplo, melhorar a produtividade e aumentar a precisão, além de outras razões, tais como comunicação e entretenimento.

No desenvolvimento de aplicações móveis, devem ser considerados alguns fatores, tais como: mobilidade, contexto de negócio, arquiteturas, infra-estrutura móvel, interface com o usuário de cliente móvel, aplicações clientes móveis, transferência de dados cliente-servidor, segurança e gerenciamento do desenvolvimento [Proença, 2006].

Este capítulo apresenta a necessidade de buscar melhorias na computação móvel e as razões que levam estes dispositivos de última geração não pararem de crescer. A seção 2.2 relaciona a importância do uso da mobilidade. A seção 2.3 aborda vantagens e desvantagens no desenvolvimento de aplicativos para dispositivos móveis. A seção 2.4 aponta certos cuidados que se deve ter com a interface de usuário no desenvolvimento de aplicações móveis. A seção 2.5 apresenta conceitos e definição de *WebServices*.

2.2. Importância

A tecnologia da informação vem passando por uma grande revolução nos últimos anos, evoluindo consideravelmente dos primeiros computadores centrais até os atuais sistemas distribuídos. Com isso, os dispositivos móveis estão se tornando mais poderosos e ao mesmo tempo mais acessíveis aos consumidores, desde grandes multinacionais a pequenos usuários [Proença, 2006].

A mobilidade está ficando cada vez mais necessária na vida das pessoas por causa de inúmeros serviços que ela proporciona aos usuários. Os investimentos em tecnologias e em aplicações móveis têm sido um dos mais lucrativos nos últimos anos. O número de profissionais que utilizarão tecnologias móveis, como aparelhos celulares, *handhelds* e *laptops*, deve crescer mais de 20% nos próximos quatro anos, atingindo 878 milhões de pessoas [Instituto de Desenvolvimento Cultural – IDC, 2007].

Os primeiros dispositivos criados que utilizavam redes sem fio eram ferramentas de finalidade especial para alguns trabalhadores móveis e consumidores ricos, por causa de seus altos custos. A tecnologia móvel oferece conectividade que outros dispositivos não possuem e, por isso, tem sido cada vez mais utilizada para uso pessoal e profissional [Proença, 2006].

A rede sem fio consiste em milhões de dispositivos pequenos e portáteis, prontamente disponíveis sempre e onde quer que um usuário necessite de informação.

Computadores de mão, telefones inteligentes e dispositivos similares estão se tornando cada vez mais sofisticados com opções de conectividade sem fio. Muitos são os fins para utilizar essa tecnologia, tais como comunicação, trabalho, entretenimento, educação e localização [Rischpater, 2001].

A necessidade de disponibilizar informações cada vez mais rapidamente e onde quer que um usuário necessite faz com que o uso da rede sem fio cresça a cada dia. Em vários dispositivos, a rede sem fio se faz presente, desde simples telefones ou dispositivos similares a computadores portáteis.

Os investimentos em Tecnologia da Informação são potencial gerador de receita para o mercado atualmente, tanto para os produtores de tecnologia quanto para as empresas que utilizam recursos inovadores nos processos de produção, passando inclusive pelo mercado investidor, responsável pela difusão de novas tecnologias no mercado [Compera, 2006]. Para complementar este potencial de crescimento, grandes empresas nacionais estão em produção de soluções que auxiliam no controle da comunicação e da transmissão de informações, como estoque, vendas, distribuição, informações financeiras para bancos e informações operacionais no setor de saúde [Proença, 2006].

Pode-se perceber em muitas áreas da sociedade que os sistemas de computação e os sistemas de comunicação estão se tornando incrementalmente interdependentes. Essa tendência força a comunidade de computação não só a desenvolver sistemas inovadores, mas a redefinir os sistemas existentes em termos dos papéis que estes representam [Proença, 2006].

Dentro deste contexto, a computação móvel está aumentando em importância e em presença. O desenvolvimento é o resultado de avanços tecnológicos em muitos domínios. Prevê-se que redes de comunicação sem fio, combinadas com o desenvolvimento de computadores portáteis, tais como, *notebook* e PDA (*Personal Digital Assistant*), permitirão ao usuário deslocar-se junto com seu ambiente computacional e ter um acesso constante às fontes de informações [DEV MEDIA, 2006].

2.3. Vantagens e Desvantagens

Diversas e excelentes são as razões para usar aplicações móveis hoje em dia. Algumas afetam diretamente a vida particular de seus funcionários, enquanto outras afetam a sua interação com os clientes e com as aplicações de negócios existentes, da mesma forma que outras afetam a parte financeira do negócio [Rischpater, 2001].

Existem vantagens na utilização de novas aplicações móveis. Sob a ótica da operadora, novos serviços equivalem a mais receitas dos mesmos assinantes. A luta por extrair mais dinheiro destes assinantes está apenas começando no Brasil, mas é fortemente travada especialmente na Europa e Ásia, onde os elevados níveis de penetração de telefonia tornam muito difíceis a aquisição de novos clientes. Diferenciação via serviços tornou-se um dos poucos modos de tirar os clientes de outras operadoras e manter os próprios clientes felizes.

Sob a ótica do usuário final, seja ela pessoa física ou corporativa, existem diversas vantagens advindas das tecnologias móveis, acesso a informações de necessidade instantânea em tempo real em qualquer lugar e de forma simples e rápida [Castaldelli, 2003]. Algumas vantagens são [Lee *et al.*, 2005]:

- As aplicações móveis contribuem na vida pessoal e na vida profissional das pessoas. Por exemplo, com um celular, os pais podem saber notícia de seus filhos e as pessoas podem se comunicar com algum socorro para o carro que quebrou no meio de uma viagem de negócios ou de passeio;
- Aumentar a flexibilidade e a acessibilidade dos funcionários, fornecendo soluções móveis. Um vendedor, por exemplo, pode se comunicar com a empresa no ato da venda para consultar produtos, preços e dados do cliente, melhorando o tempo e a eficiência da venda;
- Fornecendo informações atualizadas ao funcionário, irá aprimorar a sua segurança. Como exemplo, tem a execução de um serviço em uma mina, o funcionário que se encontra dentro dela pode não perceber que ela está desabando e, com um dispositivo móvel, o funcionário é avisado e poderá deslocar-se mais rápido;
- A melhoria da eficiência do fluxo de trabalho e da produtividade pode ser obtida com o uso de aplicações móveis. Por exemplo, um vendedor normalmente anota os pedidos de

compra em um papel e, depois, passa para o computador para ser feita a solicitação na empresa. Isso pode estar sujeito a erros, pois precisa ser feito duas vezes. Com o uso de uma aplicação móvel, o funcionário precisará fazer só uma vez, reduz a quantidade de tarefas repetitivas e permite ao funcionário ser mais eficiente e produtivo;

- Melhorar a atualização e a precisão de dados é um dos benefícios do uso de aplicações móveis, pois uma força de trabalho mobilizada pode receber e fornecer informações para os sistemas de negócios existentes de forma oportuna. O número de erros também pode reduzir durante a coleta de dados e no processo de criação dos relatórios. Portanto, a atualização e a precisão dos dados são melhoradas;
- Com as aplicações móveis, é possível aprimorar os processos de negócios. Por exemplo, uma equipe de trabalho que dispõe da tecnologia móvel como um canal adicional que fornece e que recebe dados de/para sistemas de negócios pré-existentes. Agindo assim, as empresas tornam-se capazes de descobrir melhorias e eliminar redundâncias nos fluxos de trabalhos existentes;
- As empresas podem utilizar dispositivos móveis para auxiliá-las a localizar, a rastrear e a monitorar equipamentos e outros itens. Com isso, ela poderá melhorar o controle de inventário e os custos de lançamento;
- A satisfação do cliente é obtida quando os processos de serviços se tornam mais eficientes e mais rápidos. Isso, por sua vez, pode levar a um incremento na rentabilidade da empresa.

Existem situações nas quais podem ser observados alguns pontos fracos. Rischpater (2001) apresenta algumas razões de negócios, sociais e de privacidade social e ambiental que devem se levadas em consideração:

- Considerações de negócio. A implementação da mobilidade pode ter um alto custo. Antes de investir na tecnologia, a empresa deverá ter um entendimento completo do lucro ou do prejuízo que poderá ser retornado a empresa. Os fatores que contribuem para um alto custo do investimento são: custo de hardware e software, custo de comunicação, custo de desenvolvimento e implantação, ruptura de serviços existentes, custo de operações e custos diversos;
- Considerações sociais. A utilização de dispositivos móveis passou de simplesmente um recurso em caso de emergência para um meio de dependência ou um meio de obsessão;

- Privacidade e considerações de segurança. Embora a utilização de dispositivos móveis seja algo muito conveniente, é necessário que se leve em consideração as questões de privacidade e segurança na transferência de dados. Os dispositivos móveis não são totalmente seguros, pois podem ser perdidos e os dados armazenados neles podem ser comprometidos se as precauções necessárias para mantê-los em segurança não forem tomadas;
- Considerações ambientais. Os dispositivos móveis apesar de serem pequenos não são descartáveis, seus componentes são tóxicos. Muitas substâncias presentes nesses dispositivos estão relacionadas a diversos tipos de câncer e a distúrbios neurológicos e podem impor sérios problemas ao meio ambiente.

2.4. Interface com o Usuário

A interface com o usuário é o elemento do sistema que medeia a interação entre o ser humano e o sistema [Faulkner, 1997]. Ela deve proteger o usuário das idiossincrasias do sistema e conduzi-lo a formar um modelo mental sobre o modo de funcionamento do sistema [Alçada, 2004]. Uma boa interface apresenta ser uma forma natural de desempenhar a tarefa. O sistema deve adaptar-se às necessidades do usuário e não esperar que ele se adapte à sua forma de funcionamento.

Existem alguns princípios de *design* de interfaces para qualquer tipo de dispositivo. Por exemplo, uma interface deve possuir [Faulkner, 1997]:

- Naturalidade. Ela deve refletir a semântica do usuário e evitar o pré/pós-processamento humano e utilizar a linguagem da tarefa em um tom claro e pessoal, mas evitando a intimidade. A aplicação deve adaptar-se ao usuário e não o contrário;
- Consistência. Ela deve corresponder e reforçar as expectativas do usuário, que foram criadas em interações anteriores no sistema, manter fixa a localização de comando e utilizar a mesma linguagem das mensagens localizadas no mesmo local. O usuário não deve aprender um método para uma área e outro método para outra área. A apresentação da informação deve ser consistente;
- Relevância para executar sua função. Ela deve pedir informação relevante à tarefa e evitar a introdução de demasiada informação. O sistema não deve pedir o que foi introduzido em outra área. A informação disponibilidade na tela após a tarefa deve ser

curta e relevante. O usuário deve usar o mínimo de esforço associado ao uso do teclado, maximizando o desempenho e minimizando a ocorrência de erros;

- Suporte. Ela deve ajudar a completar a tarefa, isto é, fornecer ajuda sobre como e o que vai resultar a operação. Além disso, ela deve informar sobre o estado atual do sistema, respondendo às perguntas do usuário sobre onde está, como chegou a essa área, o que está acontecendo, como pode sair ou qual deveria ser o próximo passo do usuário;
- Flexibilidade. Ela deve adaptar-se às diferenças nos requisitos, às diferenças das preferências e aos diferentes níveis de desempenho de cada usuário, de modo a permitir maior adaptabilidade da interface ao usuário. Além disso, ela deve ter vários níveis de ajuda e considerar requisitos diferentes em relação à mesma tarefa.

Considerando a interface homem-máquina, pode-se dizer que os princípios citados anteriormente estabelecem vários fatores como a facilidade de uso e aprendizagem por parte do usuário e maior desempenho e satisfação do usuário na realização de tarefas [Cobucci, 2006]. Todavia, enquanto a diversidade humana é um aspecto positivo no que tange ao enriquecimento sócio-cultural e troca de experiências dos seres humanos, ela constitui-se em um desafio aos designers de interface. Nesse sentido, um conjunto de características é considerado [Silva Filho, 2004]:

- Habilidade de percepção e de cognição: capacidade de memorização, atenção e solução de problemas;
- Fatores que afetam o desempenho motor e perceptivo: fadiga, ansiedade, medo, envelhecimento;
- Diferenças culturais: descrição de datas, horário, peso (e outras medidas), endereços e significado de cores e ícones;
- Deficiências nos usuários de equipamentos: auditiva, motora, cognitiva e de fala.

O *design* de interface tem sido uma atividade que requer cada vez mais o conhecimento da população usuária. Portanto, torna-se imperativo conhecer o perfil de usuário de um dispositivo a fim de que as características dos dispositivos e sua interface estejam de acordo com sua população de usuários. Desconsiderar esta simples regra significa conduzir um produto ao insucesso ou à frustração de expectativas [Cobucci, 2006]. A interface de cliente móvel é elaborada recorrendo-se a algumas noções de *design* da interface e de disposição das informações a serem exibidas [Alçada, 2004]. Nos

dispositivos móveis, os formulários são as várias telas apresentadas ao usuário e os controles são os elementos interativos. Vale ressaltar que uma boa interface melhora a experiência do usuário; uma interface pobremente projetada pode pôr em risco o uso da aplicação móvel.

Uma interface gráfica atraente é sem dúvida um pré-requisito para o sucesso de qualquer aplicação. Entretanto, quando o assunto é interface para dispositivos móveis, existe outro fator muito importante: a acessibilidade aos recursos do aplicativo. Assim, o desenvolvedor de aplicações para dispositivos móveis deve estar atento a estes fatores de maneira tal que os *menus* da interface gráfica tenham boa navegabilidade e os gráficos não consumam muitos recursos, o que prejudica a desempenho da aplicação [WebMobile, 2005]. Assim, essa interface é a área primária de interação, onde um usuário insere as informações em um dispositivo móvel utilizando um ou vários periféricos, como um teclado, *mouse*, *stylus* ou caneta.

2.5. WebServices

No emprego da Web como forma de integração entre aplicações diferentes, é necessária a escolha de uma linguagem em comum. Ou seja, é necessária a utilização de uma solução na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes, desenvolvidas em plataformas heterogêneas. Com base nessa necessidade, surge o conceito de *WebServices* que consistem em uma tecnologia que permite novas aplicações interajam com aquelas existentes e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam compatíveis, ou seja, são compostos por componentes que gerenciam a parte de negócio das aplicações a ele envolvidas [Pamplona, 2006].

Na visão de Urresti (2002), *WebService* é um sistema de software desenvolvido para suportar comunicação de aplicações entre máquinas. Além disso, o grande objetivo dos *WebServices* é permitir que a comunicação seja possível entre máquinas heterogêneas, promovendo a interoperabilidade entre plataformas distintas com uso de normas baseadas em XML (*eXtensible Markup Language*). Assim, os *WebServices* são componentes que permitem as aplicações enviarem e receberem dados onde cada uma pode ter a sua própria linguagem, traduzida em uma linguagem universal: a XML.

Os *WebServices* permitem que a integração de sistemas seja realizada de maneira compreensível, reutilizável e padronizada. Eles são uma tentativa de organizar um cenário carregado por uma grande variedade de aplicativos, fornecedores e plataformas. Para as empresas, *WebServices* podem trazer agilidade para os processos e eficiência na comunicação entre cadeias de produção ou de logística. Toda e qualquer comunicação entre sistemas passa a ser dinâmica e, principalmente, segura, pois não há intervenção humana [Proença, 2006].

A simplificação do processo de integração de aplicações é o grande objetivo de *WebServices*. Rompendo barreiras entre sistemas, arquiteturas, hardware e outros aspectos, *WebServices* entregam promessas antigas da perspectiva de integração. As facilidades técnicas apresentadas pelos *WebServices* são [Urresti, 2002]:

- O uso de XML. XML é o formato pressuposto para envio e recebimento de informações, facilitando a troca e a transformação de informação;
- Não necessitam de *brokers*. *WebServices* não necessitam do uso de *brokers* (servidor especial de tratamento de requisições a objetos remotos), eliminando um dos fatores de interoperabilidade;
- Transporte da informação via HTTP. *WebServices* usam tipicamente o protocolo HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) para transportar seus dados. A grande limitação é a sua baixa eficiência em termos de robustez, mas, nesses casos, é possível usar outros protocolos de transporte;
- Independência de plataforma e de linguagem de desenvolvimento. Não há requisitos de plataforma, permitindo flexibilidade no desenvolvimento e simplificação do processo de integração entre ambientes heterogêneos.

O que difere *WebServices* das demais arquiteturas é suas características de implementação: os protocolos que compõem a arquitetura baseiam-se principalmente em padrões aceitos e adotados pelo mercado – o protocolo HTTP e o padrão de representação de dados XML – [Amaral, 2002]. As bases para a construção de um *WebServices* são os padrões XML e SOAP (*Simple Object Access Protocol*). O transporte dos dados é realizado, normalmente, via protocolo HTTP (o padrão não determina o protocolo de transporte). Os dados são transferidos no formato XML, encapsulados pelo protocolo SOAP.

O uso do protocolo HTTP para a troca de mensagens faz com que qualquer *WebService* possa, sem dificuldades, atender requisições por *WebServices* como se fosse um *broker* ou registros de objetos [Freire, 2002]. XML é considerada uma boa linguagem para a criação de documentos com dados organizados de forma hierárquica, como se vê frequentemente em documentos de texto formatados, imagens vetoriais ou bancos de dados [Amaral, 2002].

O protocolo que permite as chamadas entre objetos escritos em linguagens distintas é o SOAP, um protocolo simples, que define chamadas de procedimentos e respostas na forma de elementos XML. O SOAP baseia-se na idéia de um mecanismo de RPC (*Remote Procedure Call*) em XML [Urresti, 2002]. As mensagens trocadas entre as aplicações usam o formato SOAP e, deste modo, tentam normalizar o tradicional RPC. Assim, é possível que duas aplicações, que usem tecnologias diferentes (por exemplo, Java e .Net), comuniquem-se sem problemas [Sun, 2006]. A desvantagem de usar esta tecnologia é o uso de um formato de texto (XML) o qual faz com que as mensagens transmitidas sejam maiores e, por isso, use maior largura de banda.

A adoção de padrões abertos e universalmente aceitos tem como objetivo garantir dois pontos que foram esquecidos nos padrões de distribuição de objetos anteriormente propostos [Amaral, 2002]: a interoperabilidade e a manutenção de código legado. A interoperabilidade é um dos principais pontos de destaque dos *WebServices*: na grande disputa por mercado entre a Sun e a Microsoft, os *WebServices* surgiram como uma ponte de integração entre serviços propostos nas duas arquiteturas (.Net e J2EE) [Freire, 2002].

O aproveitamento do código aberto escrito, por exemplo, em Java, e a sua transformação em uma funcionalidade pronta para ser utilizada por outro programa escrito em qualquer linguagem é o mais estimulante na arquitetura *WebService*. Como os componentes acessados e que utilizam os protocolos da arquitetura são descritos usando a linguagem XML, o cliente pode ser escrito em uma linguagem diferente daquela usada pelo provedor de serviços – a implementação dos protocolos da arquitetura *WebServices* nas diversas plataformas de programação se encarrega de promover esta conversão transparente dos dados [Pamplona, 2006].

A criação de interfaces gráficas para os usuários não faz parte do conceito de *WebService*, deixando esta parte para outras empresas ou pessoas desenvolverem. *WebServices* disponibilizam serviços somente para desenvolvedores que chamam métodos usando XML [Freire, 2002]. Analisando as inúmeras razões para usar *WebServices*, podem-se destacar [Urresti, 2002]:

- Interoperabilidade – permite ligações entre componentes de software que podem estar em diferentes empresas e residir em diferentes infra-estruturas;
- Economia – permite a reciclagem de componentes, não é preciso instalação nem uma integração forte deles;
- Automatização – não é necessária intervenção humana mesmo em transações complexas;
- Acessibilidade – sistemas legados e aplicações internas são expostos e podem ser cedidas na Web;
- Disponibilidade – serviços em qualquer dispositivo, em qualquer lugar, a qualquer hora;
- Escalabilidade – não existem limites no âmbito das aplicações nem na quantidade de aplicações heterogêneas.

2.6. Considerações Finais

A utilização de dispositivos móveis tornou-se quase indispensável e, acima de tudo, acessível à maioria das pessoas. Atualmente, milhares de pessoas utilizam a tecnologia móvel, desde usuários com fins comerciais a crianças para jogos, mensagens, internet, comunicação, dentre outros.

Apesar de mobilidade ser uma tecnologia recente, vários projetos são desenvolvidos para dispositivos móveis. A cada dia mais empresas estão surgindo no mercado da mobilidade. Percebe-se que, no momento, vem sendo um dos negócios mais bem sucedidos da economia mundial.

A tecnologia móvel, embora seja uma área de muito investimento e de muito estudo, ainda não é eficiente em termos de portabilidade, funcionalidade, usabilidade ou conectividade. Alguns dispositivos apesar de serem leves ainda são grandes e incômodos e, além disso, não são capazes de funcionarem por muito tempo, precisando ser recarregados.

3. SISTEMA ESPECIALISTA

3.1. Considerações Iniciais

Sistemas especialistas são sistemas computacionais baseados em conhecimentos específicos de um determinado domínio e, por consequência, simulam a atuação de um especialista do domínio em questão. O conhecimento utilizado pelos sistemas especialista possui embasamento teórico aprofundado, além de heurísticas que se mostram eficazes na resolução de problemas [Luger, 1998].

A grande vantagem dos sistemas especialistas em relação aos sistemas convencionais é sua orientação voltada para o conhecimento humano do domínio da aplicação. Um sistema especialista provido de grande base teórica sobre um determinado domínio pode solucionar diversos problemas onde um sistema desenvolvido de maneira convencional não seria capaz. Neste último, o conhecimento está codificado de maneira imutável e seqüencial podendo ser modificado apenas com alteração de código fonte que, dependendo do tamanho da aplicação, pode se tornar extenso e de difícil manutenção [Rehm, 2005].

Além de outros ramos da inteligência artificial, como Redes Neurais e Algoritmos Genéticos terem dado grandes contribuições, o ramo de sistemas especialistas foi o primeiro a possibilitar soluções mais factíveis para problemas mais usuais. Dentre as áreas da inteligência artificial, a área dos Sistemas Especialista foi a primeira a ter aplicação comercial [Krishnamoorthy; Rajeev, 1996]. Um dos primeiros sistemas especialistas desenvolvidos foi o DENDRAL, na universidade de Stanford em meados da década de 1960. Projetado para inferir estruturas moleculares de amostras, o DENDRAL utiliza heurísticas baseadas em experiências de especialistas químicos para contornar o problema de espaço por causa ao tamanho das moléculas [Bittencourt, 2001].

Outro sistema especialista de fundamental importância é o MYCIN (Feigenbaum; Englemore, 1993). Ele foi desenvolvido na década de 1970, também na universidade de Stanford, e seu projeto influenciou a maneira como os sistemas especialistas seriam desenvolvidos. Seu objetivo inicial era diagnosticar e recomendar tratamentos para doenças infecciosas no sangue.

Além desses sistemas, o PLIDIS, para controle de emissão de poluentes, o ITA, para automação de tarefas de inspeção de robôs, e o PROSPECTOR, para auxiliar os geólogos na prospecção mineral, são outros exemplos das diversas áreas onde existem sistemas especialistas [Crippa, 2005; Bittencourt, 2001].

Este capítulo apresenta breve resumo da história dos primeiros sistemas especialistas e mostra conceitos sobre essa forma de resolver problemas. A seção 3.2 mostra como um sistema especialista é estruturado. A seção 3.3 explica sucintamente como é a representação do conhecimento. A seção 3.4 apresenta a máquina de inferência utilizada na implementação do trabalho. A seção 3.5 trata da classificação dos sistemas especialistas.

3.2. Estrutura de um Sistema Especialista

A estrutura de um sistema especialista é baseada em uma estrutura modular. A arquitetura dos sistemas especialistas muitas vezes provê reaproveitamento dos módulos entre diferentes soluções. Sua composição pode ser dividida em [Junqueira, 2006]:

- Base de Conhecimento.

A Base de Conhecimento tem como objetivo principal representar conceitos significantes ao problema e suas relações dentro do domínio da aplicação em uma linguagem formal. Assim, a consistência destes conceitos e de seus relacionamentos é fundamental pra o sucesso do sistema. A Base de Conhecimento é composta pelo conhecimento geral necessário para solucionar problemas de um determinado domínio (base de regras) e dados do problema em questão (memória de trabalho) [Junqueira, 2006]. Durante o processo de aquisição do conhecimento, a figura do engenheiro do conhecimento se faz altamente necessária. Ele é o responsável por extrair o conhecimento do especialista humano e organizá-lo de forma lógica e concisa para posterior inclusão na base de conhecimento. Somente após a aquisição do conhecimento, o modelo de representação e os métodos de busca são definidos. Dentre os principais problemas encontrados na aquisição do conhecimento está a dificuldade dos especialistas em expressar de forma teórica determinados procedimentos adquiridos durante a vivência do trabalho;

- Máquina de Inferência.

O Motor de Inferência é a base de raciocínio dos sistemas especialistas, em outras palavras, é o intérprete da base de conhecimentos. No motor de inferência, são

definidos os métodos que processarão o conhecimento armazenado na base de conhecimento [Rehm, 2005]. Nos sistemas com conhecimento baseado em regras, os métodos de inferência mais comuns são [Cawsey, 2005]: i) encadeamento progressivo (*forward-chaining*), orientado por dados, e ii) encadeamento regressivo (*backward-chaining*), orientado por objetivo. Apesar de ambos obterem as mesmas soluções para os mesmos problemas, a eficiência do sistema pode ser comprometida dependendo do método escolhido e do tipo do problema [Luger, 1998];

- Interface com o Usuário.

Por usuário deve-se entender não só usuários humanos, mas outros sistemas que podem interagir com os sistemas especialistas. Para usuários humanos, questionários e interfaces gráficas ajudam na operação dos sistemas e na entrada de dados mais consistentes. A linguagem natural pode, algumas vezes, levar à ambigüidade. Para interface com outros sistemas, métodos ou repositório de dados podem ser utilizados. Cuidados com relação ao nível do usuário (iniciante/especialista) são fatores importantes para o sucesso da aplicação; além disso, mensagens informativas, claras e de pedido de aguardo enquanto o sistema processa as informações são fundamentais para a aceitação por parte do usuário [Bittencourt, 2001].

3.3. Representação do Conhecimento

Seguindo as linhas de pesquisa da inteligência artificial, existem duas abordagens de sistemas especialistas [Savaris, 2002; Bittencourt, 2001]: conexionista e simbólica. A linha conexionista visa a modelagem da inteligência humana usando simulação dos componentes do cérebro. Ela foi proposta em 1943 pelo neuropsicólogo McCulloch e o lógico Pitts criando a primeira idéia de redes neurais. A linha simbólica, que segue a tradição lógica, foi proposta por McCarthy e Newll e foi a responsável pelo sucesso dos sistemas especialistas.

Os sistemas especialistas baseados na linha conexionista são voltados para aplicações onde o domínio do problema não é bem definido e existem muitas incertezas e muitas exceções às regras. Os sistemas baseados na linha simbólica são indicados para aplicações onde o domínio do problema é bem definido e não se deve trabalhar com incertezas de dados [Barreto, 2002]. A principal diferença entre estas correntes de sistemas está na manipulação do conhecimento. Os sistemas baseados na linha conexionista não utilizam

modelos de representação do conhecimento, um exemplo de sistemas deste tipo são os baseados nas redes neurais. Ao contrário, na linha simbólica, a característica principal é a utilização de técnicas de modelagem de uma base de conhecimento [Rehm, 2005].

Ao longo do tempo, diversos modelos de representação do conhecimento para sistemas especialistas simbolistas foram propostos. As mais usadas são [Bittencourt, 2001]:

- **Lógica.** Esse modelo é a base para a maioria dos formalismos de representação de conhecimento, seja de forma explícita ou de forma disfarçada na forma de representações específicas que podem facilmente ser interpretadas como proposições ou predicados lógicos. Neste modelo, a representação do conhecimento é feita na forma de conjuntos de instruções para solucionar um problema. Este tipo de representação é amplamente utilizado sendo o mais comum dentre os esquemas citados, pois se assemelha ao raciocínio humano baseado na lei de causalidade;
- **Redes Semânticas.** Esse modelo estrutura o conhecimento na forma de grafos, onde cada nó representa um conceito e as arestas um relacionamento binário entre os nós. Esta abordagem possibilita a herança de características entre os conceitos. Este modelo visa reproduzir o comportamento da memória humana tomando como base experimentos onde o reconhecimento de elementos de classes mais abrangentes é mais lento do que o reconhecimento de elementos de classes mais restritas.

3.4. Máquina de Inferência – Método de Mamdani

Uma regra Se (antecedente) então (conseqüente) é definida pelo produto cartesiano *fuzzy* dos conjuntos *fuzzy* que compõem o antecedente e o conseqüente da regra. O método de Mamdani agrega as regras, usando o operador lógico OU modelado pelo operador máximo e, em cada regra, o operador lógico E é modelado pelo operador mínimo. Eis as regras [LOPES *et al*, 2005]:

- Regra 1: Se (x é A1 e y é B1) então (z é C1).
- Regra 2: Se (x é A2 e y é B2) então (z é C2).

A Figura 3-1 ilustra como uma saída real z de um sistema de inferência do tipo Mamdani é gerada a partir das entradas x e y reais e a regra de composição max-min. A saída z, pertencente ao conjunto dos números reais, é obtida pela desfuzzificação do conjunto de saída $C = C'1 \text{ união } C'2$.

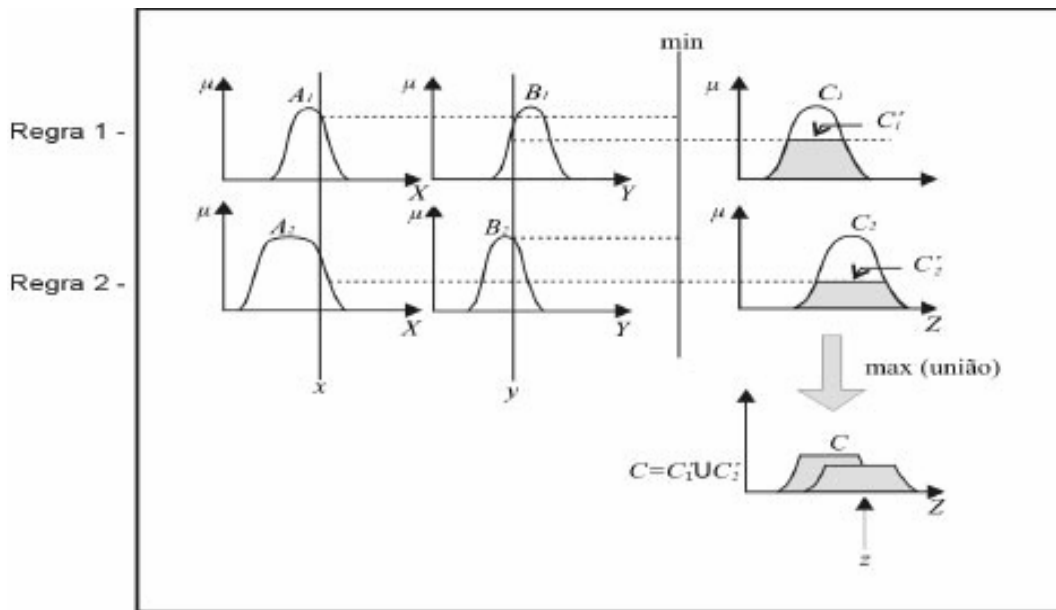


Figura 3-1 – Método de Mamdani com Composição Max-Min (Fonte: LOPES *et al.*, 2005)

Em seu trabalho, Lopes *et al.* (2005) apresentaram importante definição em diagnóstico médico, a composição de relações *fuzzy* binárias (Figura 3-2). Esta relação R define uma função de F(U1) em F(U2) que, a cada elemento A1 pertencente a F(U1), faz corresponder o elemento A2 pertencente a F(U2).

$$U_{A_2}(X_2) = U_{R(A_1)}(X_2) = \max_{x_1 \in U_1} [\min(U_{A_1}(X_1), U_R(X_1, X_2))]$$

Figura 3-2 – Função de Pertinência (Fonte: LOPES *et al.*, 2005).

3.5. Classificação dos Sistemas Especialistas

A diversidade de domínios utilizando soluções baseadas em sistemas especialistas, como medicina, engenharia, educação e apoio empresarial, possibilitou a exploração de diversas categorias de problemas, entre elas [Luger, 1998]:

- Interpretação. É possível formular conclusões extraídas de coleções de dados, determinando relações e seus significados, descrevendo situações e descartando dados inconsistentes ou fora de um determinado padrão;
- Previsão. É possível realizar projeção futura baseada em situações atuais e em dados do passado;
- Diagnóstico. É possível determinar causas de mau funcionamento ou doenças em situações complexas baseadas em sintomas observados;

- Projeto. É possível projetar sistemas de componentes atendendo aos objetivos estabelecidos, satisfazendo determinadas restrições e estabelecendo etapas junto com seus subobjetivos para atender um objetivo final;
- Planejamento. É possível determinar um conjunto de ações para atingir um objetivo partindo de condições iniciais e de condições não esperadas;
- Monitoramento. É possível comparar um comportamento atual com um comportamento esperado;
- Depuração e Reparo. É possível prescrever e implementar soluções para mau funcionamento;
- Instrutor. É possível detectar e corrigir deficiências de estudantes;
- Controle. É possível controlar ambientes complexos como controle de processos em fábricas e linhas de montagem, pois possui características de outros sistemas, monitorando, fazendo previsões e planejando ações de correção/alterações no processo.

3.6. Considerações Finais

Um sistema especialista é um sistema baseado no conhecimento especialmente projetado para emular a especialização humana de algum domínio específico, esse conhecimento é formado por fatos, por regras e por heurísticas sobre o domínio.

A arquitetura geral de um sistema especialista compreende dois componentes principais: um conjunto de declarações totalmente dependentes do domínio do problema e que é chamado de base de conhecimento ou base de regras, e um programa independente do domínio do problema (apesar de altamente dependente das estruturas de dados) chamado de motor de inferência. Esses sistemas são bastante relevantes para várias áreas da ciência que estão em constante desenvolvimento, não se limitando somente para a área de Inteligência Artificial.

4. USINAGEM DA MADEIRA

4.1. Considerações Iniciais

As dificuldades ao usar a madeira do *Eucalyptus*, sob a forma sólida, estão baseadas na falta de conhecimentos de como trabalhar corretamente esse material. É preciso conhecer a estrutura da madeira e os parâmetros de usinagem para entender suas relações, que proporcionam os bons resultados em qualidade [Silva *et al.*, 2005].

Quando a madeira é destinada para confecção de móveis, assoalhos, esquadrias e outros produtos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho frente aos processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada. É importante entender que a correta forma de trabalhar a madeira, requer conhecimento de suas propriedades, dos parâmetros de usinagem e de suas interações [Silva *et al.*, 2005]. Também é importante conhecer qual a qualidade desejada em função da peça produzida, que segundo Weing (2000) *apud* Silva *et al.* (2009), pode ser definida em função da magnitude do avanço por dente (fz), marca deixada sobre a superfície, após a usinagem ciclóide.

Este capítulo apresenta conceitos usados na qualificação de superfícies usinadas de madeira. A seção 4.2 aponta os principais defeitos no processo de usinagem. A seção 4.3 mostra a importância da qualidade da usinagem na madeira trabalhada. A seção 4.4 apresenta a necessidade de produzir superfícies com melhor qualidade. A seção 4.5 mostra que o tratamento adequado no acabamento superficial garante uma maior durabilidade na estética do produto.

4.2. Operações de Usinagem

A deficiência na qualidade final dos produtos da indústria de móveis e os baixos rendimentos na transformação da matéria-prima em produtos acabados são decorrentes, principalmente, de ineficiências no setor de secagem, usinagem e acabamentos superficiais da madeira [Silva, 2002 *apud* Silva *et al.*, 2005].

O objetivo de usinar a madeira não é somente cortá-la, mas produzir uma forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, tão exato e econômico quanto possível [Lima, 199-]. Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas, sendo [Silva, 1996 *apud* Silva *et al.*, 2005]:

- Variações das propriedades da madeira, nas suas diferentes propriedades.
- Condições das máquinas, relacionado diretamente ao desgastes dos componentes das máquinas que alteram o seu funcionamento. Os principais aspectos a serem considerados são a manutenção, o balanceamento e o alinhamento do eixo porta ferramentas;
- Ferramentas de corte, relacionado ao estado de conservação do gume de corte e a escolha da ferramenta mais adequada;
- Treinamento do operador, é função do grau de conhecimento do operador sobre todas as regulagens existentes que afetam diretamente a qualidade da superfície usinada (por exemplo, a regulagem e o ajuste correto das máquinas).

Os inspetores de qualidade devem compreender bem as especificações presentes em um projeto. Além disto, é preciso reconhecer que condições, como tipo de máquina utilizada, desgaste da ferramenta, vibrações indesejadas, parâmetros de usinagem empregados e o operador da máquina, refletem de alguma maneira na geometria da superfície. Esse conjunto de informações fornece uma ferramenta útil para o controle de qualidade do processo de fabricação [Bet, 1999 *apud* Silva *et al.*, 2005].

4.3. Qualidade da Usinagem

A qualidade obtida não é um aspecto pontual, mas uma relação ampla das propriedades do material trabalhado. Contudo, é importante verificar a variação destas propriedades, usando medições no âmbito macro e microscópico [Kninmonth; White, 1991 *apud* Silva *et al.*, 2009].

Segundo Silva (2002), o conceito de qualidade da usinagem é diferentemente apresentado por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas usando cálculo do avanço por dente (f_z) ou da profundidade do arco ciclóide (t). O f_z é expresso em marcas por polegada linear ou em milímetros [Weissenetein, 2000; Costa, 1996; CETMAM/SENAI, 1996; SENAI, 1995 *apud* Silva *et al.* 2009]. O segundo grupo considera os cálculos indicados anteriormente e a presença de falhas na superfície. Essas falhas são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações. Essa variação estrutural pode

apresentar defeitos na forma de buracos, trincas e pré-rachamentos [Bonduelle *et al.*, 2002; Silva *et al.*, 1999 *apud* Silva *et al.*, 2009].

A melhoria da qualidade do acabamento pode ser alcançada com a redução da velocidade de avanço da madeira e/ou com o aumento do número de gumes ativos de corte e da frequência de rotação do eixo porta ferramenta da máquina [Silva *et al.* 2009].

Os principais defeitos no processo de usinagem da madeira estão ligados a quatro fontes básicas. Primeiramente, têm-se as (i) variações das propriedades da madeira, seguindo das (ii) características de funcionamento das máquinas e das (iii) características das ferramentas de corte e, por último, o (iv) treinamento da mão-de-obra [Silva, 1996]. O valor calculado dessas fontes fornece uma ferramenta muito útil para o controle de qualidade do processo de fabricação [Bet, 1999 *apud* Silva *et al.*, 2009]. Após as operações de usinagem, é executada sua qualificação para posterior determinação do uso. Contudo, o empirismo dos valores de qualidade na indicação de usos nem sempre é correto e/ou otimizado.

4.4. Qualidade de Superfícies Usinadas

Um fator que merece ser destacado é o pensamento equivocado de que a indústria madeireira não necessita produzir superfícies tão bem acabadas, com baixas tolerâncias nos desvios das condições ótimas obtidas. É esperado que o desenvolvimento do setor madeireiro elimine os conceitos negativos, visando aumentar a produtividade e melhorar a qualidade dos produtos, cujos objetivos são de tornar o setor mais competitivo no âmbito nacional e internacional [Silva, 2002].

O cumprimento das funções atribuídas a uma superfície técnica exige que ela possua propriedades relacionadas com a sua integridade e com suas características geométricas. O termo textura é o mais usado no estudo das características geométricas de uma superfície e tem papel importante na previsão do desempenho da máquina envolvida no processo de usinagem. Associando-se a isto, o desenvolvimento de novos métodos de medição de textura em processo, tem-se a geração de técnicas de monitoramento que permitem avaliar desde o desgaste de ferramentas de usinagem até a rigidez da máquina. Neste contexto, muitos pesquisadores se dedicaram e outros ainda se dedicam, ao estudo dos parâmetros de textura, fato que resultou em uma multiplicidade desses parâmetros. Cabe salientar que é

consenso geral que um único parâmetro não é suficiente para caracterizar algo tão complexo quanto a textura de superfícies. Sendo assim, é necessário estudar cada caso particular antes de decidir quais parâmetros devem ser adotados [Bet, 1999 *apud* Silva *et al.*, 2005].

A tecnologia de superfície pode ser entendida como a área tecnológica que se ocupa com a descrição e com a avaliação de uma superfície e das camadas logo abaixo dela. O termo textura superficial tem sido muito usado para descrever a qualidade geral da superfície de uma peça, esquecendo-se das propriedades relativas à integridade. Outro termo muito utilizado para descrever a qualidade geral de uma superfície é o acabamento superficial. Este é de fato um termo coloquial e não traz informação quantitativa a respeito da textura. Mas, por padrão, um bom acabamento implica em baixos valores para parâmetros verticais de rugosidade e vice versa [Bet, 1999].

A superfície é o elemento de definição da qualidade e caracteriza-se pela fronteira de um elemento de espaço fechado com o ambiente [Bet, 1999]. Contudo, a superfície pode ser dividida em [Silva, 2002]: i) geométrica (superfície especificada em projetos e possui a geometria e as características topográficas ideais para o desempenho de uma determinada função); ii) real (superfície que de fato é obtida após o último processo de fabricação pelo qual passa o componente); e iii) efetiva (superfície que é o resultado dos instrumentos de medição, que por sua vez, não conseguem captar todas as características e irregularidades da superfície. Esta superfície é uma aproximação da superfície real).

4.5. Acabamentos Superficiais

O produto originário da madeira necessita de tratamento adequado para a proteção contra as adversidades ambientais e de uso. Com um acabamento satisfatório, tem-se como garantia a durabilidade e a estética do produto ao longo do tempo [Tintas Coral, 1994 *apud* Silva, 2005].

Normalmente, pensa-se que a aplicação dos produtos de acabamento para madeira inicia-se na sua deposição sobre a peça, mas nota-se que atividades anteriores devem ser cuidadosamente controladas para que os resultados obtidos sejam satisfatórios. Dentre as atividades necessárias ao acabamento, pode-se destacar a vistoria das condições da superfície de ancoragem (determinado pela preparação), o preparo do produto, a regulação

dos equipamentos e a aplicação propriamente dita. Após a execução destas atividades, é possível obter uma boa qualidade do produto final [Compêndio, 1992 *apud* Silva, 2005].

A preparação propriamente dita da superfície é de primordial importância para o acabamento de madeira. Normalmente, o filme de acabamento ou revestimento não elimina os defeitos, mas os torna mais evidentes. Riscos superficiais ou imperceptíveis em madeira natural podem se tornar nítidos após o recebimento de acabamentos brilhantes [Watai, 1995; Tintas Coral, 1994 *apud* Silva, 2005].

A alta qualidade dos revestimentos é alcançada se a superfície que ancorará os produtos de acabamento estiver em condições ideais, possuindo uma textura fina (baixa rugosidade), sem defeitos e com limpeza adequada, isto é, ausência de partículas sólidas e/ou líquidas. A rugosidade das superfícies deixada pela serra pode ser eliminada com lixas, mas, quando for excessivamente alta, deve-se executar o aplainamento antes do lixamento [Watai, 1995; *apud* Silva, 2005]. A correção dos defeitos deverá ser executada, usando técnicas mais específicas como o emasseamento [Silva, 2002].

4.6. Considerações Finais

Os produtos de madeira fabricados pela indústria moveleira necessitam ter qualidade das superfícies usinadas otimizadas e padronizadas. São observados métodos de qualificação, incluindo a inspeção visual, determinação do avanço por dente, rugosímetros, laser ou simples tato dos encarregados da produção.

Além disso, independente da qualidade, é necessária a indicação dos usos para as peças produzidas. O empirismo dos parâmetros de qualidade na indicação de usos nem sempre é correto e/ou otimizado. Assim, surge a importância de propor novas ferramentas de determinação da qualidade da superfície de usinagem e definir adequados usos para as diferentes classes de qualidades obtidas.

5. WMacDiag Mobile – Sistema Especialista Móvel para Diagnosticar Superfícies Usinadas em Madeira

5.1. Considerações Iniciais

Na qualificação de superfícies usinadas em madeiras, a norma americana ASTM 1666-87 (1995) é utilizada por pesquisadores e profissionais do setor. O principal problema dessa qualificação está na subjetividade do método, que apresenta diferenças nos resultados gerados por diferentes avaliadores.

Segundo esta norma, a avaliação de superfícies usinadas por diferentes máquinas é feita visualmente de forma cuidadosa avaliando tipo e intensidade dos defeitos. Portanto, a norma está em função do grau e da intensidade dos defeitos na superfície. As notas atribuídas a estas superfícies variam de 1 a 5 para a qualidade de superfícies usinadas. A qualificação pode ser uma tarefa complicada; de certa maneira, ela é uma comparação em que o avaliador confronta os dados reunidos com as informações disponíveis nessa norma.

O sistema especialista móvel MobileX-DAVIS pode auxiliar no diagnóstico de doenças das vias aérea superiores e inferiores, ajudando o médico a tomar decisões e optar por exames laboratoriais mais detalhados [Junqueira, 2006]. Este sistema tem a finalidade de simular a atuação de um médico no diagnóstico de pacientes que apresentam sinais e sintomas de doenças nas vias aéreas superiores e inferiores, a partir de informações dadas por especialistas de área médica.

Assim sendo, para o auxílio na qualificação de superfícies usinadas um sistema especialista móvel, torna-se útil para a diminuição da subjetividade do método. Nesse caso, os valores do percentual e a intensidade dos defeitos da superfície da madeira usinada são parâmetros necessários para a qualificação da superfície. Em um sistema especialista, concentram-se as atividades de aquisição de conhecimento em domínios muito estreitos. A lista de aplicações em potencial para os sistema especialista é longa, mas podem ser enquadradas em três categorias [Bittencourt, 2001]: i) Manufatura; ii) Finanças; e iii) Serviços (educação, engenharia, meteorologia, medicina, militar, telecomunicações, etc.).

A excelência nestas categorias depende de fatores ligados à natureza do conhecimento envolvido, sua confiabilidade, sua integridade, sua ambigüidade e sua

estabilidade. Em uma situação ideal, é interessante ter uma aplicação na qual o conhecimento seja restrito a um domínio muito estreito e as decisões sejam determinadas inteiramente por fatores mensuráveis que não mudam com o tempo. Dessa forma, os sistemas especialistas de elaboração mais fácil são aqueles em que as regras são conhecidas antecipadamente e são determináveis. O raciocínio deste ideal é: quanto mais sólido for o entendimento do domínio do especialista, mais confiáveis serão as decisões do sistema.

No mundo real, entretanto, quase todo especialista humano toma decisões baseadas em uma situação em que os dados, de certa forma, são incompletos, não confiáveis, ambíguos e dinâmicos. É para esse tipo de situação que os sistemas especialistas são aplicáveis. Entretanto, por melhor que seja a maneira como um sistema especialista lida com a incerteza em sua base de conhecimento, esses sistemas ainda são fundamentalmente dedutivos e, desse modo, não são tão precisos quando se trata de raciocinar de formas não dedutivas. Por essa razão, o domínio de conhecimento ideal a ser modelado deve envolver pouca ou nenhuma porção de intuição e de bom senso.

Este capítulo apresenta resumidamente o processo de desenvolvimento do **WMacDiag Mobile**. A seção 5.2 mostra a arquitetura de sistema baseados em regras *fuzzy* usada no trabalho. A seção 5.3 mostra a base de regras usada no domínio do problema. A seção 5.4 mostra um esboço da funcionalidade do **WMacDiag Mobile**. A seção 5.5 apresenta a metodologia usada para calibrar o **WMacDiag Mobile** e a confiabilidade que esta calibragem desenvolvida proporciona para o seu bom funcionamento. A seção 5.6 mostra o **WMacDiag Mobile**, apresentando passo a passo, por meio de figuras, como diagnosticar uma superfície usinada em madeira, usando o **WMacDiag Mobile**.

5.2. Arquitetura do WMacDiag Mobile

O **WMacDiag Mobile** é um sistema baseado em regras *fuzzy* que possui um processador de entrada que realiza a fuzzificação dos dados de entrada, uma coleção de regras nebulosas chamada base de regras, uma máquina de inferência *fuzzy* e um processador de saída que fornece um número real (Figura 5-1) [Lopes *et al.*, 2005]:

- Processador de Entrada. Neste componente, as entradas do sistema são traduzidas em conjuntos *fuzzy* em seus respectivos domínios;

- Base de Regras. Este componente e a máquina de inferência podem ser considerados o núcleo dos sistemas baseados em regras *fuzzy*;
- Máquina de Inferência *Fuzzy*. Este componente usa um método de inferência *fuzzy*, por exemplo, Método de Mamdani.

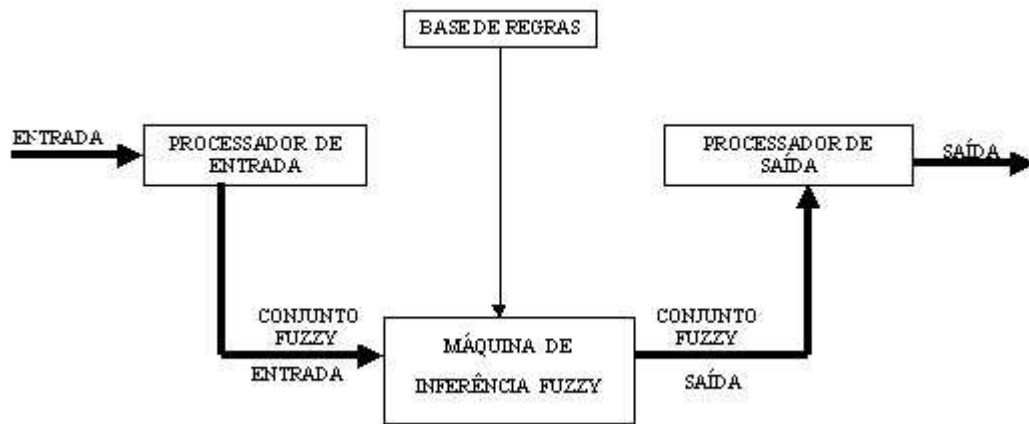


Figura 5-1 – Arquitetura de Sistemas Baseados em Regras *Fuzzy* (Fonte: LOPES *et al.* (2005))

5.3. A Base de Regras do WMacDiag Mobile

A implementação do **WMacDiag Mobile** foi feita na linguagem de programação Java em sua versão J2ME (*Java micro edition*). Java é multiplataforma e apresenta características de segurança que permitem sua utilização em dispositivos móveis, por exemplo, em *notebooks*, aparelhos celulares e computadores de mão (*Palm Top*).

Para alcançar o objetivo proposto, foi necessário realizar estudos de lógica fuzzy e de técnicas de usinagem de madeira propostas pela norma ASTM 1666-87 (1995). A lógica *fuzzy* foi usada para a representação e o processamento do conhecimento do processo de usinagem da madeira. A base de conhecimento utiliza o conceito de variáveis lingüísticas e a manipulação destas variáveis é feita por meio do modelo de inferência fuzzy, neste caso, o modelo de Mamdani.

A qualificação com **WMacDiag Mobile** avalia as superfícies usinadas de acordo com a norma ASTM 1666-87 (1995), que inclui procedimentos para Aplainamento (*Planing*), Lixamento (*Sanding*), Furação (*Boring*), Frisagem (*Shaping*), Furação em espiga (*Mortising*) e Torneamento (*Turning*). Estes procedimentos são operações comuns no trabalho da madeira e são usados na confecção de móveis e de esquadrias.

No **WMacDiag Mobile**, a entrada de dados para a qualificação de superfícies usinadas em madeira é a partir da área da superfície usinada com defeitos e da concentração dos defeitos nessa área. Com esses dados, por meio da produção *fuzzy*, é calculada a intensidade do erro. Esse cálculo é feito usando 25 regras. A Tabela 5-1 apresenta as regras e sua respectiva produção *fuzzy*.

Tabela 5-1 – Regras de Produção *Fuzzy* para o Cálculo da Intensidade do Erro

Regras	Produção <i>fuzzy</i>	Defeito	Qualidade
1	Se PD = MP e CD = MP então ID = MP	Muito pequeno	Excelente
2	Se PD = MP e CD = P então ID = P	Pequeno	Boa
3	Se PD = MP e CD = M então ID = P	Pequeno	Boa
4	Se PD = MP e CD = A então ID = M	Médio	Regular
5	Se PD = MP e CD = MA então ID = M	Médio	Regular
6	Se PD = P e CD = MP então ID = P	Pequeno	Boa
7	Se PD = P e CD = P então ID = P	Pequeno	Boa
8	Se PD = P e CD = M então ID = M	Médio	Regular
9	Se PD = P e CD = A então ID = M	Médio	Regular
10	Se PD = P e CD = MA então ID = M	Médio	Regular
11	Se PD = M e CD = MP então ID = P	Pequeno	Boa
12	Se PD = M e CD = P então ID = P	Pequeno	Boa
13	Se PD = M e CD = M então ID = M	Médio	Regular
14	Se PD = M e CD = A então ID = M	Médio	Regular
15	Se PD = M e CD = MA então ID = A	Alto	Ruim
16	Se PD = A e CD = MP então ID = M	Médio	Regular
17	Se PD = A e CD = P então ID = M	Médio	Regular
18	Se PD = A e CD = M então ID = A	Alto	Ruim
19	Se PD = A e CD = A então ID = A	Alto	Ruim
20	Se PD = A e CD = MA então ID = MA	Muito alto	Péssima
21	Se PD = MA e CD = MP então ID = M	Médio	Regular
22	Se PD = MA e CD = P então ID = A	Alto	Ruim
23	Se PD = MA e CD = M então ID = A	Alto	Ruim
24	Se PD = MA e CD = A então ID = MA	Muito alto	Péssima
25	Se PD = MA e CD = MA então ID = MA	Muito alto	Péssima

PD = percentual da área dos defeitos; CD = concentração dos defeitos na área; ID = intensidade do defeito; MP = muito pequeno; P = pequeno; M = médio; A = alto; MA = muito alto.

Após o disparo dessas regras, é gerado um conjunto *fuzzy* com a probabilidade da intensidade do erro ser muito pequena, pequena, média, alta ou muita alta. Com esses dados, é calculada a nota sugerida pela norma ASTM 1666-87 (1995), usando 5 regras de produção *fuzzy*:

- Se a intensidade do erro for muito alta então a nota será péssima (nota 5);
- Se a intensidade do erro for alta então a nota será ruim (nota 4);
- Se a intensidade do erro for média então a nota será regular (nota 3);

- Se a intensidade do erro for pequena então a nota será boa (nota 2);
- Se a intensidade do erro for muito pequena então a nota será excelente (nota 1).

Depois das regras “se...então”, é obtido o conjunto *fuzzy* de saída. Esse conjunto indica a probabilidade da superfície usinada ter qualidade excelente, boa, regular, ruim e péssima. Após as probabilidades serem calculadas, há a desfuzzificação do conjunto para gerar a nota final de cada defeito.

5.4. Casos de Uso do WMacDiag Mobile

A Figura 5-2 apresenta o Diagrama de Casos de Uso do **WMacDiag Mobile**. Nela, o ator Usuário pode: Obter Nota do Teste, Realizar Testes de Usinagem, Gerar Gráficos Fuzzy do Teste, Ver Partição das Variáveis Fuzzy, Calibrar Usinagem e Mostrar Imagem. Ao calibrar a usinagem, o ator Usuário estará adequando a base dados da máquina de inferência para suas próprias regras de inferência.

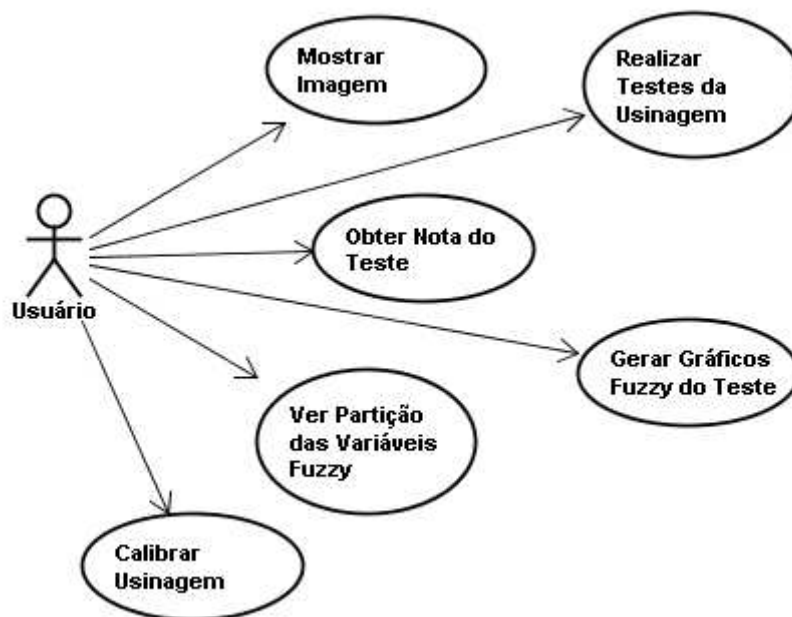


Figura 5-2 – Diagrama de Casos de Uso do Sistema

5.5. Calibragem do Software

A calibragem do **WMacDiag Mobile** para a avaliação da qualidade de superfícies usinadas em madeira é uma etapa decisiva para a sua eficácia. Ela pode ser definida como um conjunto de dados inserido no **WMacDiag Mobile** para ele entender os parâmetros estudados e simular as ações desejadas.

A dificuldade da calibragem é com as diferenças existentes nas classificações de qualidade de superfícies usinadas em madeiras, realizada por diferentes avaliadores. Nesta classificação, é comum haver divergência nas notas atribuídas pelos avaliadores (Silva, 2002).

A base de conhecimento contém a descrição do conhecimento necessário para a resolução do problema abordado na aplicação. Isto inclui asserções sobre o domínio de conhecimento, regras que descrevem relações nesse domínio e, em alguns casos, heurísticas e métodos de resolução de problemas [Rezende, 2003]. Informalmente, uma base de conhecimento é um conjunto de representações de ações e de acontecimentos do mundo. Cada representação individual é chamada de sentença. As sentenças são expressas em uma linguagem específica, chamada linguagem de representação de conhecimento [Russel; Norvig, 1995].

Embora desejável, nem sempre o conhecimento expresso nas bases é completamente consistente e preciso, podendo haver conhecimento que gerem conclusões alternativas conflitantes. Nesse caso, é necessário existir um meio de analisar as evidências de cada conclusão e escolher qual deve ser a resposta do software. Muitas vezes, o conhecimento não é completo, isto é, nem todo o conhecimento requerido para gerar uma resposta se encontra na base. O software deve ter meios de contornar essa falta de conhecimento e chegar a uma resposta razoável [Rezende, 2003].

A grande dificuldade de calibragem desse tipo de software está relacionada com a dificuldade em atribuir valores às expressões lingüísticas, determinando para um dado elemento o valor de pertinência que representa o quanto este elemento satisfaz o conceito representado pelo conjunto *fuzzy*.

De um modo geral, pode-se dizer que, em um problema concreto, muitos números são idealizados de informações imprecisas, envolvendo valores numéricos. Estes são os casos de frases com a expressão “aproximadamente”. Por exemplo, quando se mede o quanto a superfície da madeira está defeituosa, o que se obtém é um valor numérico com imprecisões. Tais imprecisões podem ter sido causadas por diversos fatores, por exemplo, instrumentos de medição, indivíduos aferindo as medidas e superfície da madeira sendo medida. Finalmente, opta-se por um valor preciso, um número real x , para indicar o grau de

defeito da superfície da madeira. No entanto, é mais prudente dizer que o grau de defeito “é aproximadamente x”. Neste caso, matematicamente, a expressão “aproximadamente x” é feita por um subconjunto *fuzzy* A, cujo domínio da função de pertinência μ_A é o conjunto dos números reais. A escolha dos números reais como domínio é porque, teoricamente, os possíveis valores para o grau de defeito são números reais [Barros; Bassanezi, 2006].

A importância da metodologia de calibragem é proporcionar a criação de uma base de conhecimento contendo sentenças estruturadas, sistematizando os processos de armazenamento, busca e processamento dos dados existentes para possibilitar a calibração do software utilizado para avaliar superfícies usinadas em madeira.

5.5.1. Metodologia para Calibragem

No Laboratório de Usinagem da Madeira do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA), foram preparados 52 corpos-de-prova de madeira do Eucalyptus com dimensões de 240 x 120 x 20 mm, com diferentes tipos de qualidade de usinagem, variando de excelente (Figura 5-3), ótima, regular (Figura 5-4), ruim e péssima (Figura 5-5). Para conseguir diferentes tipos de qualidade de superfícies usinadas, os corpos-de-prova foram usinados na plaina desempenadeira com velocidades de avanço 3, 6, 15 e 30 m*min⁻¹ (a escala usada está graduada em centímetros).

Três especialistas avaliaram os corpos-de-prova, individualmente, para determinar o grau de relação entre o percentual e a concentração dos defeitos e das notas (variam de 1 a 5). As notas 1, 2, 3, 4 e 5 representam a qualidade de superfícies usinadas em excelente, ótima, regular, ruim e péssima, respectivamente. Posteriormente, os corpos-de-prova com diferenças nos parâmetros avaliados foram revistos na presença dos três especialistas para reavaliação e obtenção dos dados gerais finais. Quando não houve consenso, foi usada média aritmética [Silva, 2002]. Os dados foram coletados de acordo com o *template* apresentado na Tabela 5-2. Com os dados obtidos, foram criadas quatro tabelas. As tabelas indicam a variação do tipo de dado em relação ao tipo de nota.

A Tabela 5-3 indica o quanto a nota varia com o percentual de defeito. A segunda coluna é o valor mínimo do percentual de defeito da nota. A terceira coluna é o valor máximo acrescido do desvio padrão. A Tabela 5-4 indica o quanto a nota varia com a

concentração de defeito. A segunda coluna é o valor mínimo da concentração de defeito de cada nota. A terceira coluna é o valor máximo acrescido do desvio padrão.

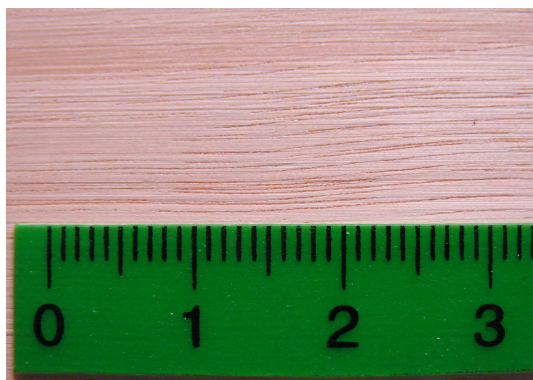


Figura 5-3 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Excelente

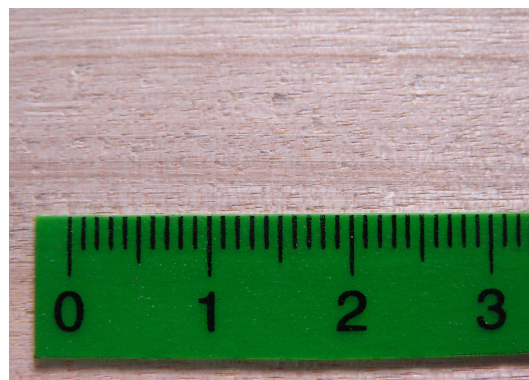


Figura 5-4 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Regular

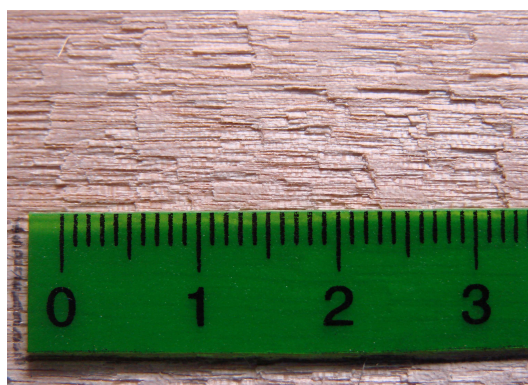


Figura 5-5 – Superfície Usinada em Madeira Considerada de Qualidade Péssima

Tabela 5-2 – Planilha de Coleta de Notas da Qualidade das Superfícies Usinadas em Madeira

Avaliador n				
Número da peça	Porcentagem de defeitos (%)	Concentração dos defeitos (%)	Nota	Observação
1	10	5	1	
2	90	95	5	
...	
51	80	95	5	
52	30	30	3	

A Tabela 5-5 indica o quanto a nota varia com o grau de defeito geral. O grau de defeito geral é a junção dos dados do percentual e concentração do defeito, ou seja, a junção dos dados que geraram a Tabela 5-3 e Tabela 5-4. A segunda coluna é o valor mínimo subtraído do desvio padrão. A terceira coluna é o valor máximo subtraído do desvio padrão. Nesse caso, a subtração do desvio padrão foi para criar uma área de

intersecção entre as notas que mais se aproxima dos dados dos especialistas. A Tabela 5-6 indica o quanto varia cada nota. Os intervalos foram divididos de modo a deixar o intervalo de cada nota com o mesmo tamanho, com exceção da nota 3, que teve um intervalo um pouco maior em relação às outras.

Tabela 5-3 – Variação do Percentual de Defeito em Relação a Cada Nota

Nota	Percentual da área da peça com defeito		
	Valor mínimo	Valor máximo acrescido do desvio padrão	Desvio padrão
1	0	11	1
2	10	29	4
3	20	52	7
4	40	95	15
5	71	100	8

Tabela 5-4 – Variação da Concentração de Defeito em Relação a Cada Nota

Nota	Percentual da concentração do defeito na área		
	Valor mínimo	Valor máximo acrescido do desvio padrão	Desvio padrão
1	0	12	2
2	10	29	4
3	25	59	9
4	45	91	11
5	60	100	11

Tabela 5-5 – Variação do Defeito em Relação a Cada Nota

Nota	Percentual da concentração do defeito na área		
	Valor mínimo subtraído do desvio padrão	Valor máximo subtraído do desvio padrão	Desvio padrão
1	0	12	2
2	5	29	4
3	11	58	8
4	26	93	13
5	49	100	10

Tabela 5-6 – Variação de Cada Nota

Nota	Porcentagem de variação de cada nota	
	Intervalo inicial	Intervalo final
1	0	37
2	12	50
3	25	75
4	50	87
5	62	100

Com a criação destas quatro tabelas, foi possível verificar a variação que pode existir entre as variáveis envolvidas no defeito e as notas. Os dados obtidos possibilitaram determinar a função de pertinência para os termos primários da variável lingüística que representa o erro, a regra de produção *fuzzy* para a qualificação de superfície usinada e o grau de relevância entre o percentual e a concentração dos defeitos.

Para testar a calibragem, algumas peças, com diferentes tipos de qualidade de usinagem, foram avaliadas com o auxílio do **WMacDiag Mobile** por um profissional da área e por outra pessoa ligada a área de usinagem em madeira. Os resultados gerados pelo **WMacDiag Mobile** foram comparados com os resultados obtidos pelos três avaliadores da área.

5.5.2. Confiabilidade da Metodologia de Calibragem

Os dados coletados individualmente serviram para determinar uma possível partição *fuzzy* da variável lingüística que representa o erro, em relação aos dados gerais finais. A Tabela 5-7 apresenta as notas gerais obtidas pelo consenso dos avaliadores para as 52 peças avaliadas. Para cada nota geral apresentada, estão seus respectivos valores percentuais da área e da concentração do defeito de cada peça. Além disso, a Tabela 5-7 também apresenta os valores percentuais da área e da concentração do defeito inseridos no **WMacDiag Mobile** calibrado com as respectivas notas geradas.

De acordo com a Tabela 5-7, apenas as peças 20, 29 e 34 apresentaram diferenças entre as notas geradas pelo software quando comparadas com as notas dos avaliadores, totalizando 5,7% de erro. A peça 29 e a peça 34 foram consideradas de pior qualidade pelo **WMacDiag Mobile** quando comparadas com as notas dos avaliadores. A peça 20 foi considerada de melhor qualidade pelo **WMacDiag Mobile**. É importante ressaltar que essas diferenças entre as notas foram consideradas pequenas, uma vez que a variação é de apenas uma classe de qualidade.

Segundo os avaliadores, a peça 20 é considerada como 40% de área defeituosa com 65% de gravidade de defeito nessa área, atribuindo a esta peça a nota 4, ou seja, uma nota ruim. No **WMacDiag Mobile**, quando são inseridos os dados, a nota é 3, ou seja, uma nota regular. Observa-se que com um pequeno acréscimo de cinco pontos percentuais na área

defeituosa, o **WMacDiag Mobile** qualifica a peça segundo o conceito dos avaliadores, o que evidencia, nesse caso, uma decisão próxima do esperado.

Tabela 5-7 – Percentuais da Área e Concentração do Defeito de Cada Peça com as Respectivas Notas Geradas pelos Avaliadores e pelo Software

Peça	Área da peça com defeitos (%)	Concentração dos defeitos (%)	Nota geral dos avaliadores	Nota software
1	15	20	2	2
2	45	45	3	3
3	35	25	3	3
...
18	75	70	4	4
19	20	15	2	2
20	40	65	4	3
21	20	27	3	3
22	80	85	5	5
23	20	15	2	2
24	90	80	5	5
25	35	40	3	3
26	10	10	1	1
27	15	10	2	2
28	80	70	4	4
29	45	30	3	4
30	10	15	2	2
31	30	40	3	3
32	15	10	2	2
33	40	80	4	4
34	25	25	2	3
35	50	55	4	4
...
51	80	80	5	5
52	10	10	1	1

A peça 29 é considerada pelos avaliadores como 45% de área defeituosa e com 30% de concentração dos defeitos nessa área, atribuindo a esta peça a nota 3, ou seja, uma nota regular. No **WMacDiag Mobile**, a nota é 4, ou seja, uma nota ruim. Nota-se que, nessa situação, uma subtração de três pontos percentuais na área defeituosa, o software qualificará a peça conforme o conceito dos avaliadores. A peça 34, segundo os avaliadores, possui 25% de área defeituosa com 25% de concentração dos defeitos nessa área, atribuindo a esta peça a nota 2, ou seja, uma nota boa. No **WMacDiag Mobile**, a nota é 3, uma nota regular. Nesse caso, nota-se que mediante uma subtração de três pontos percentuais de gravidade de defeito na área, o **WMacDiag Mobile** qualifica a peça

conforme o consenso dos avaliadores. Portanto, apenas 3 pontos percentuais causaram a diferenças da nota dos avaliadores em relação ao software para a peça 29 e a peça 34.

Essas pequenas variações observadas nos pontos percentuais, nesses três casos especiais, mostram o quanto que o software está próximo da decisão esperada.

5.5.3. Resultados Obtidos na Calibragem

De acordo com os resultados, a metodologia de calibragem serviu para a obtenção de dados que possibilitam a calibragem do **WMacDiag Mobile**. Dessa forma, a calibragem foi considerada satisfatória, pois atingiu 94,7% de acerto das notas geradas com o **WMacDiag Mobile** quando comparadas com as notas dos avaliadores. Outros testes foram realizados por outras pessoas, utilizando o software, e obtiveram resultados satisfatórios.

Os dados obtidos nesse método de calibragem poderão ser utilizados por diferentes pessoas com e sem experiência na área possibilitando obter resultados similares com software de qualificação de superfícies usinadas em madeiras e, também, possibilitando realizar testes com outros tipos de madeira e outros tipos de usinagens.

5.6. Apresentação do WMacDiag Mobile

O uso da linguagem de programação Java promoveu mobilidade do **WMacDiag Mobile**, fornecendo ao profissional da área de Ciência e Tecnologia da Madeira uma ferramenta adicional no ambiente de trabalho, auxiliando em tomadas de decisão baseadas em situações em que os dados são ambíguos, difíceis de serem repassados pelos profissionais do setor e possuem caráter dinâmico.

A Figura 5-6 apresenta a tela do **WMacDiag Mobile** com os tipos de testes de usinagem que podem ser escolhidos para serem qualificados. Obedecendo a norma ASTM 1666-87 (1995), há os seguintes tipos de teste de usinagem: i) Aplainamento (*Planing*); ii) Lixamento (*Sanding*); iii) Furação (*Boring*); iv) Fresagem (*Shaping*); v) Furação em espiga (*Mortising*); e vi) Torneamento (*Turning*).

A Figura 5-7 apresenta a parte do **WMacDiag Mobile** que realiza a calibração. Cada tipo de usinagem pode ser calibrado com valores diferentes ou com valores iguais (usando a opção 'All'). O **WMacDiag Mobile** permite seis opções de calibragem: i) calibrar área

(definir o quanto a área afetada); ii) calibrar concentração do defeito (definir o quanto a concentração de defeito na área); iii) calibrar nota (definir a qualidade da nota); iv) calibrar erro (definir a qualidade do erro); v) calibrar nível (definir qual o grau de relevância do erro concentrado em um determinado ponto e da área atingida pelo erro); e vi) calibrar peso (aplicar peso aos tipos de defeitos de uma usinagem, sugestão dos autores). Para cada calibragem, é possível atribuir pesos para identificar qual o tipo de defeito é mais grave. A Figura 5-8 apresenta uma tabela para a entrada de dados da calibragem da nota, onde é especificado o intervalo de cada variável lingüística, definindo o conjunto *fuzzy*.

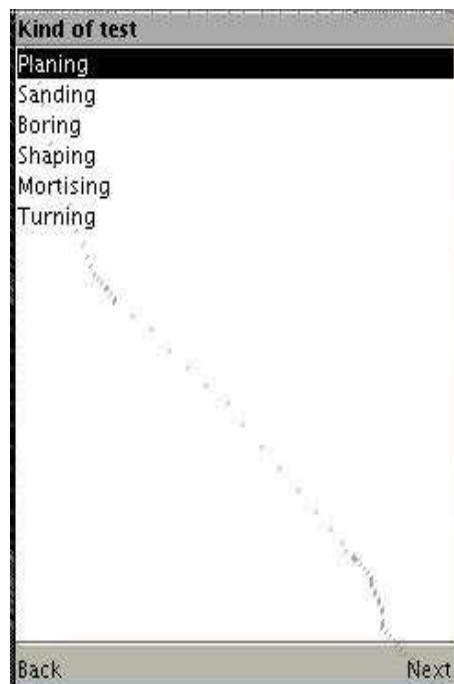


Figura 5-6 – Escolher o Tipo de Teste a ser Realizado

A Figura 5-9 mostra graficamente o conjunto fuzzy da variável lingüística, permitindo ao pesquisador/usuário maior facilidade na calibragem. A Figura 5-10 apresenta a tela para a entrada de dados das intensidades do erro. O **WMacDiag Mobile** captura o quanto o erro está disperso e o quanto o erro está concentrado em um determinado ponto.

A Figura 5-11 apresenta a tela que permite visualizar os conjuntos *fuzzy* do **WMacDiag Mobile**. Há algumas vantagens na visualização desses gráficos, uma delas é permitir melhor calibragem. A Figura 5-12 apresenta a avaliação do **WMacDiag Mobile** para cada tipo de defeito da usinagem escolhida. Nessa tela, há uma opção para buscar, em um banco de dados externos, imagens padrão de qualidade de superfície usinada,

permitindo a comparação das imagens obtidas com a superfície avaliada pelo **WMacDiag Mobile**, para a conferência da nota gerada.



Figura 5-7 – Escolher a Calibragem da Usinagem dos Testes

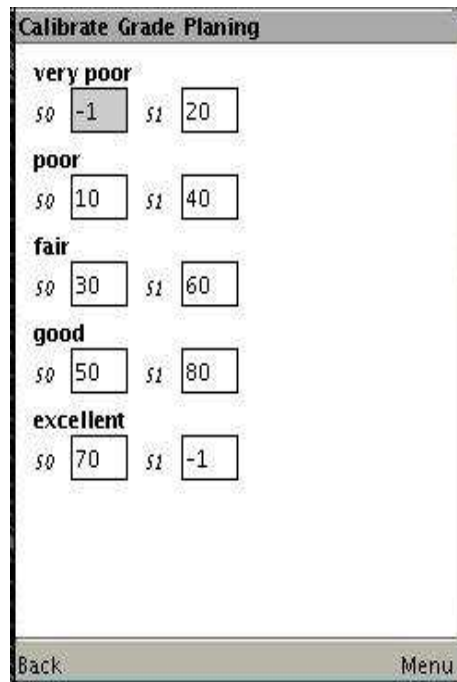


Figura 5-8 – Calibragem

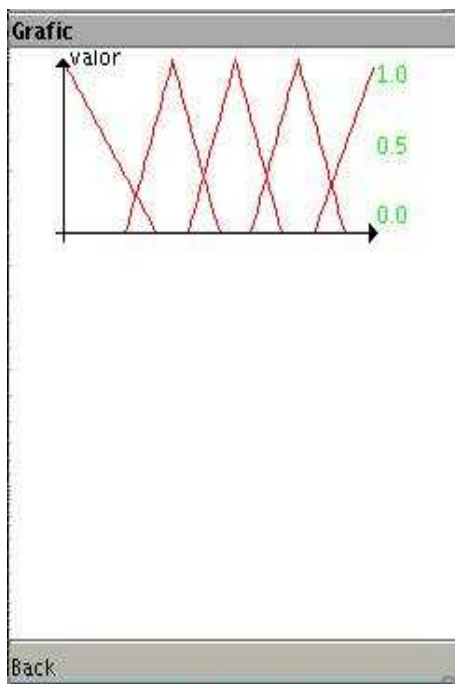


Figura 5-9 – Conjunto Fuzzy da Calibragem

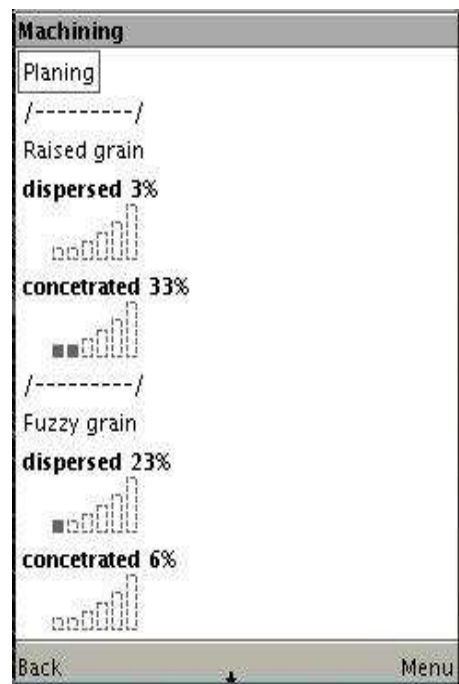


Figura 5-10 – Entrada das Intensidades do Erro

Os resultados mostraram que o **WMacDiag Mobile** simulou o conhecimento humano e a experiência dos especialistas em madeira, manipulando as informações sobre a superfície usinada de forma inteligente. Assim, o **WMacDiag Mobile** foi capaz de atribuir notas de avaliação para a superfície usinada apenas com o valor do percentual e da intensidade de seus defeitos. Em suma, o **WMacDiag Mobile** fornecerá suporte aos pesquisadores e aos centros moveleiros na qualificação da superfície usinada, padronizando as avaliações realizadas por diferentes profissionais, reduzindo o tempo e os custos da operação.

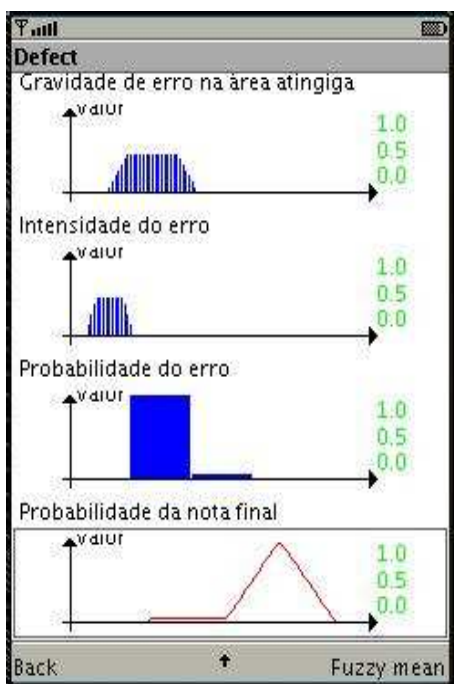


Figura 5-11 – Conjuntos *Fuzzy*

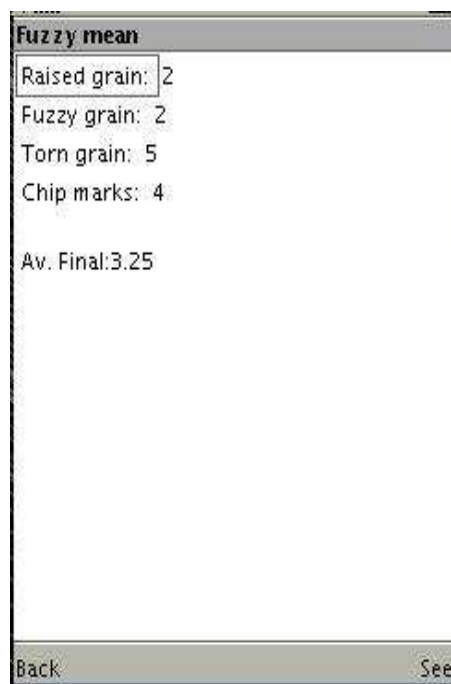


Figura 5-12 – Nota da Superfície Usinada

5.7. Considerações Finais

O **WMacDiag Mobile** promoveu a diminuição das dificuldades encontradas no diagnóstico e classificação da superfície usinada, pelos pesquisadores da Ciência e Tecnologia da Madeira (DCF/UFLA). Além disso, foi possível a criação de um suporte para os pesquisadores e para os centros moveleiros na padronização das avaliações realizadas por diferentes profissionais.

Apesar da norma ASTM 1666-87 (1995) apresentar os métodos de avaliação da superfície usinada passo a passo, melhoramentos mais específicos podem ser previstos. Por exemplo, a qualificação de superfícies usinadas é avaliada por inspeção visual. Essa

qualificação feita por caráter subjetivo pode, por meio de uma nova técnica, mecânica ou física, permitir avaliações com melhor precisão.

Esse trabalho servirá de base para outro software que avaliará a superfície usinada por meio de fotos. Neste caso, a entrada de dados que é feita manualmente será executada por uma foto tirada pelo dispositivo móvel, o que irá agilizar ainda mais o trabalho do avaliador.

Em suma, o **WMacDiag Mobile** visa diminuir o número de falhas, bem como reduzir tempo e custos operacionais.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais do presente trabalho. A seção 6.1 apresenta as principais conclusões. A seção 6.2 cita algumas contribuições proporcionadas pelo seu desenvolvimento. A seção 6.3 discorre sobre algumas propostas de trabalhos futuros.

6.1. Conclusões

Pode-se concluir com a realização deste trabalho que a tecnologia móvel não é apenas uma invenção, ela pode ser considerada uma revolução, pois é capaz de afetar a produtividade das pessoas e fazer parte da sua vida profissional, modificando rotinas e formas de tomar decisões. Além disso, percebe-se que esta tecnologia é útil, pois promove portabilidade para a execução de tarefas, sendo mais flexível e ágil, sem que seja necessária a utilização de uma estação que faça todo o processamento.

Em adição, pode-se constatar que existem mecanismos computacionais que permitem a integração entre sistemas e compatibilidade de aplicações. Com isso, novas aplicações podem interagir eficientemente com aquelas que existem e que sistemas desenvolvidos em plataformas diferentes sejam compatíveis.

Quanto a calibragem do **WMacDiag Mobile** para a avaliação da qualidade de superfícies usinadas em madeira, foi uma etapa decisiva para a sua eficácia, pois o conjunto de dados definidos na calibragem é fundamental para que o **WMacDiag Mobile** pudesse capturar e interpretar os parâmetros estudados e simular as ações desejadas. As políticas implementadas pelo **WMacDiag Mobile** apresentam características coerentes com as descritas pelos principais autores referenciados.

Dessa forma, constatou-se que um sistema especialista, em especial o **WMacDiag Mobile**, pode fornecer suporte aos pesquisadores e centros moveleiros na qualificação da superfície usinada, padronizando as avaliações realizadas por diferentes profissionais, reduzindo o tempo e os custos da operação.

6.2. Contribuições

O presente trabalho deixa como contribuição um sistema especialista móvel, **WMacDiag Mobile**, que promove a diminuição das dificuldades encontradas no diagnóstico e classificação da superfície usinada. Além disso, a metodologia de calibragem utilizada neste trabalho disponibiliza um conjunto de dados que possibilita a calibragem de outros sistemas especialistas com o mesmo fim. De acordo com os resultados, esta calibragem é considerada satisfatória, pois foi obtido 94,7% de acerto das notas geradas com o **WMacDiag Mobile** quando comparadas com as notas dos avaliadores. Além disso, tem-se uma ferramenta de suporte para os pesquisadores e centros moveleiros na padronização das avaliações.

Com relação à divulgação do **WMacDiag Mobile**, em 2008 ele foi apresentado em congresso de iniciação científica da UFLA (XXI CIUFLA) e foram aprovados dois trabalhos no XI-EBRAMEM (11º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira): i) Software para dispositivos móveis para diagnosticar superfícies usinadas em madeira; ii) Metodologia para calibragem de software de qualificação de superfícies usinadas em madeira. Realizado de 14 a 16 de julho de 2008, na cidade de Londrina / PR.

6.3. Trabalhos Futuros

A seguir, são apresentadas algumas sugestões de trabalhos futuros:

- O **WMacDiag Mobile** pode ser usado como módulo para um novo software para avaliar a superfície usinada por meio de fotos. Neste caso, a entrada de dados, que é feita manualmente, pode ser feita por meio de fotos digitais tiradas pelo dispositivo móvel, agilizando o trabalho do avaliador e minimizando a subjetividade da entrada de dados;
- A criação de um *WebService* para abranger mais centros de pesquisas, não se limitando apenas ao grupo de pesquisa Ciência e Tecnologia da Madeira do DCF/UFLA. Dessa forma, obtém-se padronização das avaliações realizadas por diferentes profissionais em outros centros de pesquisas;
- O uso do método de Mamdani para desenvolver outros sistemas especialistas, não se limitando somente a área de tecnologia da madeira, mas abrangendo as outras áreas que não estejam ligadas a usinagem da madeira;

- A evolução do **WMacDiag Mobile** para permitir a entrada de outras funções de pertinência na representação do conjunto *fuzzy*, possibilitando ampliar a sua aplicabilidade, especialmente, nas áreas que envolve controle e tomada de decisão;
- A implementação do **WMacDiag Mobile** em uma linha de produção industrial, ajudando o setor da indústria madeireira a acompanhar as tendências mundiais, visto que os processos de produção passam por constantes mudanças. Estas mudanças visam a reproduzir a inteligência humana nos processos mecânicos usando tecnologia e inteligência artificial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alçada, J. A. G. Estudo sobre a Utilização de uma Aplicação Móvel em um Serviço Hospitalar. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Engenharia da Comunicação) – Universidade Fernando Pessoa, Portugal.
- Amaral, H. Web Development – WebServices com ColdFusion MX. Developers' CIO Magazine. Ano 6 - Nº 71, Julho/2002.
- American Society for Testing and Materials. ASTM D 1666-87 Standard Method for Conducting Machining Tests of Wood and Wood Base Materials. 1995. (reapproved 1994). Philadelphia: 1995. p.226-245.
- Assis, W. M. Avaliação da Tecnologia J2ME no Contexto de Desenvolvimento de Jogos Multiplayers para Celulares. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- Barreto M. J. Introdução as Redes Neurais e Artificiais. Disponível em <http://www.lia.ufc.br/~eti/2003/menu/modulos/RNA/RNARedesNeuraisArtificiaisI.pdf>. Consultado em Agosto de 2005.
- Barros, L. C.; Bassaneli, R. C. Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática. Campinas: UNICAMP/MECC, 2006.
- Bet, L. Estudo da Medição da Textura de Superfícies com Sondas Mecânicas e com Sondas Ópticas Tipo Seguidor. Florianópolis, 1999. 243p. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica. – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Bittencourt G. Inteligência Artificial - Ferramentas e Teorias. Editora da UFSC. 2001.
- Bonduelle, A.; Cruz, C. R. da; Silva, J. R. M. Processo Mecânico da Madeira. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2002. 26p (Notas de aula).
- Castaldelli, M. Teleco – Informações em Telecomunicações - Aplicações Atuais e Futuras para Internet Móvel. Disponível em <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialcmovel/Default.asp>. Consultado em Janeiro de 2006
- Cawsey A. Expert Systems. Disponível em <http://w3.ualg.pt/~hshah/expertsystem/node1.html>. Consultado em Maio de 2005.
- CETMAM/SENAI. Fundamentos Teóricos da Afiação e Manutenção de Ferramentas para a Indústria Moveleira e Madeireira. São José dos Pinhais, 1996. 73p.
- Cobucci, C. E. M. SISGAM: Um Sistema Móvel para Gestão Acadêmica. Monografia. DCC. UFLA. 2006.
- Compêndio de informação técnica para a indústria do mobiliário. [S.l.]: Alternativa, 1992, 198p.

- Compera. Mobilidade Brasil. Setembro de 2002. n. 1, Ano 1. Disponível em <http://www.compera.com.br/Newsletter/MBrasil0101.html>. Consultado em Dezembro de 2006.
- Costa, E. M. A Madeira de Eucalipto na Indústria Moveleira. Seminário sobre Processamento e Utilização da Madeira de Reflorestamento. 1996, Curitiba. ABPM/SBS, 1996. p.75-89.
- Crippa M. Sistemas Especialistas: A Engenharia do Conhecimento Aplicada as Organizações. Disponível em <http://prof-esag.udesc.br/demo/trabalhos/alunos/mc/aplica.html>. Consultado em Junho de 2005.
- Devmedia Group. Desenvolvendo uma Aplicação J2ME. Disponível em <http://www.devmedia.com.br/visualizacomponente.aspx?comp=4025&site=5>. Consultado em Dezembro de 2006.
- Faulkner, C. The Essence Of Human-Computer Interaction. Prentice Hall PTR, 1997.
- Feigenbaum E.; Englemore, R. S. Expert Systems and Artificial Intelligence Disponível em http://www.wtec.org/loyola/kb/c1_s1.htm. Consultado em Maio de 2005.
- Freire, H. WebServices: A Nova Arquitetura da Internet. Developers' CIO Magazine. Ano 7 - Nº 73, Setembro/2002.
- Heinzlet, R.; Feiten, W.; Weissheimer, E. O. Protótipo de um Sistema Especialista para Análise de Crédito de Pessoas Físicas. Anais do V Encontro de Estudantes de Informática do Tocantins. Palmas, TO. Outubro, 2003. pp. 169-178.
- Instituto de Desenvolvimento Cultural. Consultado em <http://www.idc.pt/site>. Consultado em Março de 2007.
- Jung, C. F. Metodologia Para Pesquisa & Desenvolvimento: Aplicada a Novas Tecnologias, Produtos e Processos. Axcel Books. 2004. 328p.
- Junqueira, M. O. MobileX-DAVIS: Um Sistema Especialista Móvel para o Auxílio ao Diagnóstico de Pacientes com Doenças nas Vias Aéreas Superiores e Inferiores. Monografia. DCC. UFLA. 2006.
- Kininmonth, J. A.; Whitehouse, L. J. Properties and Use of New Zealand Radiate Pine: Wood Properties, New Zealand: Forest Research Institute, 1991. v.1.
- Krishnamoorthy, C. S.; Rajeev S. Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers. Ed. CRC Press, 1996.
- Lee, V.; Schneider, H.; Schell, R. Aplicações Móveis - Arquitetura, Projeto e Desenvolvimento. 1ª. ed., São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2005.
- Lima, J. T. Notas de Aula do Processamento da Madeira – Variação Dimensional da Madeira. Lavras: Universidade Federal de Lavras, [199-]. 22p.

- Lopes W. A.; Jafelice, R. S. M.; Barros L. C. Modelagem Fuzzy de Diagnóstico Médico e Monitoramento do Tratamento da Pneumonia. 2005.
- Luger, S. Artificial Intelligence; Structures and Strategies For Complex Problem Solving. Ed. Addison Wesley, 1998.
- Mendes, R. D. Inteligência Artificial: Sistemas Especialistas no Gerenciamento da Informação. Ciência da Informação, v. 26 n. 1, Jan./Apr. 1997. Disponível em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-19651997000100006&script=sci_arttext. Consultado em Maio de 2009.
- Moretti, J. Mobilidade: Muito Além do Hardware e do Software. Disponível em <http://www.abes.org.br/temp11.aspx?id=367&sub=367>. Consultado em Maio de 2009.
- Pamplona, V. F. WebServices. Construindo, disponibilizando e acessando WebServices via J2SE e J2ME. Disponível em www.javafree.org. Consultado em Novembro de 2006.
- Proença, P. A. SisBDR – Sistema de Acesso a diferentes bases de dados remotas utilizando tecnologia móvel. Monografia. DCC. UFLA.
- Promon Business & Technology Review. Mobilidade: A Grande Tendência do Futuro. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em <http://www.promon.com/portugues/noticias/download/>. Consultado em dez. 2005/jan. 2006.
- Rehn, M. V. G. Sistema de Apoio ao Diagnóstico Médico utilizando Tecnologias Móveis. 2005.
- Rezende, S. O.; Prati, R. Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações. Editora Manole, 2003.
- Rischpater, R. Desenvolvendo WIRELESS para WEB – Como Enfrentar os Desafios dos Projetos para a Web Sem Fio. 1ª. ed., São Paulo: Makron Books, 2001.
- Russel S. J.; Norvig P. Artificial Intelligence – A Modern Approach. Ed. Prentice Hall, 1995.
- Savaris, S. V. A. M. Sistema Especialista para Primeiros Socorros para Cães. 2002.
- SENAI. Acabador de Móveis. Ubá: CFP/JAGS, 1995. 29p.
- Silva Filho, A. M. da. O Papel da Diversidade Humana no Design de Interfaces. Revista Espaço Acadêmico, [S.I.], n. 32, jan. 2004.
- Silva, J. R. M. Afição de Ferramentas para o Setor Madeireiro. Lavras: UFLA/DCF, 1996. 37p.

- Silva, J. R. M. Relações da Usinabilidade e Aderência do Verniz com as Propriedades Fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Tese (Doutorado em Eng. Florestal). UFPR, 2002.
- Silva, J. R. M.; Martins, M.; Oliveira, G. M. V.; Braga, P. P. C. Parâmetros de Qualidade da Usinagem para Determinação dos Diferentes Usos da Madeira de *Eucalyptus*. Revista CERNE, Lavras, v.15, n. 1, p.75-83, jan./mar. 2009.
- Silva, J. R. M.; Mendes, L. M.; Trugilho, P. F.; Lima, J. T. Preparação de Superfícies de Madeira e Derivados para Receber Acabamento. Boletim Agropecuário da UFLA, LAVRAS, v. 28, p. 5-26, 1999.
- Silva, J. R. M.; Muñiz, G. I. B.; Lima, J. T.; Bonduelle, A. F. Relações da Usinabilidade com a Morfologia das Fibras da Madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.29, n.3, p.479-487, 2005.
- Sun Microsystems, Inc. Mobile Information Device Profile. Disponível em <java.sun.com/products/midp/midp-ds.pdf>. Consultado em Outubro de 2006.
- TINTAS CORAL. Noções Básicas em Aplicação para Madeira. Santo André, 1994, 9p.
- Urresti, H. R. Tecnologia de WebServices: Passado, Presente e Futuro. Developers' CIO Magazine. Ano 7 - N° 73, Setembro/2002.
- Watai, L. T. Tecnologia Básica em Acabamento de Madeiras. São Paulo: IPT, 1995. 103p.
- WEBMOBILE. J2ME, Aprenda os Segredos de uma Boa Interface com o Usuário e como Desenvolvê-la. Revista Web Mobile, [S.I.], n. 5, nov. 2005.
- Weing. Oberflächenqualität. Werkzeug, Präsentation Hydrotechnik, Jointen. Author: Andreas Schreck. V. cd. 2000.
- Weissenstein, C. Usinagem, Condições da Ferramenta Decide Bom Acabamento. Revista da Madeira, Curitiba, n.57, p.30-32, 2000.
- Westphal, J. T. Modelagem Difusa de um Sistema Especialista Médico: Avaliação dos Fatores de Internação em Crianças Queimadas. IV Workshop de Informática aplicada à Saúde – CBComp 2004.