

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA
COMPUTAÇÃO**

FERNANDO CÉSAR DE ORNELAS

**Geração de Solicitação de Serviço para Inspeção e Manutenção
em Máquinas Industriais Utilizando
Redes Sem Fio**

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciência da Computação.

Orientador: MÁRIO ANTÔNIO RIBEIRO DANTAS, Dr.

Florianópolis-SC, Outubro de 2004.

"Há homens que lutam por um dia, e são bons.
Há homens que lutam por um mês, e são muito bons.
Há homens que lutam por um ano, e são ótimos.
Há homens que lutam por uma vida toda e esses são imprescindíveis"

(Bertolt Brecht)

Dedico este trabalho a minha esposa Mariane e minha filha
Fernanda, que de uma forma ou outra sempre estiveram do
meu lado dando seu apoio principalmente em momentos
que parecia que eu não iria conseguir concluir este trabalho
nunca.

Agradecimentos

Ao meu orientador, Prof. Mario Antonio Ribeiro Dantas pela paciência, dedicação e que indicou de forma clara e objetiva os caminhos a serem seguidos para obtenção do resultado final tão almejado.

À minha filha Fernanda, que foi o “combustível” que impulsionou-me para que eu pudesse prosseguir, trabalhando, estudando e lutando até o fim pelos meus objetivos. Quando você souber ler e entender o que isto significa, saberá quanto você foi importante.

Aos meus pais Fernando e Santina que deram-me os primeiros ensinamentos, à dona Vitória que sempre deu força e torceu pelo êxito deste trabalho.

A todos que deram seu apoio tanto com idéias, como com conhecimento e incentivos, entre muitos: Sandro, Vagner, Carla, os amigos e colegas de curso e de trabalho.

E finalmente aos professores que participaram das bancas tanto na apresentação do TI, como na dissertação pelos comentários e indicações bastante pertinentes ao tema tratado.

Sumário

LISTA DE LEGENDAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE ACRÔNIMOS.....	vi
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
2. COMUNICAÇÃO SEM FIO.....	5
2.1 EVOLUÇÃO	5
2.2 AMBIENTE DA COMUNICAÇÃO MÓVEL.....	7
2.2.1 <i>Arquitetura Lógica</i>	8
2.2.2 <i>Arquitetura Física em Redes de Computação Sem Fio</i>	8
2.2.3 <i>Tecnologias de Comunicação Sem Fio</i>	11
2.2.4 <i>Componentes da Comunicação Sem Fio</i>	13
2.3 MODELOS DA COMPUTAÇÃO SEM FIO VISANDO A APLICAÇÃO	14
2.3.1 <i>Modelo Cliente/Servidor</i>	14
2.3.2 <i>Modelo Cliente/Agente/Servidor</i>	15
2.3.3 <i>Modelo Cliente/Interceptador/Servidor</i>	16
2.3.4 <i>Modelo Fim-a-Fim</i>	17
2.3.5 <i>Agentes Móveis</i>	17
2.4 DESAFIOS DA COMPUTAÇÃO SEM FIO	19
2.4.1 <i>Portabilidade</i>	19
2.4.2 <i>Mobilidade</i>	21
2.4.3 <i>Adaptação</i>	22
2.4.4 <i>Largura de Banda</i>	24
2.4.5 <i>Conectividade</i>	24
2.4.6 <i>Manipulação na Base de Dados</i>	26
2.5 TIPOS DE APLICAÇÕES NA COMPUTAÇÃO SEM FIO.....	28
2.5.1 <i>Aplicações Horizontais</i>	28
2.5.2 <i>Aplicações Verticais</i>	28
2.5.3 <i>Aplicações Horizontais Genéricas</i>	29
3. BANCO DE DADOS COM ABORDAGEM MÓVEL	31
3.1 UMA ANÁLISE COMPARATIVA DOS TERMOS	31

3.1.1	<i>Banco de Dados Distribuídos x Móveis</i>	31
3.1.2	<i>Base de Dados Consolidada x Base de Dados Móvel Remota</i>	33
3.2	GERÊNCIA DE CACHE DE DADOS	34
3.2.1	<i>Benefícios do Armazenamento em Cache</i>	34
3.2.2	<i>Invalidação de Cache</i>	36
3.3	LOCALIZAÇÃO DE DADOS	36
3.3.1	<i>Busca e Atualização</i>	36
3.3.2	<i>Acesso e Disponibilidade dos Dados</i>	38
3.4	GERENCIAMENTO DE TRANSAÇÕES	38
3.4.1	<i>Propriedades ACID</i>	39
3.4.2	<i>Modelos de Transação para Ambiente Móvel</i>	39
3.5	DISSEMINAÇÃO E RECONCILIAÇÃO DE DADOS	42
3.5.1	<i>Disseminação ou Replicação de Dados</i>	42
3.5.2	<i>Reconciliação ou Reintegração de Dados</i>	44
3.6	OUTRAS CARACTERÍSTICAS.....	45
3.6.1	<i>Tolerância e Recuperação de Falhas</i>	45
3.6.2	<i>Segurança</i>	46
3.6.3	<i>Apresentação dos Dados nas Unidades Móveis</i>	47
4.	AMBIENTE EXPERIMENTAL, REPLICAÇÃO E REINTEGRAÇÃO DE DADOS	48
4.1	AMBIENTE E SITUAÇÃO ATUAL	49
4.2	DECISÕES DE PROJETO.....	51
4.3	AMBIENTE EXPERIMENTAL PROPOSTO	54
4.3.1	<i>Motivação</i>	54
4.3.2	<i>Outras Características</i>	56
4.4	MODELO DE DADOS DA APLICAÇÃO.....	57
4.4.1	<i>Abordagem do Modelo Entidade x Relacionamento</i>	57
4.4.2	<i>Modelo de Dados no Servidor</i>	58
4.4.3	<i>Modelo de Dados nos Clientes Móveis</i>	62
4.4.4	<i>Desenvolvimento das Aplicações</i>	64
4.5	REPLICAÇÃO E REINTEGRAÇÃO DOS DADOS.....	66
4.5.1	<i>Replicação ou Disseminação de Dados</i>	66
4.5.2	<i>Reintegração dos Dados</i>	73
4.6	COMUNICAÇÃO CLIENTE/SERVIDOR.....	76
4.6.1	<i>Sincronização Cliente/Servidor</i>	78
4.6.2	<i>Hotsync</i>	79
5	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	81
5.1	INTRODUÇÃO	81
5.2	EXPERIMENTOS EMPÍRICOS	81
5.2.1	<i>Testes no Emulador do Palmtop</i>	86
5.3	REPLICANDO OS DADOS PARA AS UNIDADES MÓVEIS	87
5.3.1	<i>Necessidade de Replicação Total ou Parcial</i>	88
5.3.2	<i>Replicação Híbrida</i>	88
5.3.3	<i>Emprego do Protocolo de Replicação Otimista</i>	89
5.4	REINTEGRANDO OS DADOS NA BASE CONSOLIDADA.....	90
5.4.1	<i>Conteúdo da Reintegração</i>	90

5.4.2	<i>Controle Centralizado de Atualizações</i>	91
5.4.3	<i>Garantia de Efetivação de Transações Atômicas</i>	91
5.5	BENEFÍCIOS OBTIDOS NA UTILIZAÇÃO DE UNIDADES MÓVEIS	91
5.5.1	<i>Economia de Tempo nos Apontamentos</i>	91
5.5.2	<i>Mobilidade Concedida</i>	92
5.5.3	<i>Persistência e Qualidade dos Dados</i>	93
5.5.4	<i>Desempenho e Acesso aos Dados</i>	93
5.6	LIMITAÇÕES IDENTIFICADAS	94
5.6.1	<i>Recursos de Memória</i>	94
5.6.2	<i>Carga da Bateria</i>	95
5.6.3	<i>Adaptação</i>	96
5.6.4	<i>Disposição da Estrutura Física</i>	96
5.6.5	<i>Algoritmos Complexos e Concorrência de Dados</i>	97
5.6.6	<i>Custos Envolvidos</i>	98
6.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	100
6.1	CONCLUSÕES	100
6.2	TRABALHOS FUTUROS	103
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

Lista de Legendas

FIGURA 01	Primeiro Computador Móvel – Osborne 1.....	06
FIGURA 02	Rede <i>Ad-Hoc</i>	09
FIGURA 03	Comunicação Sem Fio Suportada por Diversas Arquiteturas.....	10
FIGURA 04	Ponto de Acesso IEEE 802.11b da LG.....	12
FIGURA 05	Alguns Dispositivos que já Utilizam o Chip Bluetooth.....	12
FIGURA 06	Modelo Cliente/Servidor.....	14
FIGURA 07	Modelo Cliente/Agente/Servidor ou Três Camadas.....	15
FIGURA 08	Modelo Cliente/Interceptor/Servidor.....	16
FIGURA 09	Modelo Fim-a-Fim.....	17
FIGURA 10	Agentes Móveis.....	18
FIGURA 11	<i>Palm Tungsten C</i> da <i>PalmOne Inc.</i>	19
FIGURA 12	Limites das Estratégias de Adaptação.....	22
FIGURA 13	Protocolos de Suporte a Desconexão.....	26
FIGURA 14	Base Remota e Consolidada.....	34
FIGURA 15	Diagrama de Entidade x Relacionamento.....	60
FIGURA 16	Modelo de Dados nos Clientes Móveis.....	63
FIGURA 17	Métodos de Envio de Dados.....	67
FIGURA 18	Classificação de Algoritmos de Controle de Concorrência.....	76
FIGURA 19	Modelo Cliente/Servidor Comunicação Rede Fixa e Móveis.....	77
FIGURA 20	Cradle – Base de Sincronismo M500.....	78
FIGURA 21	Tela de Login na Unidade Móvel.....	82
FIGURA 22	Apresentação das SS's Disponíveis.....	83
FIGURA 23	Detalhamento da SS a ser Apontada.....	84
FIGURA 24	Itens Indicados para Manutenção.....	84
FIGURA 25	Item da SS Apontado e Pronto para ser Confirmado.....	85

Lista de Tabelas

TABELA 1	Máquinas, Planilhas e Número de Apontadores.....	50
TABELA 2	Símbolos e Qualificações dos Itens da Tabela.....	59
TABELA 3	Descrição das Entidades da Aplicação Real.....	61
TABELA 4	Símbolos Utilizados para Determinar Características dos Itens....	62
TABELA 5	Descrição dos Objetos Disponíveis nas Unidades Móveis.....	64
TABELA 6	Estrutura de Comunicação.....	64
TABELA 7	Equipamento Utilizado no Ambiente Experimental.....	78

Lista de Acrônimos

ACID	<i>Atomicity, Consistency, Isolation, and Durability</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
AT	<i>Amnesic Terminals</i>
BT	<i>Broadcast Timestamp</i>
CAD	<i>Computer Aided Dispatcher</i>
CCS-IUP	<i>Cache Coerence Schema with Incremental Update Propagation</i>
CDLC	<i>Connected, Limited Device Configuration</i>
DAA	<i>Data Access Agents</i>
DLL	<i>Dynamic Link Library</i>
EAP	<i>Extensible Authentication Protocol</i>
ERD	<i>Entity Relationship Diagrammer</i>
GCORE	<i>Group with Cold Update-Set Retention</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GLS	<i>Global Location System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Services</i>
HTTP	<i>Hipertext Transfer Protocol</i>
IEEE	<i>Institute of Eletrical and Eletronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
J2SKD	<i>Java 2 Standard Development Kit</i>
J2ME	<i>Java 2 Micro Edition</i>
JCP	<i>Java Commnity Process</i>
JVM	<i>Java Virtual Machine</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
MAN	<i>Metropolitan Area Network</i>
MIDP	<i>Mobile Information Device Profile</i>
MSS	<i>Mobile Support Station</i>
MMS	<i>Multimedia Message Service</i>
MU	<i>Mobile Unit</i>
NIC	<i>Network Interface Card</i>
PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>

POPL	<i>Psion Organizer Programming Language</i>
PCN	<i>Personal Communication Networks</i>
RAM	<i>Random access memory</i>
RMI	<i>Remote Method Invocation</i>
RPC	<i>Remote Procedure Call</i>
SGBD	Sistema Gerenciador de Banco de Dados
SMS	<i>Short Message Service</i>
SS	Solicitação de Serviço
TI	Tecnologia da Informação
UID	<i>Unique Identifier</i>
VPN	<i>Virtual Private Networks</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
WARD	<i>Wide Area Replication Domain</i>
WEB	<i>Word Wide Web</i>
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i>
WTK	<i>Wireless ToolKit</i>

Resumo

Nesta dissertação apresentamos um estudo de caso de aplicação real de rede sem fio, cujo objetivo é a melhoria nas atividades de inspeção e a identificação da necessidade de manutenção em máquinas e equipamentos na área industrial. Fazendo utilização de redes sem fios e de unidades móveis, que se conectam periodicamente a uma rede estruturada, permitimos acesso aos dados em uma base consolidada de acordo com as permissões de cada usuário.

Nossa aplicação foi baseada em uma arquitetura cliente/servidor, na qual uma rede sem fio deverá proporcionar acesso direto e flexível a uma base de dados corporativa, gerando solicitações de serviço e planilhas de inspeção em equipamentos industriais. Os dados disponíveis na rede estruturada são apresentados nas unidades móveis que circulam pela fábrica, através da aplicação vertical desenvolvida. Inspectores de máquinas e mecânicos terão suas tarefas facilitadas devido à disponibilidade dos dados em tempo real e à mobilidade provida pelos *palmtops*.

As rotinas de inspeção e de manutenção industrial, em conjunto com a comunicação sem fio, provêm inovação e agilidade nos setores que utilizam máquinas e equipamentos industriais de médio e grande porte, otimizando as atividades do dia a dia. Utilizando unidades móveis, os usuários terão à sua disposição as solicitações de serviço e as planilhas de atividades semipreenchidas, tendo apenas que completar os campos solicitados ou assinalar os itens indicados. A reintegração destes dados no sistema consolidado é efetuada de maneira rápida através de um sincronizador de dados, descartando a necessidade da entrada de dados manual por parte dos digitadores do sistema e eliminando as planilhas de papel.

Concluimos com sucesso nossos objetivos e os nossos resultados finais indicam que obtivemos ganhos com o desempenho das tarefas, economia de papel, otimização de tempo do usuário, a disponibilidade *on-line* e a segurança dos dados na base consolidada.

PALAVRAS-CHAVE: Computação Móvel, Banco de Dados, Replicação e Reintegração de Dados.

Abstract

In this dissertation we presented a study of a real application case of net without thread, which objective is the improvement in the inspection activities and the identification of the maintenance need in machines and equipments in the industrial area. Using nets without threads and of mobile units, that they are connected periodically to a structured net, we allowed access to the data in a base consolidated in agreement with each user's permissions.

Our application was based on an architecture client/server, in which a net without thread should provide direct and flexible access to a cooperative database, generating service solicitations and inspection sheets to industrial equipments. The available data in the structured net are presented in the mobile units that circulate in the factory, through the developed vertical application. Machines inspectors and mechanics will have its tasks facilitated due to the readiness of a data in real time and to the mobility provided by the palmtops.

The inspection's routines and industrial maintenance, along the communication without thread, provide innovation and agility in the sections that use machines and industrial equipments of medium and big load, improving day by day activities. Using mobile units, the users will have the service solicitations and the sheets of activities half-filled at your disposal, just tends to complete the requested fields or marking the suitable items. The reintegration of these data in the consolidated system is made in a fast way through a data synchronization, discarding the need of data manual entrance by the users of the system and eliminating sheets.

We ended with success our objectives and the final results indicate that gains was obtained by the acting of the tasks, sheet economy, improve of the user's time, the readiness on-line and the safety of the data in the consolidated base.

KEYWORDS: Mobile Computing, Database, Replication and Data Reintegration.

1. Introdução

1.1 Considerações Iniciais

As empresas que trabalham com TI (Tecnologia da Informação) estão atingindo maiores níveis de eficiência e provendo melhores serviços para seus clientes com aplicativos que são executados em dispositivos móveis, tais como *notebooks* e *PDA's (Personal Digital Assistant)*. Comercialmente, aplicações de mobilidade, que utilizam redes sem fio ou equipamentos, como os citados anteriormente ou ainda telefones celulares habilitados para comunicação móvel, têm conseguido um papel de destaque, facilitando as atividades do dia a dia.

Com novas pesquisas, avanços dos aparelhos e das linhas de telecomunicações têm se conseguido atingir um nível satisfatório de eficiência e de integridade, mantendo a segurança dos dados que trafegam neste meio. Os novos aplicativos nesta área podem ser tão simples para permitir o acesso aos dados através de um e-mail ou mais sofisticados com informações de tráfego urbano ou aéreo. Ou ainda, podem dispor de uma alternativa que possibilite aos usuários acessar bancos de dados locais ou remotos, arquivos de clientes disponíveis no escritório central, por meio de pontos de acesso padrão IEEE 802.11 ou de redes remotas públicas sem fio [IEEE GROUP 2004].

Aplicativos podem dispor de serviços de notificação para enviar mensagens quando algum acionador de bancos de dados interno é ativado, quando o limite de crédito de um cliente tiver atingido um determinado valor de compra ou quando o horímetro de uma máquina industrial registrar um valor de tempo em atividade para uma manutenção preventiva, por exemplo.

Mas, algo que ainda dificulta a viabilidade e a utilização desta arquitetura nas áreas de TI, é a replicação de dados e a manutenção da coerência de *cache* nos dispositivos móveis (clientes) e a reintegração e gerenciamento consistente destes dados na base de origem de forma consolidada (servidor).

Segundo [BRAYNER 2003, IMIELINSKI & BADRINATH 1994], o paradigma da computação móvel requer que conceitos e modelos de várias áreas da ciência da computação sejam revistos, por exemplo, na área de redes:

- As redes de comunicação precisam ser ubíquas, no sentido de que devam garantir a conectividade independente da localização do usuário.
- A configuração da rede deve ser dinâmica, pois a participação de componentes é ocasional e a migração dos mesmos pode ocorrer com frequência. Desta forma, a rede deve ser dinamicamente configurável.

No que se refere à engenharia de software, o paradigma de computação móvel introduziu o conceito de código móvel, para o qual as ligações entre unidades de código e o ambiente no qual são executados, com variáveis de ambiente e pilha de execução, podem ser alterados dinamicamente. Adicionalmente, códigos móveis precisam ter conhecimento sobre o ambiente computacional em que estão sendo executados. Dessa forma, podem tomar decisões e executar ações com base nesse conhecimento, utilizando devidamente os recursos disponíveis e necessários.

1.2 Motivação e Objetivos

Utilizando computadores portáteis e a computação sem fio, é possível montar uma rede onde o servidor de dados possa disponibilizar uma base de dados para os clientes móveis e ainda permitir que os clientes se comuniquem entre si disponibilizando ou trocando dados de forma independente. Assim, cada novo cliente incorporado nesta rede compreende um novo componente que pode receber e compartilhar dados com o servidor de dados ou com outros clientes móveis.

Considerando que um computador móvel poder mudar constantemente sua localização física, este deverá continuar funcionando como um componente do ambiente distribuído sem perder suas características, precisando apenas conectar-se a um servidor de banco de dados consolidado ou a outro cliente móvel para reintegração dos dados que sofreram manutenção e receber novas atualizações.

Considerando que os dados podem estar distribuídos e fragmentados em diversos servidores através de réplicas de dados, podemos facilitar a comunicação, diminuindo o tráfego desnecessário e permitindo o acesso em qualquer lugar e em qualquer momento, permitindo assim a utilização dos mesmos de maneira local.

O grande desafio em questão é fazer com que os dados estejam disponíveis de uma forma dinâmica independente se o cliente estiver conectado a um servidor

fixo e trabalhar com aplicações que otimizem a utilização de recursos destas unidades.

Uma outra vantagem é que neste novo cenário, cada cliente pode comportar-se como servidor de banco de dados, considerando a admissão de operações em modo de desconexão. Assim, o novo servidor continua disponível mesmo quando não conectado da rede. Esse é o modelo de replicação otimista, onde os clientes não conectados da rede trabalham com dados do próprio cliente em memória ou num banco pessoal, facilitando ainda mais a comunicação e garantindo a disposição dos dados em tempo integral. Segundo [CUNHA 2003], este fato garante ao usuário um alto desempenho de processamento, extensa disponibilidade de informações e ampla mobilidade. Além disso, com a existência de réplicas de dados, não é preciso haver comunicação contínua entre unidades móveis e fixas, permitindo a utilização de computadores portáteis.

A oportunidade para abordar este tema e implementar um protótipo, surgiu a partir de uma necessidade real de uma indústria têxtil da região de Blumenau em Santa Catarina, que percebeu quanto perde em tempo e disponibilidade de seus colaboradores que precisam efetuar a digitação de dados das inspeções e das manutenções realizadas em suas máquinas, a partir das anotações em planilhas de papel.

O protótipo apresentado nesta dissertação se baseia em uma aplicação real que utiliza as facilidades das redes sem fio. Trata-se de um processo parte automatizado, parte manual, onde as SS's (solicitações de serviço) podem ser geradas a partir da digitação de dados no sistema ou a partir de dados colhidos através das unidades móveis que "circulam" pela fábrica. O sistema no servidor processa estes dados e a partir deles gera novas solicitações ou novas planilhas para serem utilizadas pelos inspetores e mecânicos em suas atividades diárias.

Com a utilização de dispositivos móveis e de redes sem fio, demonstraremos como é possível obter altos índices de desempenho, disponibilidade e segurança nas atividades com estas características, além da economia na utilização de planilhas em papel e da organização dos setores e de suas atividades.

1.3 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi organizada da seguinte forma:

No capítulo 2 faremos uma fundamentação sobre a comunicação sem fio, um pouco de sua evolução, características lógica e física, tecnologias e especificações certificadas pela *WI-FI Alliance* [WI-FI 2004], os tipos de aplicações suportados por este meio de comunicação e os novos desafios a serem superados na área.

No capítulo 3, a abordagem será referente à associação do banco de dados num ambiente de comunicação sem fio, considerando conceitos de replicação e reintegração neste meio, armazenamento e gerência de *cache* e outras características, como tolerância e recuperação em caso de falhas, adaptação e os aspectos de segurança.

No capítulo 4, apresentaremos referências a respeito da replicação e reintegração de dados, o modelo de dados de um sistema utilizando comunicação sem fio, para ajudar a resolver o problema da digitação de solicitações de serviço num ambiente industrial, referentes a máquinas e equipamentos.

No capítulo 5 expomos o protótipo da aplicação que executa nas unidades móveis, os resultados experimentais, benefícios obtidos e as principais dificuldades encontradas a partir da utilização destes dispositivos neste meio.

No capítulo 6 apresentamos as propostas para futuras implementações e melhorias no ambiente e as conclusões finais.

2. Comunicação Sem Fio

2.1 Evolução

A computação móvel ou nômade surgiu recentemente como uma tecnologia inovadora e capaz de resolver grandes problemas de portabilidade e mobilidade podendo manter as unidades conectadas ou não aos servidores mesmo em deslocamento. As empresas precisam manter a disponibilidade constante de comunicação com suas unidades móveis, em função de suas diversas localidades de atendimento, principalmente as que operam com base de dados distribuídos e em locais nos quais a implantação de redes convencionais torna-se muito dispendiosa [IMIELINSK& BADRINATH 94].

A necessidade de ter dados disponíveis o mais rápido e atualizados possíveis, de uma maneira prática, mas segura, levou empresas de tecnologia e comunicação a empregarem conceitos avançados e inovadores para implementar novas redes e desenvolver dispositivos móveis que atendessem a demanda do mercado atual.

Fazer com que a mobilidade permita utilizar dados distintos conforme a localização do dispositivo móvel e também manter a disponibilidade em uma área de cobertura da qual a unidade participe, pode possibilitar que os dados sejam utilizados de uma maneira distribuída e controlada, diminuindo o tráfego de rede e aumentando o desempenho dos dispositivos móveis.

Dependendo da capacidade de armazenamento de dados em disco ou memória de cada unidade (*cache*), estes dispositivos podem servir como servidores para outros clientes móveis dando origem a uma rede *Ad-Hoc*.

Para conhecer melhor a evolução desta arquitetura, pode-se fazer uma regressão à data do lançamento do que foi considerado o primeiro computador móvel da história, o *Osborne 1*. Lançado em 1981, disponibilizava apenas 52 caracteres e trabalhava com *softwares* muito simples para os padrões de hoje, como *Basic*, *Wordstar*, *SuperCalc* e uma calculadora (Fig. 1).

Porém, apenas em 1984 surgiram os primeiros dispositivos denominados *pda's*, com o lançamento do *Psion I* pela empresa britânica *Psion*. Este dispositivo possuía o programa *Psion Organizer* com um pequeno banco de dados utilizado apenas para pesquisas. Disponibilizava ainda um calendário, relógio, um conjunto de aplicativos com

cálculos matemáticos e dispunha ainda da capacidade de programação em POPL - Psion *Organizer Programming Language*, uma linguagem própria similar ao *Basic*.

Ainda em 1984, a Epson lançou o modelo HX20, sendo este considerado o primeiro *laptop*, mas a tecnologia próxima da mais recente, foi lançada pela *Apple* apenas em 1993, com o *Newton Message Pad*, o qual contava com reconhecimento de textos escritos a mão livre, o *Hand Writing Recognition*, através de uma caneta conhecida como *Stylus Pen*. Como foi uma a primeira incursão neste universo, ainda apresentava algumas dificuldades e regras a serem seguidas para facilitar a identificação do que era escrito pelo usuário [MAC MAGAZINE 2004].



FIGURA 1 - Primeiro Computador Móvel – Osborne 1.

Em Março de 1996, a *Palm* lança seu *Palm Pilot 1000* e o *Palm Pilot 5000*, introduzindo o conceito de comunicação com um servidor remoto, permitindo enviar e receber dados que na verdade eram mensagens. Tornou-se desta forma, uma das líderes mundiais neste segmento, juntamente com *Compaq* que lançou o *Compaq Ipad* [GENTE PALM 2004].

Apesar dos avanços tecnológicos, melhorias ainda serão feitas sobre os aspectos de apresentação dos dados nas telas ainda com características restritas, economia de energia da bateria, capacidade de armazenamento de dados ou mensagens, conectividade e possibilidade de executar aplicativos mais confiáveis e seguros.

Os dispositivos mais conhecidos e utilizados se diversificam entre *notebooks*, *laptops*, *palmtops* e telefones celulares dos diversos fabricantes, marcas e modelos:

- **Notebooks e laptops:** possuem alta capacidade de processamento e armazenamento. Numa rede *Ad-Hoc* e em caso de desconexão, podem ser utilizados como servidores de banco de dados;

- **Palmtops (pda's ou handhelds):** permitem entrada de dados por teclado ou por uma caneta do tipo *Stylus Pen*. Podem permitir conexão às redes celulares de 3^a Geração;
- **Telefones celulares:** além de ligações tradicionais para comunicação pessoal, permitem acesso à *Internet*, podem mandar e receber mensagens de correios eletrônicos e manipular dados financeiros/bancários, entre outras funcionalidades mais triviais;

Definir qual o tipo de unidade móvel ideal será uma tarefa decorrente da necessidade de cada área, graças à disponibilidade e à diversidade de modelos para computação móvel. Esta avaliação prevê vários fatores como capacidade de armazenamento e memória, velocidade de processamento, portabilidade, apresentação dos dados e formas de comunicação como *IEEE 802.11* ou *Bluetooth*.

2.2 Ambiente da Comunicação Móvel

Em computação móvel precisa-se distinguir claramente dois conceitos:

- **Computação móvel ou nômade:** unidades móveis como *notebooks*, *laptops* e *palmtops* comunicando-se com a parte fixa da rede ou com outros computadores móveis sem a necessidade de ter uma posição fixa. Um *notebook*, como computador móvel, pode estar ligado por um fio à *Internet* dentro de uma empresa, em um hotel.
- **Computação sem fio:** a comunicação é feita através do ar, via rádio frequência, microondas, raio infravermelho ou laser. Os computadores em uma rede não precisam ser portáteis, como é o caso de empresas ou silos dispostos em locais onde a comunicação por fios acaba sendo muito dispendiosa.

Segundo [CUNHA 2003], as redes sem fio são mais suscetíveis a erros de transmissão e nelas podem ocorrer perdas de conexão temporária mais vezes do que em redes terrestres, devido ao alcance das células de cobertura que provêm comunicação das unidades móveis com as redes fixas. Para entender melhor estes problemas, é preciso conhecer um pouco mais da arquitetura envolvida.

2.2.1 Arquitetura Lógica

Conforme mencionado em [MANIATIS et al. 1999], redes sem fio, assim como as redes convencionais, também são formadas por níveis, protocolos e *interfaces* distintas, onde cada nível oferece um conjunto de serviços ao nível superior provenientes dos serviços inferiores.

São chamados de níveis, programas ou processos implementados no hardware ou implementados por um software e que se comunicam com processos em outras máquinas. Sobre este aspecto [CUNHA 2003], afirma que podemos ter níveis de aplicação no cliente ou no servidor, onde um software pode acessar serviços de transporte de infraestrutura do nível anterior, através de uma rotina intermediária (*middleware*), principalmente se for necessária para comunicação entre plataformas distintas, tornando-se responsável pela maneira como são feitas as chamadas entre estas *interfaces*, bem como a maneira de definir as *interfaces* entre o cliente e o servidor.

2.2.2 Arquitetura Física em Redes de Computação Sem Fio

Em [SSU et al. 1998], são classificados os ambientes móveis para redes sem fio em duas categorias, globais e locais:

- No ambiente global, as estações móveis pertencem às empresas de telecomunicações e os usuários podem alugá-las por um determinado tempo. Neste método, o armazenamento depende exclusivamente dos fornecedores do serviço;
- Nos ambientes locais, foco desta dissertação, as estações base pertencem às pessoas jurídicas ou indústrias de diversos produtos, as quais utilizam equipamentos portáteis. Assim, os usuários têm livre acesso aos recursos dos dispositivos, podendo armazenar ou não os dados em suas unidades, conforme a disponibilidade do dispositivo.

A comunicação sem fio pode ser estabelecida de diversas formas: por frequência de radio, raio infravermelho, transmissão via satélite, microondas ou laser. Para estes tipos de comunicação pode-se citar três tipos de arquiteturas mais usadas:

- **Celular:** formados por áreas de cobertura chamadas de células. São ligadas a uma rede fixa através de canais sem fio. Neste caso os clientes estão conectados e/ou associados à suas áreas de cobertura. As áreas de cobertura dependem da distribuição de antenas para replicar o sinal e ampliar a mesma a longas distâncias;
- **Infraestrutura:** este é um termo genérico, pois pode combinar diversos tipos de redes como LAN (*Local Area Network*) sem fio, MAN (*Metropolitan Area Network*) sem fio ou uma WAN (*Wide Area Network*) com elementos que utilizam comunicação sem fio;
- **Ad-Hoc:** nestes tipos de arquitetura a rede é estabelecida a partir da comunicação entre dois dispositivos sem a necessidade de ligação física entre eles. A conectividade depende da distância entre eles. A comunicação geralmente é rápida e segura (Fig. 2).

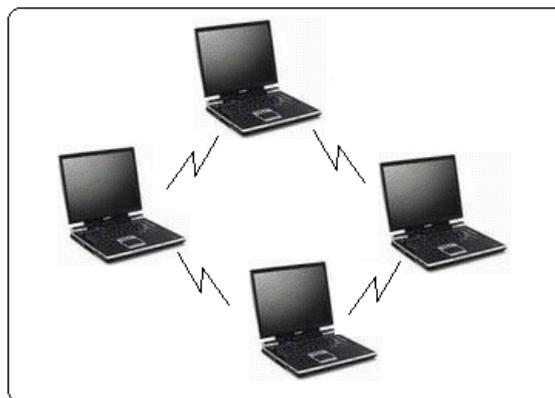


FIGURA 2 - Rede Ad-Hoc.

- **Redes de infraestrutura locais:** as redes locais continuam como padrão de conectividade física entre *desktops*, *workstations*, e servidores onde os cabos ainda são inevitáveis [CUNHA 2003]. Com o surgimento de diversos provedores de acesso e novos dispositivos para usos domésticos, conhecidos como Pontos de Acesso, foi possível criar novos tipos de redes chamadas de PCN (*Personal Communication Networks*). As redes sem fio estão tornando-se mais populares e também precisam alcançar melhorias em conectividade, largura de banda e acessibilidade, inclusive no que se refere aos custos [IMIELINSK & BADRINATH 94].

A comunicação sem fio pode ser suportada por diversas arquiteturas (Fig. 3).

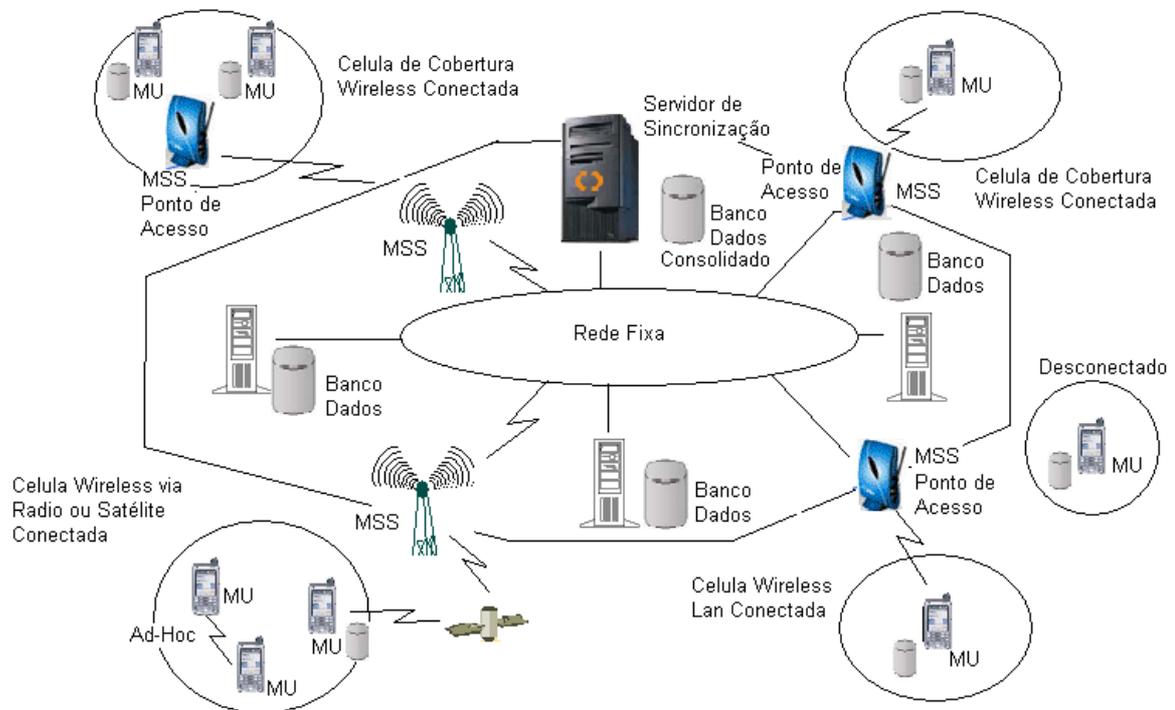


Figura 3 - Comunicação sem Fio Suportada por Diversas Arquiteturas.

**Adaptada de DUNHAN et al. 1997, PITOURA & BHARGAVA 1999,
IMIELINSKI & BADRINATH 1994.**

As legendas apresentadas e suas utilizações nesta figura são as seguintes:

MSS – *Mobile Support Station*, como *interface* sem fio;

MU – *Mobile Unit*, como estações móveis;

Rede Fixa, que não utiliza comunicação sem fio, mas liga servidores às estações fixas.

Na figura 3, são apresentados basicamente dois conjuntos de entidades: Estações móveis e estações fixas. As estações de suporte móvel MSS (*Mobile Support Station*,) podem ser providas de aplicações ou rotinas, onde as unidades móveis MU (*Mobile Unit*) possam buscar ou atualizar dados conforme a necessidade ou que ainda possam ser utilizadas como supervisores de dados com o servidor principal consolidado. Pode-se também chamá-las de estação base. Os MSS's podem também armazenar informações dos clientes móveis em suas células, como os arquivos de *log*, direitos de acesso e perfis específicos de cada unidade. [IMIELINSKI & BADRINATH 94, PITOURA 1998]

chamam as estações MU's de terminais do tipo “*dumb*”, quando estes possuem pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento e de terminais do tipo “*workstation*”, as MU's que possuem discos próprios, armazenam dados e que possam servir como estações servidoras numa rede *Ad-Hoc*.

Alguns cenários são apresentados quando se trata de redes locais sem fio:

- **Redes sem fio de fato:** quando ocorrem mudanças e movimento constante das unidades móveis e estas precisam de conexões rápidas;
- **Redes locais sem fio flexíveis:** quando a disponibilidade de conexão atinge uma área de cobertura maior, mas continua necessitando de um servidor na rede fixa;
- **Redes LAN x LAN:** quando a necessidade de comunicação abrange distâncias maiores, podendo utilizar antenas de provedores privados para aumentar a área de cobertura;

2.2.3 Tecnologias de Comunicação Sem Fio

- IEEE 802.11b

Este padrão tornou-se muito popular nos meios de comunicação sem fio, graças aos acessos concedidos pelos *hotspots* (locais com ponto de acesso sem fio em lugares abertos ao público) à *Internet* em locais como: restaurantes, aeroportos e cafés em todo o mundo. Alguns dos fatores que afetam este tipo de tecnologia são: o raio de cobertura e a largura de banda que diminui sensivelmente conforme aumenta a distância com o ponto de acesso na especificação IEEE 802.11b (Fig. 4). O melhor alcance e velocidade chegam a 11 MB/S, mas cai gradativamente conforme a unidade móvel se desloca para longe da origem do sinal.

Em 2004, foram lançadas outras especificações, como a IEEE 802.11a, IEEE 802.11g e IEEE 802.11x, que podem atingir velocidades de até 54 MB/S e prospectam-se novas especificações com capacidades ainda maiores [IEEE GROUP 2004].

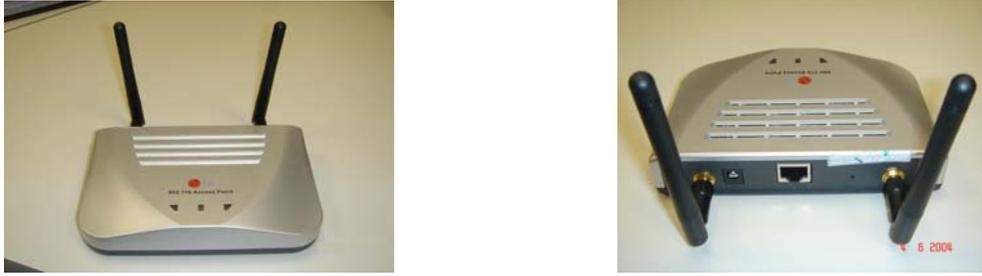


FIGURA 4 - Ponto de Acesso IEEE 802.11b da LG.

- *Bluetooth*

Especificação para ligação de computadores móveis sem fio e de pequeno porte e tamanho, como telefones celulares e eletrodomésticos, a outros dispositivos móveis ou a servidores de rede fixos. Isto possibilita que a interligação seja rápida e automática entre eles e até com a *Internet*, aumentando a interação do usuário com os dispositivos e tornando ainda mais comum a utilização da comunicação sem fio [BLUETOOTH 2004].

Um dos aspectos que dificultam a proliferação desta especificação é o baixo alcance dos dispositivos entre si, restringindo-se a utilização doméstica, pois sua taxa de transmissão fica próxima de 1 MB/S. A solução neste caso é que seja feita uma combinação entre as outras redes móveis e os dispositivos *Bluetooth*, completando assim sua funcionalidade. Alguns aparelhos que utilizam esta tecnologia são apresentados a seguir (Fig. 5).



FIGURA 5 - Alguns Dispositivos que já Utilizam o Chip Bluetooth.

- **Telefonia Celular**

Além de ser utilizado principalmente para comunicação por voz, a telefonia celular passou a ter uma demanda expressiva por transmissão e recepção de mensagens e de dados. Neste caso também, como no *Bluetooth*, o principal problema é a taxa de transmissão, que chega apenas a 144 KB/S e os altos custos decorrentes da quantidade de dados a serem transmitidos pela rede [PLANETA CELULAR 2004].

2.2.4 Componentes da Comunicação Sem Fio

A comunicação sem fio pode contar com componentes básicos e similares utilizados nas redes convencionais, pois a idéia principal da rede ainda é a mesma, destacando, que neste caso podemos estar desprovidos de ligações por cabos utilizando apenas clientes móveis.

Alguns novos componentes são introduzidos neste contexto:

- **Cartões do tipo NIC (*Network Interface Card*):** possibilitam a ligação em rede da unidade móvel com o ponto de acesso à rede fixa ou a outras unidades que possuem dispositivos compatíveis;
- **Pontos de acesso:** são módulos de controle ou *hubs* controladores de cartões do tipo NIC. Os pontos de acesso fazem a interligação com as redes fixas. Geralmente são ligados por cabos ou por outras conexões do tipo *IEEE 802.11b*;
- **Antenas externas de longo alcance:** geralmente são antenas externas, utilizadas para receber ou encaminhar os sinais transmitidos. Permitem o aumento da área de cobertura do sinal;
- **Hotspots:** são locais providos de pontos de acesso, sendo utilizados perante o pagamento de uma taxa a utilização da rede. Geralmente só permitem acesso à *Internet*, utilizando comunicação sem fio. Estão disponíveis tradicionalmente em aeroportos, restaurantes e cafés.

2.3 Modelos da Computação sem Fio Visando a Aplicação

Para verificar o grande impacto que representou a computação móvel junto às redes, basta examinar os efeitos sobre o tradicional modelo cliente/servidor, onde temos um servidor confiável com dados consolidados e clientes móveis, aparentemente com dados não confiáveis. Técnicas como armazenamento em memória local (*cache*) e de leituras de dados antecipadas (*head-ahead*), podem ser utilizadas para melhorar o desempenho e aumentar a disponibilidade neste meio, enquanto que a autenticação ponto a ponto e a codificação na transmissão podem ser utilizados para garantir a segurança da base de dados na rede [SATYANARAYANAN 1996].

2.3.1 Modelo Cliente/Servidor

Aplicações cliente/servidor são aplicações onde existem interações entre sistemas de computação - aplicação cliente e que requisitam serviços para uma aplicação que está sendo executada em um outro sistema computacional - aplicação servidora [PITOURA 1998].

Em alguns casos, as aplicações ou dados podem estar distribuídos entre os servidores fixos e interligados entre si numa rede fixa. Assim, cada servidor pode ter funcionalidades distintas, uns dando suporte às aplicações, à comunicação e à segurança, enquanto que outros disponibilizam a base de dados consolidada para clientes móveis (Fig. 6).

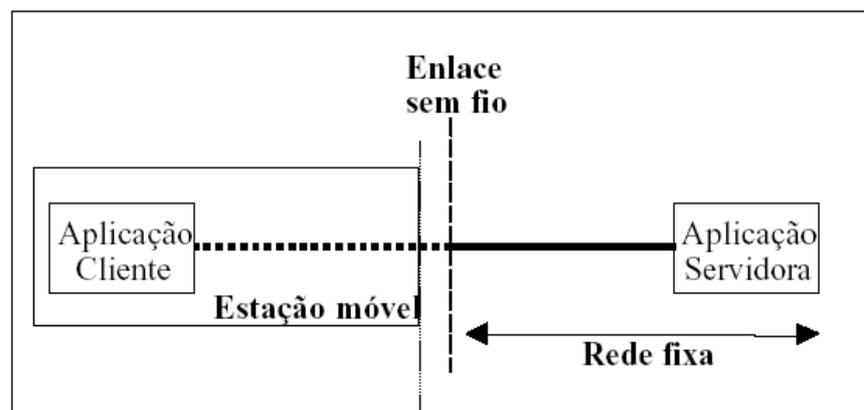


FIGURA 6 - Modelo Cliente/Servidor.

Neste modelo, a unidade móvel faz papel de cliente e a unidade fixa o papel de servidor, como no modelo tradicional da computação fixa. Quando estiver em estado de desconexão e a unidade móvel não estiver se comunicando com a unidade fixa, a unidade móvel pode atuar como servidor de rede ou dados e pode continuar operando normalmente [CUNHA 2003].

Os mecanismos de comunicação freqüentemente utilizados em uma rede cliente/servidor são RPC (*Remote Procedure Call*) e troca de mensagens. Como nos mecanismos tradicionais, o RPC pode sofrer constantes desconexões. [JOSEPH et al. 1997], afirmam que pode ser utilizado o mecanismo de RPC assíncrono para minimizar estes problemas e otimizar os custos de comunicação entre o cliente/servidor.

Para melhorar este modelo pode ser incorporado o conceito de agentes intermediários entre cliente e servidor, citado a seguir.

2.3.2 Modelo Cliente/Agente/Servidor

A inclusão de um programa facilita e minimiza problemas de transmissão de mensagens entre cliente e servidor. Este programa deve ser implementado para atuar junto ao servidor administrando casos de desconexão e fazendo com que no momento em que a conexão seja retomada, as atualizações sejam restauradas nos clientes móveis ou implementadas para facilitar o processo de reintegração de dados no servidor fixo (Fig. 7).

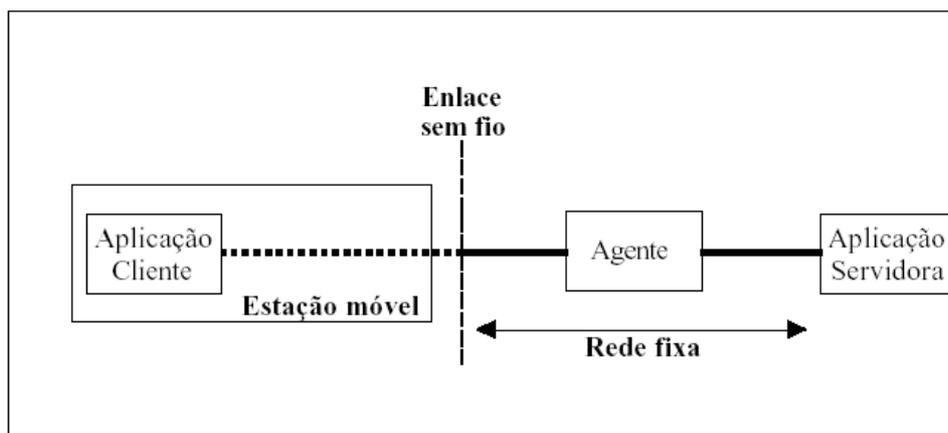


FIGURA 7 - Modelo Cliente/Agente/Servidor.

Segundo [PITOURA 1998], os agentes devem seguir algumas regras ou políticas e podem ser usados numa variedade de formas, como:

- **Proxies:** mantêm a comunicação entre cliente e servidor tendo acesso a canais de comunicação de alta velocidade e com funcionalidades extras. Neste caso, toda a comunicação passa pelo agente.
- **Agentes de serviços específicos:** proporcionam acesso a serviços específicos ou aplicações específicas, como por exemplo, a *Internet* ou a uma base de dados; Neste caso, as solicitações dos clientes e as respostas do servidor estão associadas a serviços específicos.

2.3.3 Modelo Cliente/Interceptador/Servidor

Chamado também de modelo Par de Agentes [PITOURA 1998]. Este modelo mantém tanto no cliente como servidor, agentes próprios e estes se comunicam entre si a fim de aumentar a troca de informações entre a rede fixa e a unidade móvel. Segundo [SAMARAS & PITSILLIDES 1997], este modelo recebe esta denominação por tratar as mensagens de saída e entradas nas unidades a fim de minimizar os efeitos da transmissão de dados nos canais de comunicação.

Este modelo é recomendado quando uma unidade exige muito processamento ou o armazenamento de uma massa de dados muito grande, pois oferece flexibilidade e pode operar gerenciando desconexões, graças à existência destes agentes. Por outro lado, neste modelo ocorre o processamento tanto por parte do cliente quanto por parte do servidor e há necessidade de desenvolver aplicações distintas para ambos, pois as funcionalidades são claramente distintas (Fig. 8).

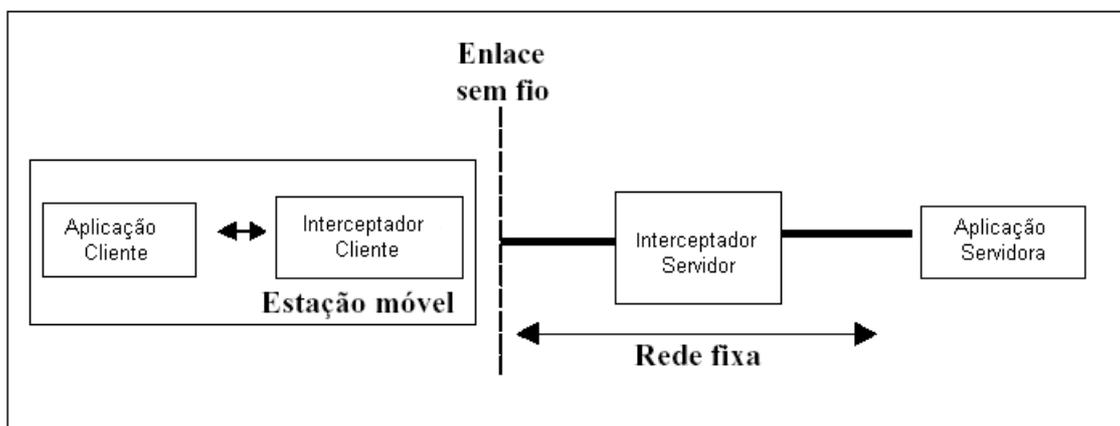


FIGURA 8 - Modelo Cliente/Interceptador/Servidor.

2.3.4 Modelo Fim-a-Fim

Neste modelo não existe distinção entre o cliente e o servidor, ou seja, as estações móveis podem assumir os dois papéis e a comunicação pode ser feita com a estação base que estiver disponível naquele momento.

Geralmente é utilizado quando existe volume constante de comunicação entre as unidades móveis, tornando o acesso móvel muito rápido e aumentando a confiabilidade dos dados nas unidades, devido às constantes conexões com o suposto servidor. Devido às desconexões ou a fraca conectividade, o agente do servidor disponibiliza dados para o agente do cliente e o agente do cliente disponibiliza os dados para o agente do cliente (Fig. 9).

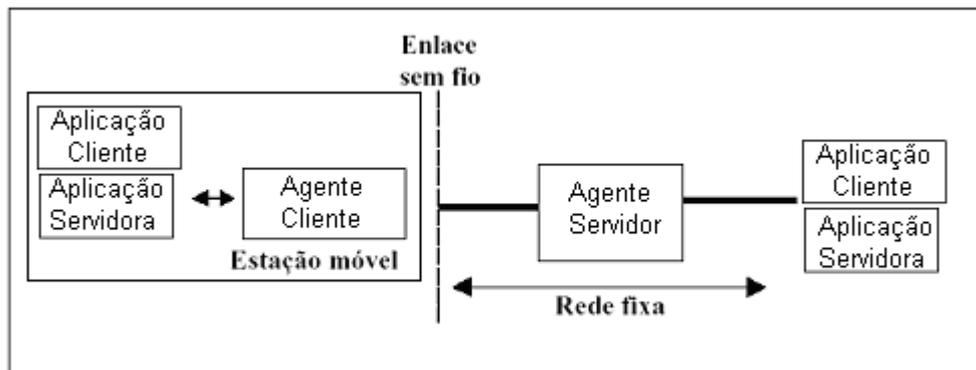


FIGURA 9 - Modelo Fim-a-Fim.

2.3.5 Agentes Móveis

Este modelo possibilita que aplicações disparadas a partir de uma estação móvel ou da estação fixa possam ser executadas em outras estações também móveis ou fixas remotamente. São programas inteligentes que podem movimentar-se através da rede. Podem possuir objetos ou códigos fonte encapsulados, não somente com dados, mas também com informações para sua manipulação e atualização na rede (isto geralmente durante a execução de rotinas) podendo ainda reagir a eventos externos a ele [PITOURA 1998, MURTHY 1998].

Este modelo é uma extensão do mecanismo baseado em RPC, possibilitando o envio de requisições entre clientes e servidores, acrescentando os agentes móveis. A inserção

de agentes pode melhorar em muito a comunicação entre as unidades móveis, pois pode agir junto a outros agentes móveis em casos de desconexão e operar em diferentes protocolos de comunicação. Agindo em conjunto com outros agentes, pode executar operações diferenciadas complementando a função destes agentes. Num ambiente de banco de dados, pode ser utilizado para identificar e acessar dados conforme a localização da unidade móvel (Fig. 10).

Principais características destes agentes:

- **Delegação:** o usuário ou programa pode delegar tarefas para o agente ou conceder a ele uma certa autoridade;
- **Autonomia:** o agente pode tomar suas próprias decisões baseando-se em regras, metas e objetivos, políticas e preferências pré-estabelecidas;
- **Comunicação:** pode interagir como servidor ou cliente;
- **Cooperação:** pode cooperar com todos os agentes que tenham objetivos e metas comuns;
- **Flexibilidade:** pode ter suas características alteradas, sendo às vezes cliente e em outras o servidor;
- **Dinâmicos:** move-se na rede para executar tarefas distribuídas e pré-definidas.

Exemplos mais conhecidos [BERNARDES 1999]:

Java Aglets da IBM;

Mole da Stuttgart University;

Tacoma da Cornell University;

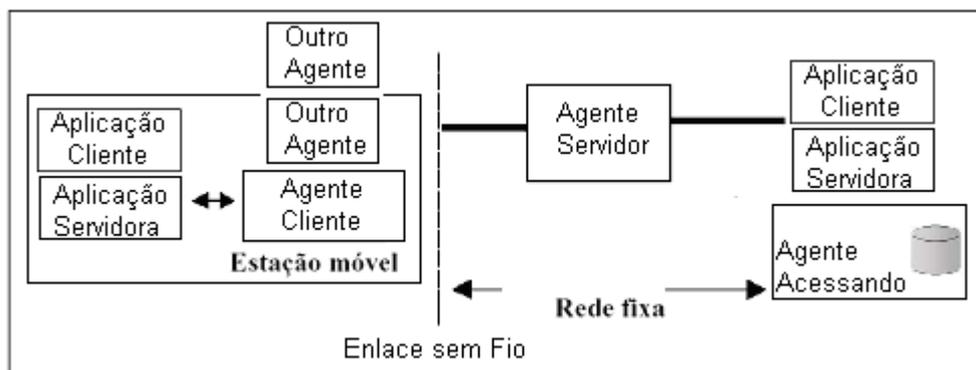


FIGURA 10 - Agentes Móveis.

2.4 Desafios da Computação Sem Fio

2.4.1 Portabilidade

Portabilidade é a capacidade de um terminal móvel operar a partir de diferentes pontos de conexão, com exceção do momento em que ele estiver mudando do ponto de conexão, pois ao se mover de uma área para outra, todas as conexões são encerradas e reiniciadas no novo ponto de conexão.

As unidades móveis em sua grande maioria são pequenas, leves e fáceis de carregar. Geralmente não têm grande capacidade de armazenamento, pois são desprovidas de discos rígidos e os dados são armazenados em memória local. Suas baterias têm uma carga de energia limitada, impossibilitando a utilização por longo período de tempo sem que seja feita uma recarga. As mais recentes, como o Palm Tungsten C da PalmOne (Fig. 11), possuem dispositivos para comunicação em redes sem fio, necessitando apenas de alguma configuração interna para permitir o acesso a uma rede fixa ou de infra-estrutura.

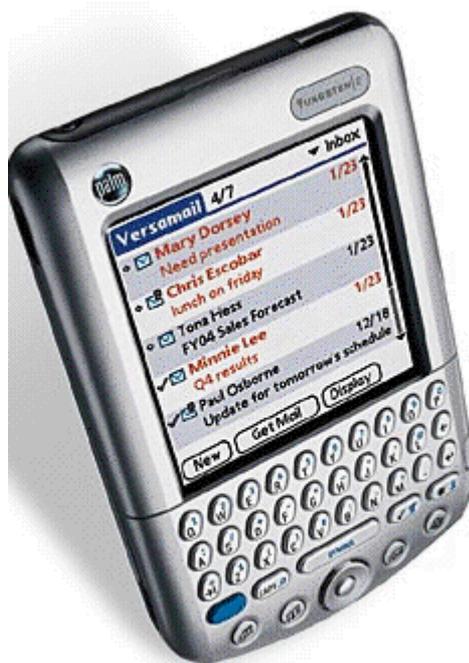


FIGURA 11 – *Palm Tungsten C da PalmOne Inc.*

Segundo alguns autores, entre eles [FORMAN & ZAHORJAN 94, PITOURA 1998], os problemas decorrentes da portabilidade podem ser variados:

- **Interface limitada:** telas são pequenas, embora já sejam coloridas e possuem uma boa resolução. Estes dispositivos geralmente são desprovidos de algumas facilidades em função de seus teclados ou botões multi-direcionais. Permitem utilização de canetas especiais do tipo *Stylus Pen* com reconhecimento de escrita manual. Embora sejam bem mais sofisticados, possuem poucos recursos gráficos e são carentes de aplicações mais completas e seguras;
- **Capacidade de armazenamento:** os usuários precisam trabalhar com pequena quantidade de dados. Por ser tratar de um dispositivo pequeno, não há local para inserir alguma unidade rígida de armazenamento. Geralmente o armazenamento está restrito a cartões de memória próximos a 16, 32, 64 e 128 *MB/s*;
- **Consumo de energia:** devem procurar minimizar a utilização de recursos sempre que possível, pois as tentativas de conexão, avisos, recebimento e transmissão de mensagens ou dados consomem rapidamente os recursos da bateria;
- **Processador da unidade:** podem ter gerenciadores inteligentes de voltagem e frequência de trabalho. Desta forma, podem economizar energia;
- **Conectividade:** a capacidade de se conectar com outros aparelhos, como no uso de unidades com *bluetooth*, *palmtops* ou celulares, não representa problema quando em estado estacionário, mas quando em movimento, pode apresentar muita variação na conexão;
- **Segurança dos dados:** pelo fato de ser portátil, o usuário corre o risco de perder ou ter sua unidade furtada, o aparelho pode sofrer danos físicos e tentativas de acessos não autorizados. Devido a estes inconvenientes é importante contar com um backup numa base remota se necessário e alguns critérios de segurança de acesso como decodificação de chaves de acesso;
- **Largura de banda:** ainda pequena para este tipo de comunicação, mas em crescimento;
- **Heterogeneidade de protocolos:** devido ao deslocamento e às mudanças constantes de área, podem estar atuando em locais onde os protocolos sejam diferentes, ou podem acessar dados simultaneamente numa área onde haja redes heterogêneas.

2.4.2 Mobilidade

Mobilidade é a capacidade de um terminal móvel continuar em contato contínuo com os recursos de rede necessários para o funcionamento das aplicações que estão executando. Neste caso, nem o sistema, nem as aplicações são encerradas ou reiniciadas quando ocorre a mudança de área, pois o modo de acesso é completamente sem fio, tornando-se um ambiente altamente dinâmico e estável.

Segundo [FORMAN & ZAHORJAN 94, PITOURA 1998], os problemas decorrentes da mobilidade podem ser variados:

- **Topologia de rede:** é necessária uma revisão dos algoritmos distribuídos devido à ausência de topologia fixa de rede com servidores móveis;
- **Localização:** [FORMAN & ZAHORJAN 94], chamam de volatilidade a capacidade de alternar de localidade conforme a disponibilidade das informações, mudando de endereço dinamicamente através de *MIP'S (Mobile Internet Protocol)* e completam que quando as pessoas se movem, seus computadores pessoais deverão usar diferentes redes e endereços, o que dificulta ainda mais a sua localização na rede fixa;
- **Gerenciamento da localização dos objetos móveis na rede:** devido aos constantes deslocamentos e mudanças de área. Isto requer uma base de informações dinâmica e constantemente atualizada.
- **Balanceamento de carga:** dificulta o ajuste do balanceamento de carga nas unidades móveis, já que primeiro precisa-se localizar as unidades móveis e estas estarão em constante deslocamento;
- **Heterogeneidade de produtos:** embora as empresas estejam trabalhando para diminuir este problema, os dispositivos podem ser os mais variados possíveis devido aos diversos fabricantes e devido a evolução da tecnologia;
- **Variedade de serviços disponíveis para as unidades:** requer aplicações que possuam dispositivos de acesso e segurança confiáveis;
- **Preços:** alto custo das unidades móveis e das conexões.

Ainda segundo o mesmo autor, novas implementações na arquitetura representam novos desafios, como:

- **A utilização de agentes móveis:** o hardware e o usuário não se movem e sim os processos, códigos fonte ou aplicações que respondem às tarefas;
- **A arquitetura *Ad-Hoc*:** as unidades móveis são capazes de se comunicarem umas com as outras diretamente, sem nenhum tipo de ligação ou intervenção com bases fixas;
- **A computação penetrante:** é uma combinação da computação sem fio e do modelo de agentes móveis, pois considera a movimentação do usuário utilizando aplicações com dados e agentes móveis;
- **Utilização de terminais do tipo *Thin-Client*:** considera a movimentação do usuário algo transparente, permitindo que o mesmo tenha acesso aos dados, dentro de uma rede fixa, mantendo seu perfil no momento da conexão.

2.4.3 Adaptação

A dinamicidade das unidades e as limitações da computação móvel fizeram surgir a necessidade de técnicas de adaptação [JING et al. 1999]. Numa rede sem fio, em ambientes heterogêneos, é necessário que se possua algoritmos capazes de se adaptarem a diversas situações. As unidades móveis precisam de mecanismos de gerenciamento para continuar em funcionamento conforme as mudanças de ambiente e para poderem reagir a estas mudanças [MENKHAUS 2002]. O mesmo acontecerá com as aplicações quando tratarmos da apresentação dos dados.

Segundo [PITOURA 1998, SATYANARAYANAN 1996], podemos definir uma faixa de estratégias para adaptação delimitada por dois extremos: *Application-Transparent* e *Laissez-Faire*, também chamados de planos de adaptação (Fig. 12).

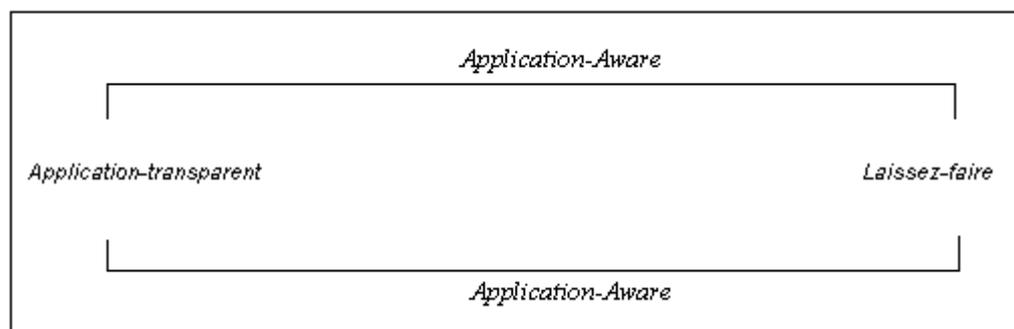


FIGURA 12 - Limites das Estratégias de Adaptação.

Adaptada de SATYANARAYANAN 1996.

- *Application-Transparent* – num extremo, a adaptação é solicitada pelo sistema e executada nas aplicações. As aplicações continuam operando sem mudanças, o que pode causar problemas de desempenho se a aplicação executar de maneira isolada (*stand-alone*) [PITOURA 1998];
- *Laissez-Faire* – no outro extremo, a adaptação é deixada por conta simplesmente da aplicação. Nenhum apoio é solicitado ao sistema e em alguns casos as aplicações precisam ser reescritas para atender as solicitações [PITOURA 1998];
- Intermediando os modos de adaptação citados, [SATYANARAYANAN 1996] apresenta o modo *Application-Aware* que gerência a adaptação entre o sistema operacional e as aplicações disparadas. O sistema operacional monitora os níveis de qualidade dos recursos e informa as aplicações sobre as mudanças relevantes no ambiente, como largura de banda e memória. Neste caso, as aplicações devem ser ágeis suficientes para receber e tratar eventos de maneira assíncrona e poder reagir devidamente [PITOURA 1998].

Vários aspectos podem ser observados para estabelecer uma arquitetura de adaptação, segundo [PITOURA 1998]:

- **Recursos:** os recursos disponíveis são uns dos maiores aspectos de adaptabilidade. O servidor fixo deve efetuar o processamento pesado e não interferir nas unidades móveis que precisam contar com suas funcionalidades e que as faça operar utilizando o menor numero de recursos possíveis, pois os mesmos são limitados;
- **Dados:** neste aspecto, cabe adaptar os tipos de dados antes de serem transmitidos conforme a largura de banda disponível (será abordado no capítulo 3);
- **Desempenho:** deve-se ter cuidado sobre as transmissões para que não seja afetado o desempenho das unidades móveis. Fazer adaptações, planejar a transferência de dados reduzindo volume e forma dos mesmos, conforme as possibilidades e necessidades;
- **Comunicação:** utiliza tecnologia de difusão (*broadcast* e *multicast*), evitando que os mesmos dados sejam enviados mais de uma vez para as mesmas

unidades móveis desnecessariamente e por microondas feita por satélite ou estações terrestres.

2.4.4 Largura de Banda

Enquanto a largura de banda cresce rapidamente para atender as redes convencionais, produtos para redes sem fio dispõem ainda de largura de banda muito baixa ao que se espera e se julga necessário [PITOURA 1998], ou seja, a velocidade de transmissão de dados em redes sem fio é bem menor do que nos meios convencionais efetuados com cabos elétricos ou fibras óticas, é o que chamamos de assimetria na rede.

Devido à necessidade de maior segurança, garantias de serviço, transmissões mais rápidas neste meio, os custos também podem ser bem mais altos, daí a necessidades de se planejar bem antes de implementar ou instalar uma rede deste tipo.

2.4.5 Conectividade

As unidades devem estar preparadas para trabalhar em modo de desconexão, devido às variações constantes dos canais de comunicação, desconexões voluntárias ou não, quebras de unidades e fim da bateria dos dispositivos móveis. Estas limitações e possíveis problemas decorrentes da desconexão devem ser tratados, assim como os sistemas operacionais e as aplicações que devem estar preparadas para estas variações de características das redes.

Segundo [ITO 2001], as desconexões podem ser categorizadas de duas maneiras:

- Involuntárias ou forçadas, quando a unidade móvel entra numa região onde não há cobertura da rede;
- Voluntárias quando ocorrem problemas de comunicação tais como ruídos no sinal, diminuições de largura de banda, bateria fraca com necessidade de liberação de canais de comunicação.

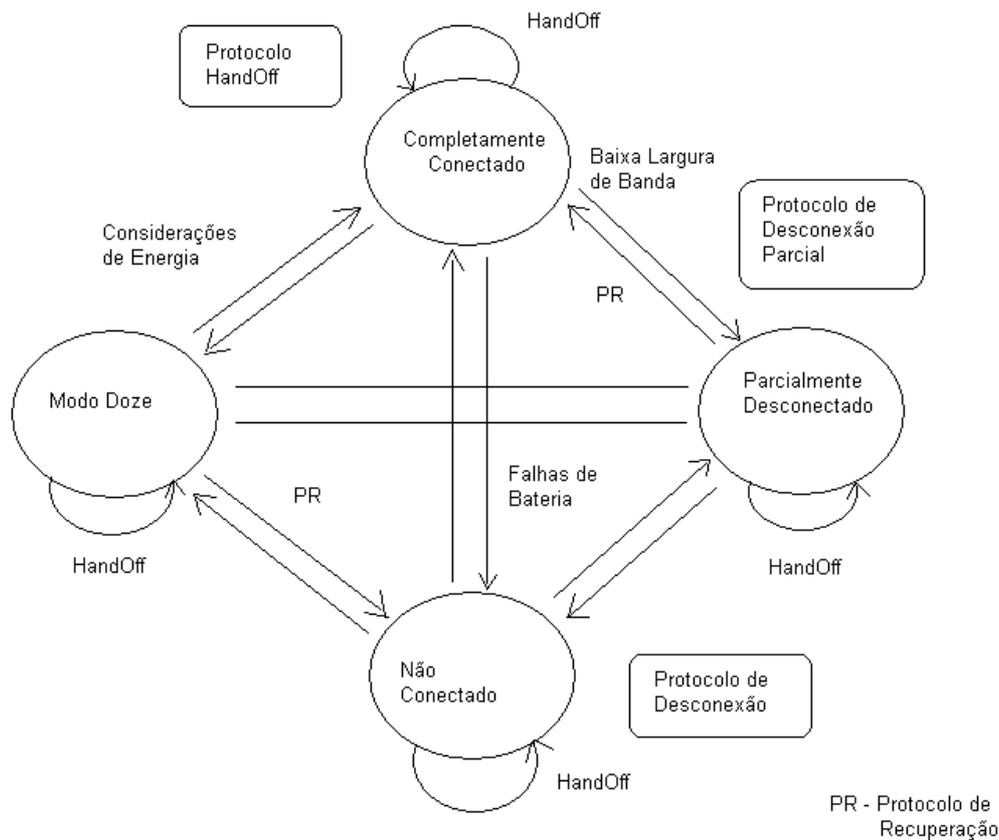
Uma desconexão não é considerada uma falha grave, pois pode ser antecipada e tratada devidamente pré-carregando os dados nas unidades móveis.

São três os estados pelos quais pode passar uma desconexão da rede fixa [PITOURA & SAMARAS 1998]:

- **Hoarding:** os dados são pré-carregados nas unidades móveis, para que possa ter autonomia de operação durante o período de desconexão. São armazenados num *cache* local e tornam-se disponíveis para outras unidades da rede quando a mesma não estiver conectada;
- **Emulação/Desconexão:** neste estado, as unidades móveis podem apenas executar operações locais, pois não estão mais ligados ao servidor. Desta forma, apenas os dados armazenados em *hoarding* estão disponíveis;
- **Reintegração/Reconciliação:** quando é efetuada uma nova conexão com a estação base, os dados da unidade móvel são atualizados na estação base conforme as informações decorrentes dos modos que operam sobre estes dados. Neste estado, as operações devem ser tratadas com muito cuidado no intuito de atualizar os dados devidamente e evitar a concorrência muito comum nestes casos.

Segundo [PITOURA & BHARGAVA 1999], estes problemas podem ser amenizados utilizando protocolos de comunicação adequados e podem ser designados para preparar o sistema para transição entre os modos de operação citados (Fig. 13):

- **Protocolo de desconexão:** garante que uma unidade móvel possa operar normalmente de forma autônoma; Um dos possíveis problemas causadores do problema são as falhas de baterias ou danificação do aparelho;
- **Desconexão parcial:** neste caso a unidade pode estar conectada à rede, mas deve fazer uso da mesma o menor tempo possível, ou seja, a unidade está preparada para operar de forma autônoma, embora não esteja conectada. Isto pode ser causado pela pouca largura de banda disponível;
- **Protocolo de recuperação:** quando necessária, a comunicação é re-estabelecida com a rede fixa e pode operar normalmente;
- **Handoff:** é a capacidade da unidade móvel manter a conexão mesmo ultrapassando as fronteiras da sua área de cobertura passando de uma região para outra mantendo a conexão com uma rede fixa.



Fonte: PITOURA, Evaggelia; BHARGAVA, Bharat. Building Information Systems for Mobile Environments, Maryland, ACM Press, Novembro, 1994.

FIGURA 13 - Protocolos de Suporte a Desconexão.

2.4.6 Manipulação na Base de Dados

Quando se trata de acesso à base de dados em computação móvel, as principais questões a serem respondidas são: como os dados estarão disponíveis nas unidades e como eles serão atualizados na base de dados consolidada. O principal foco neste caso, seria manter as unidades operacionais mesmo que o usuário esteja em deslocamento ou fora de sua área de cobertura e reintegrá-los assim que estivesse conectado à rede.

Base de dados consolidada é uma base de dados onde os mesmo estão validados e íntegros de acordo com regras bem definidas de modelagem ou pela análise de negócio efetuada anteriormente. Neste caso, os dados passaram por todas as validações pré-determinadas por um administrador de dados, considerando critérios de chave primária, estrangeira e utilização de índices.

Para manter a transparência entre o usuário e as áreas de cobertura, é gerada uma quantidade muito grande de tráfego na comunicação entre o servidor fixo e as unidades móveis, pois a todo instante a unidade móvel verifica a existência de sinal e se há área na qual está atuando.

Para minimizar o problema de fluxo de dados e para gerenciar os possíveis momentos sem conexão, é necessário que seja feita a disseminação de dados nas unidades móveis, gerando réplicas idênticas às da base consolidada.

Segundo [BARBARA 1999], algumas concessões podem ser feitas para se atingir a melhor relação entre funcionalidade e desempenho, resolvendo problemas como:

- **Assimetria:** quando a largura de banda é maior do lado do servidor e menor do lado dos clientes móveis;
- **Desconexões frequentes:** migração de uma área para outra ou mais áreas de conexão ao mesmo tempo;
- **Limitações de energia:** precisam de recargas constantes;
- **Tamanho da tela:** a apresentação dos dados tem impacto direto sobre os dados ou sobre a apresentação e gerenciamento dos mesmos.

Os dados podem ser tratados nas unidades móveis e nas unidades fixas, mas o servidor fica encarregado de manter os dados sempre disponíveis e íntegros, enquanto que a unidade móvel pode manipulá-los conforme as permissões concedidas. São duas operações básicas de envio e recepção de dados a partir do servidor de banco de dados:

- A replicação de dados em unidades móveis é uma técnica muito importante, pois aumenta a disponibilidade dos dados e melhora muito o desempenho das aplicações sobre estes dados na unidade e otimiza os recursos de hardware e de rede [BARBARA 1999];
- A reconciliação é a atualização/reintegração dos dados no servidor após estes sofrerem alterações sobre as cópias replicadas nas unidades móveis. Neste caso, o servidor deve também gerenciar estes dados, aceitando ou recusando os mesmos conforme as políticas de reintegração pré-definidas, possibilitando repassar estes dados ou registros atualizados nas demais unidades que estejam trabalhando com réplicas.

2.5 Tipos de Aplicações na Computação Sem Fio

A computação móvel tem se expandido e se popularizando a cada dia que passa, primeiro com os celulares, *palmtops* pessoais e agora o comércio e indústria procuram obter vantagens sobre as facilidades deste universo.

Devido à necessidade de mobilidade e portabilidade foram criados conjuntos de novas aplicações e possibilidades para atender os mais diversos tipos de clientes [IMIELINSK & BADRINATH 1994].

As aplicações desenvolvidas podem ser classificadas em três grupos: horizontais, verticais e horizontais genéricas:

2.5.1 Aplicações Horizontais

Requerem poucos recursos do equipamento, são mais difundidas, mais baratas e praticamente só enviam e recebem mensagens de texto, como usados em alguns celulares enviando e recebendo “torpedos” do tipo SMS (*Short Message Service*) ou MMS (*Multimedia Message Service*) entre os assinantes deste serviço.

Podem receber dados sobre previsão de tempo, horóscopo, notícias, programação de teatro ou cinema. *Pagers* podem receber algum tipo de comunicado de algum servidor, outros aparelhos como *palmtops* e *notebooks* podem receber gráficos de resultados de operações comerciais, como os pedidos nos últimos cinco dias do cliente, posição de crédito e volume de vendas na região.

2.5.2 Aplicações Verticais

São as mais complexas, pois apresentam interação com bases de dados fixas ou móveis. Devem permitir acesso aos dados como: leitura, inserção, remoção e alteração no servidor, mantendo as questões de segurança dos mesmos. Varias áreas fazem utilização destes tipos de aplicações:

- **Representantes comerciais:** identificam as rotas a serem realizadas no dia e na semana, clientes a serem visitados, podem tirar pedidos de clientes e fazer cobrança, acertar dados dos clientes através de uma conexão GPRS (*General*

Packet Radio Services), que oferece um serviço chamado de “*always-on*” que permanece sempre ligado e operando [GSMWORLD 2004].

- **Controle de estoque em centros de distribuição:** portões de carga e descarga podem estar providos de leitores ópticos que identifiquem através de um código de barra localizado em caixas, *palletes* ou *containers*, a saída e/ou entrada de produtos, efetuando os devidos acertos na disponibilidade do mesmo em estoque;
- **Atendimento rápido a clientes:** principalmente utilizado em locais onde os clientes querem e precisam ser atendidos rapidamente dando lugar a outros numa fila, como é o caso de bares, restaurantes, locais de embarque como, aeroportos, ferroviárias e rodoviárias. Equipadas com cartões *NIC*, as unidades móveis comunicam-se com pontos de acesso e agilizam o atendimento e/ou possibilitam até mesmo o auto-atendimento. Desta forma, o cliente pode fazer seus pedidos, emitir faturas para pagamento e ainda fazer reserva de lugares para viagem;
- **Suporte médico/veterinário:** unidades móveis possibilitam que os dados dos pacientes estejam disponíveis imediatamente. Permite registrar e acompanhar a medicação ministrada, fazer diagnósticos a partir de sintomas apresentados e ainda emitir receita de medicamentos; Projetos mais avançados possibilitam a pessoas e animais, utilizarem pequenos aparelhos que estejam em contato com o corpo, transmitindo dados do próprio organismo, como: batimentos cardíacos, pressão arterial e capacidade respiratória para centrais de atendimento. Em caso de alguma disfunção, podem alertar o usuário ou fazer uma chamada automática para uma central médica/veterinária preparada.

2.5.3 Aplicações Horizontais Genéricas

Podem ser consideradas aplicações intermediárias entre as aplicações horizontais e verticais, pois permitem enviar e receber mensagens e acessar bancos de dados com grandes quantidades de dados a serem transmitidos. Geralmente estas aplicações estão disponíveis para as unidades móveis que utilizam dados em geoprocessamento devido ao seu deslocamento.

- **Representantes comerciais:** através de suas unidades móveis, conectadas a um sistema servidor de dados conhecido como *CAD (Computer Aided Dispatcher)*,

recebem grande quantidade de dados como tabelas de preços, itens em estoque, pedidos de clientes [GOLDBARG 2000];

- **Segurança pública:** equipados com GPS (*Global Positioning System*) e integrados a um Sistema de Informação Geográfica, facilitam para bombeiros, ambulâncias e policiais a localização e a identificação exata do ponto do chamado, possibilitando um atendimento mais rápido [EDUGPS 2004];
- **Serviços de atendimento:** facilitam a identificação ou localização de táxis ou pontos de táxis mais próximos dos locais chamados, restaurantes ou postos de gasolina que estão na rota indicada, atendendo eventuais necessidades do usuário;
- **Segurança pessoal, de cargas e de veículos:** possibilitam a localização de pessoas, cargas ou veículos baseando-se em GLS (*Global Location System*) ou em GPS [CUNHA 2003];
- **Empresas aéreas e marítimas:** podem apresentar dados como disponibilidade de portos, aeroportos, heliportos, disponibilidade de pistas liberadas, rotas a serem seguidas e evitadas, condições meteorológicas atualizadas, podendo desta forma, diminuir em muito a quantidade de papel e mapas complicados de navegação.

3. Banco de Dados com Abordagem Móvel

As unidades móveis que nem sempre estão conectadas à rede fixa precisam ter seus dados atualizados em memória, é o que chamamos de *cache*. Precisam que os dados que sofreram atualização no período de desconexão sejam reintegrados e validados no servidor consolidado para que estejam disponíveis também para outras unidades móveis ou fixas. Mas o principal benefício a ser assegurado por esta modalidade de banco de dados é que ele possa manter os dados localmente visíveis, de forma dinâmica, rápida e segura, o que o torna com alta disponibilidade.

Da mesma forma que o banco, transações de dados, como confirmação ou revogação dos mesmos, devem ser gerenciadas levando em consideração os conceitos da mobilidade, onde haverá desconexão contínua e movimentação das unidades que mantêm os dados. Uma transação móvel pode ser definida como uma transação distribuída, onde algumas partes do processamento são executadas em uma unidade móvel e outras partes em unidades fixas.

3.1 Uma Análise Comparativa dos Termos

3.1.1 Banco de Dados Distribuídos x Móveis

Há uma certa semelhança entre banco de dados distribuídos e banco de dados móveis, pois em ambos os casos os dados podem estar em diferentes servidores e a principal diferença é que no caso do banco de dados móveis, os dados que serão reintegrados ao servidor consolidado precisam de um gerenciamento mais específico, pois as unidades móveis podem ter operado em modo de desconexão, o que não permite uma rápida solução para o problema. Nos demais aspectos, ambos podem ser tratados semelhantemente, utilizando inclusive os mesmos conceitos, pois a computação móvel é uma variação da computação distribuída [CORTES & LIFSCHITZ 2003].

Em banco de dados distribuídos, a divisão do sistema permite às aplicações executando em diversos pontos que exerçam um controle local sobre os seus dados de maneira que se tornem menos dependentes de um centro de processamento de dados remoto, possibilitando o acesso aos dados de outras localidades. Um banco de dados distribuído pode ser mais confiável devido à multiplicidade e a um certo grau de

autonomia existentes em suas partes. Os dados podem ser armazenados de maneira distribuída e próximos ao seu local de uso, reduzindo o tempo de resposta e os custos de comunicação. Assim, todas as aplicações podem participar da execução de transações que acessam dados em um ou diversos nós de maneira transparente para quem atualizou ou solicitou o dado.

Considerando o aspecto de banco de dados distribuído, todos os dados podem ser replicados para as unidades móveis em uma replicação global (replicação total) ou pode-se replicar apenas os dados necessários para as operações básicas da unidade na região de cobertura (replicação parcial). Estas variações são decorrentes de projetos de bancos de dados móveis e das necessidades de manter servidores remotos em caso de desconexão da rede. Caso o servidor principal não esteja conectado, uma unidade móvel pode servir de supervisora de dados para outras unidades na mesma área de cobertura. [OZSU & VALDURIEZ 2001] definem um banco de dados distribuído como uma coleção de múltiplos bancos de dados logicamente inter-relacionados, distribuídos sobre uma rede de computadores.

A mobilidade de bancos de dados envolve conceitos mais complexos e gerenciamento diferenciado na maioria dos casos. Uma unidade móvel em operação pode entrar numa nova área de cobertura enquanto está se deslocando. Neste caso, pode ser necessário migrar parte do processamento de um servidor fixo para o novo servidor fixo disponível nesta área. Embora necessite de gerenciamento, o fato de acessar o novo servidor fixo nesta nova área, possibilita grande melhoria de desempenho do dispositivo e economia de recursos, pois possibilita que continue trabalhando com os dados replicados no novo servidor. Este processo é transparente ao usuário e é desejável que a unidade continue operando normalmente.

Outro fator importante é a possibilidade de disponibilizar apenas os dados desta nova área de cobertura para a unidade móvel. Os bancos de dados convencionais e distribuídos necessariamente não precisam deste gerenciamento, pois os dados são aqueles que foram disponibilizados pelo servidor consolidado fixo em outra estação fixa [ITO 2001].

3.1.2 Base de Dados Consolidada x Base de Dados Móvel Remota

A base de dados consolidada possui os dados a serem replicados para as unidades móveis e neste caso deve estar íntegra e validada (Fig. 14), levando em consideração as regras de segurança e as consistências do próprio banco, como chaves primárias, secundárias e chaves estrangeiras. Podem utilizar índices ou rotinas para melhorar o desempenho, diminuindo o tempo de acesso e devem contar com aplicações e algoritmos que gerenciem e resolvam possíveis conflitos na reintegração dos dados provenientes dos clientes móveis.

O servidor de banco de dados consolidado deve dispor destes algoritmos que possam gerenciar o envio de dados para as unidades móveis remotas, resolvendo os conflitos dos mesmos na reintegração, assim como realizar o controle das transações que ocorrem na rede corporativa.

Pode-se manter uma base de dados móvel remota, porém servindo como supervisora. Neste caso, a mesma deve dispor de dados consistentes (consolidados) e mantê-los disponíveis para acesso local, principalmente nos momentos em que as unidades móveis não estiverem conectadas à rede fixa, podendo tornar-se assim, um servidor de banco de dados para estas unidades. Nos clientes móveis, os dados são armazenados em memória local, já que as unidades normalmente não dispõem de grande capacidade de armazenamento e estes são atualizados (removidos e/ou incluídos novamente) conforme a necessidade dos usuários.

Geralmente, as bases em dispositivos móveis não são completas, disponibilizando apenas os dados essenciais às operações e aplicações disponíveis nos dispositivos. Nela não são mantidas verificações de integridade referencial para verificação dos dados ou índices para melhorar o tempo de acesso aos dados. Graças a esta “falta” de validação, é possível tornar mais “leve” o banco na unidade, facilitando também o acesso ao mesmo.

Da mesma forma, as aplicações utilizadas devem ser as mais eficientes possíveis e os dados os mais precisos, podendo estar inclusive não normalizados.



FIGURA 14 - Base Remota e Consolidada.

Extraída de DANTAS & CUNHA 2004.

3.2 Gerência de Cache de Dados

Manter uma boa política de *cache* requer muito planejamento, mas pode significar grande diminuição de falhas nas unidades móveis, pois possibilita que a unidade não esteja dependendo do meio físico para utilizar os dados necessários. Isto aumenta a eficiência das unidades, pois não precisam utilizar canais de comunicação para acessar um outro banco de dados.

3.2.1 Benefícios do Armazenamento em Cache

Vários fatores caracterizam o armazenamento de dados em unidade móveis como vantajoso, pois:

- Garantindo alta disponibilidade, melhora a eficiência das unidades, já que as mesmas precisam muitas vezes operar em modo de desconexão;
- Desta forma, não usa largura de banda, pois os dados estão disponíveis localmente. A comunicação com o servidor de dados consolidado é feita apenas por solicitação da unidade ou de tempos em tempos, conforme a política de replicação;

- Possibilita a economia de energia, pois operando em modo não conectado, dormente (*doze*) ou com outros servidores locais, disponibiliza canais de comunicação;

A gerência de *cache* prevê algumas facilidades no gerenciamento dos dados, tanto na sua recepção quanto na reintegração com o servidor fixo. Porém, um dos fatores que dificultam este gerenciamento é a manipulação de dados: quais dados receber ou quais dados atualizar no servidor consolidado. Considerando a disponibilidade e atualização dos dados, podemos usar os conceitos de regiões quentes e regiões frias:

- **Regiões quentes:** disponibilizam os dados que são utilizados mais frequentemente pelas estações móveis ou que possam facilitar as transações posteriores;
- **Regiões frias:** disponibiliza os dados que são usados esporadicamente

A complexidade e funcionalidade do *cache* são influenciadas pelas operações permitidas em um conjunto de dados. [DESPANDE et. al. 1998] divide os critérios de complexidade em três categorias:

- **Dados concorrentes:** ocorre quando os dados replicados podem ser alterados tanto no servidor quanto no *cache*. Para permitir que possíveis conflitos de atualização sejam tratados no servidor, o *cache* deve armazenar informações sobre as alterações ocorridas nos seus dados.
- **Dados não concorrentes:** as atualizações locais são permitidas, mas os dados replicados ficam bloqueados no servidor, evitando atualizações conflitantes.
- **Dados somente para consulta:** o *cache* não realiza atualizações locais sobre os dados, permitindo somente operações de consulta. Desta forma, os dados não necessitam ser reintegrados ao banco de dados e o *cache* pode ser estruturado de forma mais simples, sem a necessidade de controle de alteração de seu conteúdo. Este é o tipo mais conhecido de *cache*.

Segundo [ARAUJO & FERREIRA 2000], se o *cache* não consegue responder a uma consulta realizada pela aplicação, uma solicitação de atualização ao servidor é necessária, podendo ser realizada de duas formas:

- **Solicitação Total de Dados:** acontece quando os dados são obtidos do *cache* local ou do servidor. Caso o *cache* contenha apenas parte dos dados solicitados, irá requerer todos os dados do servidor, tornando irrelevantes os dados que já estão em memória.
- **Solicitação Parcial dos Dados:** acontece quando os dados são obtidos parcialmente do *cache* ou parcialmente do servidor, com o objetivo de melhorar a utilização dos dados, permitindo que possam ser utilizados mesmo quando não respondam completamente a consulta.

3.2.2 Invalidação de Cache

Num sistema gerenciador de banco de dados, que conta com unidades móveis que utilizam e atualizam dados constantemente, os procedimentos de invalidação de *cache* são necessários para checar se os dados da unidade remota estão de acordo com os dados da base consolidada, assegurando a integridade, consistência ou coerência dos mesmos e para notificar as unidades caso os mesmos tenham sido desprezados na atualização.

Os métodos podem ser classificados em dois tipos:

- ***Statefull Server* - Servidor com estado do cliente:** o servidor sabe quais as unidades e os dados que estão nas unidades móveis. Assim, são enviadas notificações para as unidades invalidando estes dados e solicitando uma nova consulta dos mesmos;
- ***Stateless Server* - Servidor sem estado do cliente:** o servidor não sabe quais são as unidades móveis ativas, enviando um relatório ou *log* periodicamente com as atualizações feitas na base. Desta forma, os clientes podem fazer análises destes relatórios e efetuar as atualizações devidas. Neste caso cabe às unidades móveis fazer avaliar o relatório e fazer o tratamento sobre os dados.

3.3 Localização de Dados

3.3.1 Busca e Atualização

Devido à mobilidade e portabilidade concedida pela computação móvel e suas unidades, as dificuldades de gerenciamento da localidade onde os dados podem estar

disponíveis, a localização das unidades e as atualizações a serem realizadas, são bem maiores do que nos bancos de dados distribuídos convencionais, pois no primeiro caso, ocorrem grandes mudanças de localidade e constante movimento. Este esforço envolve duas operações básicas: busca com consulta e atualização.

Sempre que for preciso replicar os dados, atualizá-los em unidades móveis ou simplesmente entrar em contato com as mesmas, o servidor precisa primeiramente efetuar uma busca a fim de localizar os objetos desejados; Isto pode ser facilitado mantendo informações que disponibilizam esta identificação em cada ponto da rede onde os dados são acessados. Pode-se manter um *log* sobre as localidades freqüentemente acessadas pelas unidades móveis ou pelo método convencional de acesso navegando em todos os nodos, o que é mais demorado e custoso. Conforme o tamanho da rede, a quantidade de registros e dados, este tipo de acesso pode ser mais vantajoso e simples (*Search Everywhere*);

Do ponto de vista da localização de dados, podem ser citados dois métodos de busca de dados:

- **Single-Hop:** onde o método das réplicas do banco de dados está apenas distribuído entre unidades fixas;
- **Multi-Hop:** onde os dados além das unidades fixas, também estão armazenados em unidades móveis;

Atualização de dados na unidade móvel por *broadcast* ou sob demanda pode ser necessária em vários casos, como por exemplo: em mudanças de região de cobertura, buscando dados disponíveis localmente ou quando a validade dos dados expira nas unidades móveis, causando uma invalidação de *cache*.

Um simples exemplo: trafegando pela cidade de Florianópolis e querendo saber qual o posto de gasolina mais próximo do ponto onde estamos, precisaremos levar em consideração alguns aspectos:

- Qual o ponto “P” exato do início da solicitação;
- Tempo “T” de deslocamento da unidade, com aceleração ou movimento uniforme;
- Quais os locais “L” que atendem a requisição;

- Tempo “T1” que leva para fazer e retornar a pesquisa para a unidade solicitante;

Estas checagens precisam ser rápidas, pois dependendo da resposta concedida, o usuário pode ter passado do ponto indicado ou passado por uma via que conduz até aquele ponto.

Outro aspecto da disponibilidade de dados locais é a capacidade de manter dados específicos da região de cobertura. Por exemplo, estando em Florianópolis, não interessam os dados de Curitiba, São Paulo ou de outras localidades.

3.3.2 Acesso e Disponibilidade dos Dados

Todos os conceitos citados no item 3.3 podem ser considerados em relação ao acesso e disponibilidade dos dados nas unidades móveis. Para melhorar o acesso e a disponibilidade dos dados, os mesmos podem ser mantidos em outras unidades e que possam funcionar também como servidoras. Normalmente, estes dados são locais e “setorizados”, disponibilizando apenas o que pertence à sua área de cobertura.

Mantidos desta forma, os dados são [PITOURA & BHARGAVA 1999]:

- Fáceis de serem alterados, pois não precisam ser feitas outras verificações, como a checagem de dados válidos ou fazer validações numa base de dados maior;
- Geograficamente distribuídos: A unidade móvel possui apenas o que interessa àquela unidade;
- Podem estar imprecisos, já que os mesmos podem ter sido alterados anteriormente por outra unidade no servidor;

3.4 Gerenciamento de Transações

Transações em banco de dados não consideram somente inserção, remoção, alteração e consulta de dados, mas também confirmação e revogação das mesmas junto ao servidor consolidado. Deve-se ainda considerar os modelos de transações e como eles são aplicados.

3.4.1 Propriedades ACID

O controle de concorrência e os métodos de recuperação de falhas devem levar em consideração algumas propriedades [SILBERSCHATZ et al. 1999, ELMASRI & NAVATHE 2000]:

- **Atomicidade:** uma transação deve ser completamente executada ou descartada. Deve assegurar que se uma falha ocorrer durante a execução da transação, nenhuma das modificações feitas por ela persistam. Estes processos são chamados de efetivação dos dados (*commit*), quando a informação é aceita e validada na base e de reversão dos dados (*rollback*), quando as alterações nos dados devem ser descartadas. Cada transação deste tipo finaliza e inicia um novo processo;
- **Consistência:** a transação deve levar a base de dados de um estado consistente a outro. O estado do banco de dados é uma coleção de todos os itens de dados armazenados num determinado momento. Um estado consistente é aquele que satisfaz as restrições impostas pelo esquema do banco de dados, assim como outras condições que forem especificadas;
- **Isolamento:** a execução de uma transação não deve sofrer interferência de outra que ocorra concorrentemente no sistema;
- **Durabilidade e Persistência:** depois que a transação for completada com sucesso, as mudanças operadas por ela na base de dados persistem, até mesmo se houver falhas posteriores no sistema.

3.4.2 Modelos de Transação para Ambiente Móvel

Em um gerenciador de banco de dados convencional, as atualizações acontecem de forma atômica, consistentes, isoladas e duráveis. Em um banco de dados móvel estas características são consideradas limitadas, pois não suportam constantes desconexões e atualizações parciais de registros. Em função do grande período em que as unidades podem ficar desconectadas à rede fixa, alguns tratamentos podem ser necessários para garantir a integridade dos dados. Estas transações podem ser divididas em transações menores, podem ser encadeadas ou serem realizadas em mais de uma fase.

3.4.2.1 Transações em Duas Camadas

- **Transações Confirmadas Temporariamente:** neste tipo de transação, os dados ficam apenas fisicamente visíveis e disponíveis para a unidade móvel que efetivou a transação e para as unidades móveis que podem acessar os dados da mesma como servidora de dados. Quando o sistema entra em estado de conexão, as transações que estão em estado de pré-confirmação são validadas no servidor fixo onde ocorreu a conexão e podem ser certificadas de acordo com as regras pré-definidas. Caso a transação não seja certificada deve ocorrer o processo de ratificação dos dados na estação móvel. Este processo desencadeia um efeito cascata de ratificação nas estações que compartilham estes dados;
- **Transações *Isolation Only*:** as transações são divididas em duas classes conforme os dados são particionados:
 - A transação é chamada de primeira classe se ela não está particionada em mais de um nodo. Estas transações, quando em estado de conexão, são atualizadas e confirmadas imediatamente no servidor fixo. Neste caso, é garantida a serialização com todas as transações confirmadas no servidor;
 - Transação de segunda classe: Se a transação estiver particionada em mais nodos da rede. As transações de Segunda Classe são atualizadas nos clientes móveis e ficam pendentes de atualização no servidor fixo. Quando ocorrerem novas conexões, serão validadas de acordo com os critérios da serialização global ou de métodos de certificação de dados. Neste caso, para problemas de invalidação podem ser necessárias intervenções de um administrador de dados num processo manual;
- **Transações *Two-Tier Replication*:** os dados replicados podem ter duas cópias ou versões nas unidades móveis: Uma cópia como versão principal e outra como versão temporária. A versão principal contém os registros mais recentes e atualizados de acordo com as conexões efetuadas no servidor consolidado e a cópia temporária mantém apenas os registro atualizados localmente [GRAY & HELLAND 1996]. Neste modelo, possuímos ainda dois tipos de transações:
 - Transações base: Quando as transações são decorrentes da base da versão principal e tem prioridade de atualização;

- Transações experimentais, que acessam e utilizam dados da versão temporária e que neste caso também atualizam a versão temporária antes que os dados sejam consolidados na versão principal.

3.4.4.2 Transações Móveis

Consideram-se transações móveis as transações que envolvem unidades móveis e unidades em redes fixas, onde as transações podem ser controladas por aplicações do tipo agentes móveis, para que sejam efetivamente confirmadas ou recusadas no servidor consolidado. Podem ser citadas como transações móveis:

- **Transações Canguru:** [NASSU 2003, DUNHAM et al. 1997] citam transações Canguru como transações não ACID. É uma proposta especificamente criada para resolver e minimizar problemas de transação em clientes móveis. Neste tipo de atualização, as transações ACID são relaxadas a permitir que a unidade móvel não conectada deixe nos servidores onde se conectou, uma transação filhote, correspondendo a uma divisão da transação, para que seja confirmada independentemente numa fase posterior.

A unidade móvel pode estar deslocando-se pelas redes ou operando de forma não conectada em diversos momentos. A cada nova conexão, os dados são atualizados no banco de dados disponível no momento e na área da conexão. A transação Canguru somente é confirmada quando todas as transações filhotes forem concluídas com sucesso. Em caso de reversão, são geradas transações compensatórias [KORTH et al. 1990], que serão executadas de acordo com as estações base pelas quais o usuário móvel se conectou. Este controle é feito por DAA (*Data Access Agents*) e cada estação base é provida de um ou mais DAA's. Quando um usuário móvel precisa confirmar uma transação, um dado ou um conjunto de dados, o DAA trata esta mensagem e repassa para o servidor que possui os dados para serem atualizados. Assim, podemos dizer que os DAA's são diretamente responsáveis pelo gerenciamento das transações móveis que estão trafegando na rede [DUNHAM et al. 1997].

- **Transações MONET:** [CHRYSANTHIS 1993] cita este tipo de transação como solução de compartilhamento de resultados parciais enquanto ainda em execução;

- **Modelo Clustering:** o banco de dados na computação móvel pode ser dividido em clusters, onde no mesmo cluster, as réplicas disponibilizadas são sincronizadas ou são unidades de consistência. Se estivermos trabalhando com diversos clusters, precisaremos de regras mais detalhadas para atender a sincronização e mesmo neste caso, os dados são mutuamente consistentes, pois as inconsistências são corrigidas ou minimizadas graças às fusões destes clusters;

Consideram-se características necessárias num cluster [PITOURA & BHARGAVA 1999]:

- As consistências nos clusters podem ser rígidas ou fracas conforme o grau de validação especificado;
- O grau de validação pode ser baseado na réplica primária dos dados. A partir dela defini-se alguns critérios, como o número de possíveis alterações neste valor ou o número máximo de transações realizadas e não reintegradas;
- A organização de *clusters*, pois se pode utilizar dados de *hosts* vizinhos, os mais acessados pelos usuários ou os que mais são compartilhados pelas unidades nesta área.

3.5 Disseminação e Reconciliação de dados

3.5.1 Disseminação ou Replicação de Dados

Disseminação, replicação ou distribuição de dados é o processo pelo qual os dados são enviados a partir da unidade servidora na rede estruturada (fixa) para as unidades móveis, tornando os mesmos redundantes [BARBARA 1999]. Desta forma, pode-se permitir que estas unidades móveis possam trabalhar com os dados localmente maximizando a flexibilidade, aumentando a disponibilidade e velocidade de acesso a dados aos usuários remotos.

No momento da replicação não é aconselhável enviar o banco de dados completo para as unidades móveis, devido às restrições impostas pelo próprio hardware e pelos canais de comunicação. Enviando apenas os dados necessários, possibilita melhor desempenho das unidades móveis, necessitando apenas o estabelecimento de conexão

com o servidor fixo, onde o banco está consolidado, para recepção e atualização dos dados alterados.

O processo de replicação de dados para as unidades móveis deve observar um plano de ação pré-definido com a definição dos dados que serão enviados e o algoritmo utilizado para gerenciar o envio. Outros critérios a serem observados são as permissões, para quais unidades e os tipos de usuários que receberão os mesmos.

O tratamento de réplicas passa por três fases distintas:

- **Preparação para desconexão:** enquanto a unidade está conectada com a rede fixa há necessidade de fazer uma pré-carga dos dados na unidade já prevenindo possíveis desconexões: é o processo de *hoarding*. Nesta fase, cabe decidir quais dados serão enviados para as unidades e em qual momento estes dados serão recebidos ou solicitados;
- **Desconexão:** em estado de desconexão, poderá usar apenas os dados disponíveis na própria unidade. Assim, outras unidades poderão utilizar seus dados, caso tenham privilégios para isso. Nesta fase, a unidade móvel precisa gerenciar os dados, contemplar as necessidades de dados não disponíveis, como e quais as manutenções foram realizadas e ter um plano de reintegração com o banco consolidado;
- **Nova conexão com a rede fixa:** quando conseguir realizar a conexão com a rede fixa, a unidade móvel poderá fazer uma reintegração dos dados que foram replicados e que sofreram alterações. Nesta fase, o servidor deve ter políticas claras de como tratar a reintegração dos dados e como resolver possíveis conflitos, aceitando ou descartando as alterações nos dados.

Cabe ao servidor também estipular o momento mais apropriado para transferência dos dados para as unidades móveis, além de quais dados deverão ser enviados. Estas atualizações podem ser feitas nos momentos em que as unidades estão conectadas ou ainda quando as próprias unidades realizam solicitações ao servidor.

3.5.2 Reconciliação ou Reintegração de Dados

A sincronização estabelecida em ambientes móveis, entre cliente e servidor, pode ser definida como o ato de estabelecer equivalência entre duas coleções de dados após a ocorrência de alteração nos registros armazenados tanto num como no outro [PHATAK & BADRINATH 2001].

As unidades móveis não necessitam estar sempre conectadas a uma rede estruturada, pois podem receber os dados da base consolidada e os armazenar na memória local, onde os usuários têm acesso para ler e manipular esses dados. Este fato gera necessidades periódicas de novas conexões com a rede estruturada para atualizar as mudanças locais no repositório de dados consolidado. Ocasionalmente é necessário que sejam solucionados conflitos entre as atualizações feitas localmente com os dados da rede fixa. Essa operação de reconciliação efetuada sobre conjuntos de dados, onde são trocadas atualizações e são resolvidos os conflitos, é conhecida como sincronização de dados [CUNHA 2003].

Depois de sincronização de dados cada elemento de dados em uma coleção é mapeado por um elemento de dados em outra, sendo que seus dados são equivalentes, entretanto não necessariamente idênticos. Durante o processamento de uma consulta sobre banco de dados replicados, as transações são também replicadas, porém de forma assíncrona, propagando-se de acordo com a distribuição dos dados. O sincronismo ocorre somente após a reorganização dos dados, que poderá acontecer em um banco de dados central, seguido pelo envio das informações requeridas aos dispositivos móveis [CUNHA 2003].

O gerenciamento para reconciliação dos dados replicados pode ser feito de maneira centralizada, cabendo a um nó central a tarefa de efetuar a reintegração. Neste caso considerá-se que existe apenas uma cópia válida de dados disponível no servidor da rede estruturada. Porém, neste caso, todos os clientes ficam dependentes da disponibilidade do mesmo, o que nem sempre é possível e seguro.

Por este motivo, utilizá-se uma alternativa de controle distribuído, onde os elementos da rede podem manter cópias atualizadas do banco ou estar submetidos a um supervisor com maior capacidade de comunicação e armazenamento, fazendo o papel

intermediário entre as outras unidades móveis e o servidor de rede fixa, quando este não está disponível.

Para resolução de conflitos de dados em ambientes sem fio, não são utilizados algoritmos convencionais, devido às suas características. Para manter a coerência de *cache* tanto nos clientes móveis como servidor da rede fixa utilizaremos algoritmos, os quais serão mencionados num capítulo posterior.

3.6 Outras Características

3.6.1 Tolerância e Recuperação de Falhas

Processos de tolerâncias e recuperação de falhas devem estar preparados para manter o banco de dados consolidado e íntegro quando qualquer tipo de problemas ou falhas ocorrerem durante a atualização de dados. O processo de identificação deve disparar o mais rápido possível evitando que danos maiores sejam causados ao banco.

As falhas podem ser decorrentes de diversos problemas, tanto de hardware - problemas físicos, como de software - problemas lógicos ou de aplicações. Neste caso, a recuperação de dados pode ser feita tradicionalmente através de: *Checkpoint*, por *Log* ou por reenvio de dados.

Uma das maneiras de se prevenir quanto às falhas é utilizar o mecanismo conhecido como pontos de checagem. Neste mecanismo, cada unidade móvel deve estar sempre informada sobre a célula onde se encontram as unidades com os dados e quando o sistema entrará em modo de desconexão. Desta forma, poderá gerar uma informação para o gerenciador caso ocorra esta desconexão ou uma mudança de uma região de cobertura para outra e poderá solicitar a atualização gerando *logs* que possam tratar os dados para manutenção.

Pode-se trabalhar com dois tipos de *checkpoints*: Um no servidor, para administrar falhas de hardware, e outro nos clientes, para administrar falhas temporárias, geralmente de software ou conexões. Estas atualizações podem ser mantidas por agentes móveis que possibilitam a atualização dos dados dependendo do problema ocorrido.

Através da geração de logs é possível verificar todos os procedimentos executados e os dados atualizados na base. Na necessidade de recuperação dos dados, eles poderão ser utilizados como índice ou referência para a consolidação.

3.6.2 Segurança

Devido à falta de discos rígidos nas unidades, as aplicações tendem a ser mais simples, o que pode facilitar uma quebra nos protocolos de segurança, expondo os dados armazenados ou dados que estão sendo transmitidos [FORMAN & ZAHORJAN 1994]. A portabilidade das unidades móveis traz riscos ainda maiores para segurança dos dados, não somente pelo aspecto do acesso e disponibilidade dos mesmos, mas também pelo fato das unidades serem facilmente furtadas devido ao seu tamanho e peso ou sofrer danos físicos numa eventual queda ou falta devido à falta de cuidado em seu manuseio.

Entretanto, alguns mecanismos são utilizados para evitar o uso indevido de dados, como a codificação de dados na transmissão, a inclusão de mecanismos de identificação com contas de conexão (*login*) e senhas e autenticação de chaves de acesso de até 128 *bits*.

Sobre o aspecto do controle de acesso aos dados, três atores podem ser destacados na concessão ou revogação de direitos: os usuários, que dão início a execução dos aplicativos e que esperam acessar os dados; as operações, que estão embutidas nos aplicativos, para leitura, inserção, remoção e atualização dos dados; e os objetos de banco de dados, sobre as quais as operações serão executadas e sobre os quais o banco de dados estará atuando [HOFFMAN 1977]. O controle de autorizações estará garantindo a integridade entre os atores citados exigindo que os usuários, objetos e os direitos de acesso sejam pré-definidos.

Devido à heterogeneidade na computação móvel e à necessidade de economia dos recursos nas unidades, muitas vezes o aspecto segurança não recebe a devida atenção, o que os torna alvo cada vez maior de tentativas de invasão, fraudes, roubos de dados, acesso a dados (intencional ou não).

Além destes e vários outros itens utilizados normalmente nos bancos de dados convencionais, há necessidade de manter uma cópia dos dados em uma outra unidade e em alguns casos em mais de um lugar fisicamente distinto. Este fato geralmente é negligenciado pelos usuários de unidade móveis. Nos casos em que esta garantia existe,

também é necessário proteger os dados contra acessos e atualizações indevidas. Algumas ferramentas de replicação são muito utilizadas para garantir uma cópia de segurança de dados, como *Echo* e o *Coda* [KISTLER & SATYANARAYANAN 1992].

3.6.3 Apresentação dos Dados nas Unidades Móveis

Disponibilizar unidades móveis geralmente leves e pequenas para utilizar sistemas que manipulem banco de dados pode apresentar algumas inconveniências:

- A apresentação dos dados nos mesmos, devido ao tamanho e a capacidade baixa de memória, recursos de visualização e de áudio ficam prejudicados, pois as aplicações podem dispor de diversas janelas abrindo ao mesmo tempo, com recursos de atalho para outras aplicações e sons que ajudam identificar algumas ações. Neste caso, as aplicações precisam ser adaptadas para serem utilizadas nestes dispositivos;
- As entradas por teclado foram substituídas por identificadores de escrita manual (canetas do tipo *stylus*), navegação por botões e a ainda identificadores de voz. Estes recursos são muito utilizados em *palmtops* e celulares. Isto não representa necessariamente um problema, mas necessita que os usuários tenham uma certa experiência na utilização das unidades;

O mesmo não acontece com as unidades móveis de maior porte, equipadas com discos de armazenamento, como os *notebooks* e laptops. Estes apresentam ainda uma ótima visualização e possibilidade de apresentação de aplicações consistentes e com recursos de visualização e de áudio para os usuários.

4. Ambiente Experimental, Replicação e Reintegração de Dados

Esta dissertação propõe um protótipo de uma aplicação real em um modelo de comunicação cliente/servidor, onde um servidor na rede estruturada mantém os dados armazenados de um “Sistema de Manutenção Industrial” de maneira consolidada. O servidor, em posse deste repositório consolidado, pode replicar estes dados para as unidades móveis, dispostas como clientes numa rede local ou estes próprios clientes podem solicitar atualizações periódicas e realizar a reintegração dos dados no banco consolidado sem que haja nenhuma conexão com cabos entre eles.

As unidades móveis com os dados armazenados em *cache*, trabalharão com os dados disponibilizados em memória local. Estes dispositivos não conectados à rede fixa podem operar fazendo atualizações destes dados pelo tempo em que suas baterias tiverem capacidade. Assim que a tarefa de coletar ou de atualização dos dados tiver sido completada, podem realizar a reintegração dos mesmos e receber novos dados para continuar operando normalmente.

A abordagem de *cache* a ser utilizada será a *statefull*, pois a estação que servirá de suporte para as unidades móveis, deverá manter-se informada sobre quais clientes móveis estão atualmente fazendo parte da rede, de acordo com a área de cobertura e qual o conteúdo de *cache* destes clientes, considerando um ambiente controlado e restrito.

Estaremos utilizando modo de *broadcast* síncrono, onde as notificações estarão ocorrendo periodicamente. Alguns dados genéricos, tais como os cadastros de produtos, os motivos de manutenção e unidades de medida, serão enviados pelo servidor no modo *server push* (os clientes móveis receberão os dados sem que tenha sido feita alguma solicitação pelos mesmos) e no modo *client pull* (os clientes móveis solicitam atualização para que possam trabalhar com dados recentes), como as solicitações de serviço.

Utilizando o modelo cliente/servidor, será mantido este ambiente experimental onde um *desktop* servirá como servidor de sincronização e manterá o banco de dados disponível constantemente e o mesmo consolidado. Os *palmtops* e o *notebook* poderão trabalhar não conectados à rede utilizando bancos de dados móveis locais, fazendo a

comunicação com a rede fixa através de um *hub* conhecido como Ponto de Acesso para redes sem fio.

As aplicações estarão executando tanto nos clientes móveis como no servidor de sincronização para garantir a atualização e a consistência dos dados que estão trafegando neste meio. Através de uma antena de maior capacidade de transmissão os dados podem ser enviados para locais mais distantes como extensão da rede móvel.

4.1 Ambiente e Situação Atual

O ambiente considerado na pesquisa desta dissertação foi uma indústria têxtil na região da Blumenau em Santa Catarina. Nesta, mantém-se uma grande quantidade de solicitações de serviço geradas automaticamente por um sistema de manutenção industrial já existente ou que são inseridas manualmente conforme a necessidade dos setores da fábrica.

A geração automática de solicitações de serviço ocorre a partir de digitação de dados colhidos nas inspeções de rotina ou enquanto é realizada a manutenção em alguma máquina ou equipamento. A partir destas atualizações um processo noturno é executado, dando origem a novas solicitações ou planilhas de inspeção para o dia seguinte.

As solicitações de serviço e planilhas são compostas por diversos itens, os quais devem ser anotados manualmente pelos inspetores ou pelos mecânicos, durante a rotina de trabalho diária e posteriormente digitados no sistema pelo setor de informática.

Atualmente, contam com uma diversidade de máquinas e equipamentos industriais de médio e grande porte, que periodicamente precisam ser inspecionados ou que precisam de algum tipo de manutenção preventiva, como troca de óleo, substituição de peças ou simplesmente uma limpeza de rotina.

Como o processo de industrialização funciona 24 horas por dia, 7 dias por semana é indispensável que todas as máquinas e equipamentos estejam em pleno funcionamento e operando normalmente. Caso estejam paradas, que tenha sido uma parada devidamente planejada e que o tempo de indisponibilidade tenha sido determinado.

No sistema atual, as pessoas responsáveis pelas inspeções e manutenções nas máquinas, utilizam planilhas de papel impressas, uma prancheta simples para apoio e

uma caneta esferográfica comum. Diariamente, os inspetores fazem uso destas planilhas, passando máquina a máquina anotando dados referentes à necessidade de troca de óleo, limpeza, substituição de peças, verificação do desgaste ou a identificação de peças quebradas e a numeração indicada no horímetro (aparelho que mede o tempo de execução e funcionamento de máquinas, semelhante ao odômetro que marca as distâncias percorridas em veículos). Da mesma forma, os mecânicos, enquanto realizam suas manutenções, utilizam este material para fazer seus apontamentos e registrar os produtos que estão sendo utilizados para atender a SS (Solicitação de Serviço).

Considerando uma indústria de médio à grande porte, o número de máquinas e equipamentos a serem inspecionados é alto, como apresentado na Tabela 1. Desta forma, cada inspetor e mecânico gera uma quantia considerável de planilhas durante seu período de trabalho, que posteriormente são repassadas a um setor de digitação onde os novos dados são inseridos no sistema.

TABELA 1 – Máquinas, Planilhas e Número de Apontadores.

Setor	Quantidade Máquinas	Planilhas para Horímetro Manual Por Semana	SS's Geradas Automaticas Por Dia	SS's Digitadas Por Dia	Quantidade Apontadores Por Turno
Manufatura	1540	0	225	82	12
Beneficiamento	23	0	8	4	3
Tecelagem	18	18	6	4	3
Tricotagem	16	16	6	2	3
Total	1597	34	245	92	21

Cada uma destas planilhas é digitada no sistema atual, o qual faz as atualizações numa base de dados centralizada e consolidada.

Em paralelo a este processo, outras solicitações de serviço são digitadas manualmente à medida que os diversos setores da fábrica tenham novas necessidades. Estes novos dados são processados antes do início de cada turno, gerando novas solicitações em papel e prevenido qualquer eventualidade. Este processo pode repetir-se várias vezes ao dia.

Neste processo manual, alguns problemas podem ser identificados, como o tempo de abertura de novas solicitações de serviço, a digitação das SS's apontadas, dificuldades de acompanhamento e de encerramento das mesmas, extravio e perdas de planilhas, entre outros. Além disso, o digitador precisa verificar se os apontamentos dos mecânicos e inspetores foram anotados corretamente nas planilhas, antes da entrada dos dados. Este processo é detalhado e lento, podendo ocorrer outros erros causados por:

- Má interpretação da grafia;
- Rasuras que dificultam a legibilidade das planilhas, causada por resíduos oriundos das próprias máquinas;
- Digitação errada.

Estes e outros fatores serviram de motivação para efetivação de um estudo de caso mais dinâmico e otimizado, apresentado a seguir.

4.2 Decisões de Projeto

Antes de iniciar o projeto, nossas primeiras decisões foram focadas a fim de definir alguns procedimentos padrão para o funcionamento do ambiente de modo geral

- Em relação à maneira a qual as solicitações de serviço seriam enviadas para os clientes móveis, levou-se em conta que:
 - Caso fossem enviadas para todos os clientes móveis indiscriminadamente, precisaríamos adotar algum tipo de controle de concorrência na reintegração e utilizar algoritmos de gerenciamento de *cache* nas unidades móveis, invalidando os registros (SS's) que já sofreram manutenção;
 - Enviando todas as SS's para as unidades móveis ativas, poderíamos também atualizar a base de dados central no momento em que cada solicitação fosse concluída. Neste caso, precisaríamos fazer com que elas ficassem assinaladas como encerradas ou reservadas, não estando disponíveis para apontamentos em outras unidades móveis e precisaríamos contar com as unidades trabalhando 100% do tempo numa área de cobertura;
 - Caso fossem enviadas sob demanda, somente para o usuário que é responsável pelas mesmas ou enviadas no momento em que fossem

requisitadas junto ao servidor, precisaríamos realizar a conexão periodicamente com a rede fixa. Neste caso, na primeira conexão enviaríamos todos os dados das tabelas complementares e em seguida, as solicitações a serem atendidas. A partir da primeira conexão, as demais sincronizações atualizariam nas unidades móveis apenas as solicitações pendentes.

Optamos por enviar na primeira conexão as tabelas complementares da SS, como: Produto, Bem e Motivo, e a partir delas, apenas as solicitações destinadas ao usuário da conexão. Este procedimento tornou o processo de replicação mais rápido e tornou possível utilizar poucos recursos dos canais de comunicação. Permitiu também que as unidades móveis trabalhassem com poucos dados em cache e que a reintegração se tornasse mais simples, devido à ausência de concorrência.

- Em relação à maneira como os dados seriam acessados nos *palmtops*, permitindo ou não momentos de desconexão da rede fixa. Foram consideradas as seguintes possibilidades:
 - O *palmtop* poderia receber apenas a chave de identificação (número) das SS's. Em um ambiente onde a conexão é contínua e os canais de comunicação são estáveis, utilizaria menos *cache* das unidades móveis, porém a cada nova solicitação escolhida, seria necessário refazer a conexão a fim de buscar os demais dados da SS a ser atendida. Isto poderia causar problemas de tráfego na rede e concorrência no banco de dados, devido a alocações sucessivas de registros;
 - Caso armazenássemos todos os dados das SS's no cliente, seria necessário que a unidade móvel tivesse capacidade de memória suficiente para mantê-los, permitindo alterá-los e possibilitando a reintegração dos dados, além de manter viável a utilização das outras ferramentas, como planilhas Excel, agendas eletrônicas, calculadoras e ferramentas que comumente são utilizados pelos usuários.

Optamos por enviar todos os dados necessários para realizar os apontamentos nas SS's. Esta escolha possibilitou o aumento da mobilidade dos usuários que podiam circular por locais onde não havia cobertura e diminuiu a necessidade de conexões constantes, liberando os canais de comunicação e atualizações no banco de dados.

- A partir de algumas possibilidades, foi necessário definir qual o mecanismo de comunicação cliente/servidor mais apropriado para envio e recebimento de dados neste ambiente. As alternativas consideradas foram as seguintes:
 - **GCF (Generic Connection Framework)** – Define um conjunto de classes e interfaces que permitem acessar os recursos da rede e foi projetado para utilizar dispositivos com limitações de recursos;
 - **HTTP (Hypertext Transfer Protocol)** - Este protocolo permite que os clientes acessem um servidor *WEB (Word Wide Web)*. É necessário manter um servidor de aplicação ativo no servidor da rede fixa. Como o IP é fornecido automaticamente a cada conexão, é chamado de um método promíscuo, neste caso seria imprescindível estabelecer um gerenciamento de segurança mais complexo; Este método permite que sejam utilizados telefones celulares como clientes;
 - **Através de Conduits** – Exige um esforço maior de codificação, pois envolve rotinas de sincronização e gerenciamento mais complexo de concorrência, conhecidos como *conduits*.
 - **Servlet e JSP (Java Server Pages)** – Permite a criação de páginas dinâmicas no servidor. Este modelo permite visualizações de dados nos clientes móveis e enviar dados para o servidor através dos métodos *DoPost()* e *DoServlet()*;
 - **RMI (Remote Method Invocation)** – Permite a criação de aplicações distribuídas, frequentemente baseadas em Java e na qual métodos podem ser invocados em de diferentes servidores que dispõem de uma JVM ativa;

Optamos por utilizar a comunicação através do protocolo *HTTP*, por se tratar de um método que pode ser estendido a outros tipos de unidades móveis, como os telefones celulares.

- Como os dados seriam armazenados ou permaneceriam disponíveis para acesso nas unidades móveis, considerando que estes dispositivos não possuem banco de dados próprios:
 - Caso mantivéssemos as unidades conectadas durante 100% do tempo, poderíamos utilizar o próprio banco de dados do servidor, onde um assistente de sincronização atuaria como intermediador entre o banco móvel e o banco consolidado. Neste caso os dados poderiam ser atualizados imediatamente no momento da sincronização.
 - Para trabalharmos em um ambiente que permite momentos não conectados à rede fixa, os dados deveriam ser armazenados em tabelas locais do *palmtop* em forma de texto (*record stores*). Neste caso, armazenamento é seqüencial, mantendo um campo que serve como chave (*record_id*) e outro para armazenamento dos dados de forma concatenada. Desta forma, cada tabela seria representada por um *record store* específico [MUCHOW 2001], bastando apenas solicitar e atualizar os dados nestas estruturas.

Optamos por utilizar os dois métodos e procurar determinar qual seria o mais simples de implementar e que traria maior desempenho para nossa aplicação, enquadrando-se conforme a necessidade de cada ambiente.

4.3 Ambiente Experimental Proposto

4.3.1 Motivação

Um protótipo de uma aplicação do tipo vertical foi implementado para atender a necessidade de uma indústria onde seja utilizada uma grande quantidade de máquinas e equipamentos que precisam ser inspecionados e que conseqüentemente, sofrem manutenções preventivas e corretivas que ocorreram durante a operação diária.

Devido ao acúmulo de trabalho, quantidade de detalhes a serem preenchidos nas planilhas, tempo de entrada e processamento de dados no sistema, as máquinas e equipamentos podem apresentar falhas e defeitos que às vezes são identificados apenas depois que o fato ocorreu. Estes fatores podem causar danos ainda maiores aumentando os custos com manutenção, interrupção na produção e ocasionar mão de obra ociosa.

Destacamos alguns fatores que podem representar ganho, tanto em tempo, quanto de qualidade de dados e que podem tornar esta tarefa simples e segura. É importante lembrar que alguns dos itens citados abaixo podem ser executados mesmo não utilizando dispositivos móveis:

- Geração de solicitação de serviço *on-line*, a partir da identificação de alguma necessidade numa inspeção ou em uma manutenção;
- Geração de solicitação de serviço *on-line* para inspeção ou troca de óleo, a partir da entrada de informações do valor do horímetro;
- Geração de planilhas *on-line* para anotação do valor do horímetro;
- Entrada de dados automática no sistema, dispensando a necessidade digitação dos apontamentos;
- Checagem da disponibilidade de produtos em estoque para efetuar a manutenção;
- Checagem *on-line* da situação de pedidos de peças ou serviços aos fornecedores;
- Grande redução de tempo na entrada de dados manual.
- Ganhos nas inspeções, como:
 - Checagem de vida útil das peças, solicitando a substituição das mesmas quando o prazo de vida útil tiver expirando;
 - Identificação da necessidade de substituição de peças com desgaste ou de peças quebradas;
 - Identificação da necessidade de limpeza periódica;

Outro aspecto importante a ser considerado a partir desta implementação, é a transparência e a segurança dos dados, como:

- Motivos bem definidos, causas e soluções aplicadas;

- Confiabilidade dos dados de identificação das máquinas, suas características e o histórico de manutenção;
- Identificação dos responsáveis pelo andamento da solicitação de serviço e o período em que a atividade foi executada (um mecânico pode não completar sua atividade, devidos a defeitos que devem ser resolvidos por outra área ou por falta de produto a ser aplicado no serviço. Neste caso, a manutenção deve ser continuada em outra oportunidade ou por outro profissional);
- Mensurar tempo de execução da solicitação;
- Identificar quais produtos e quantidades utilizadas.

Em planilhas de papel, estes dados podem ser facilmente manipulados ou perdidos, o que pode comprometer auditorias futuras.

Desta forma, vamos permitir a geração automática ou manual da solicitação, acompanhar a evolução das atividades e o seu encerramento, atendendo as expectativas de uma indústria que opera com máquinas e equipamentos de médio e grande porte.

4.3.2 Outras Características

Aplicações que utilizam recursos de rede sem fio, em conjunto com recursos de uma rede estruturada, podem ser divididas, contemplando rotinas a serem executadas no ambiente fixo e rotinas a serem executadas nos clientes móveis.

Consideramos neste ambiente, que os clientes móveis recebem e enviam solicitações de/para um servidor fixo de sincronização, através de transações de forma assíncrona. De posse dos dados em memória, as unidades móveis trabalham de forma não conectada à rede por um período de tempo, conforme a quantidade de solicitações a serem atendidas e/ou a autonomia de energia das unidades.

Segundo [SATYANARAYANAN & NARAYANAN 2001], a adaptação é necessária quando existe um significativo número de divergências entre a oferta e procura de recursos em ambientes móveis, onde cada fabricante pode disponibilizar unidades móveis com especificações diferenciadas. Isto faz com que aplicações sejam desenvolvidas especificamente para determinados tipos de unidades móveis, quando deveriam operar independentemente da plataforma.

Estaremos utilizando *palmtops* como clientes móveis do modelo *Palm Tungsten C*, sob a plataforma *Palm Os* [PALMOS 2004]; um *notebook* Toshiba Satellite com interfaceamento sem fio sob a plataforma *Windows XP* e um *desktop*, atuando como servidor de banco de dados e de sincronização, sob a plataforma *Windows XP*.

A comunicação para troca de dados entre os clientes móveis e o servidor será mantida com transmissões via rádio ou infravermelho na área de cobertura da rede, podendo também ser feita via cabo com interfaceamento serial a partir de uma requisição de sincronização no *palmtop* ou no *desktop*.

4.4 Modelo de Dados da Aplicação

As conexões e acesso aos dados serão controlados a partir do servidor de sincronização na rede fixa e as solicitações de serviço serão associadas aos usuários dos *palmtops* a partir da conexão dos mesmos no sistema. A conta que identifica o acesso à base de dados central será mantida com o mesmo código da conexão à rede a qual o usuário tem acesso, no entanto as senhas podem ser diferentes. Assim, com o mesmo código o usuário acessa:

- Através de um *desktop*, a rede fixa e o banco consolidado;
- Através de um *palmtop*, a rede sem fio e o banco local;

A aplicação apresentará apenas as solicitações de serviço associadas ao usuário, logo após a digitação de seu *login* e senha de acesso à rede. Assim não haverá possibilidade de dois inspetores ou mecânicos estarem trabalhando na mesma solicitação ao mesmo tempo.

Devido às limitações de memória e do consumo de energia utilizado no processamento, o modelo de dados disponível nas unidades móveis armazena apenas os dados necessários aos apontamentos e não utiliza chaves primárias, chaves de validação, nem contam com índices de acesso aos dados, de forma a tornar-se bastante simples e econômico.

4.4.1 Abordagem do Modelo Entidade x Relacionamento

Segundo [CHEN 2002], o ERD (*Entity Relationship Diagrammer*), pode ser utilizado para representar o mundo real em qualquer tipo de negócio e sugere três

procedimentos básicos para os administradores e analistas de banco de dados montarem suas estruturas:

- Identificar as entidades de interesse. Entidade é algo que pode ser claramente reconhecido e parte do mundo real;
- Identificar os relacionamentos entre as entidades. Relacionamentos representam fluxos de dados que trafegam entre as entidades afins;
- Identificar os atributos de cada entidade. Atributos definem as características de cada entidade e possuem algum tipo de valor associado.

A seguir, apresentamos os modelos elaborados para representar as entidades e seus atributos no servidor e nos clientes.

4.4.2 Modelo de Dados no Servidor

Segundo a metodologia de desenvolvimento de sistemas citada por [LEME 2003], dividimos a elaboração e desenvolvimento de nosso estudo de caso em seis fases:

- Anteprojeto e Análise;
- Projeto Físico;
- Construção;
- Testes e Homologação;
- Implantação;
- Manutenção.

Na fase de levantamento, definição do anteprojeto e da análise (projeto lógico), para apresentação do modelo de dados, foi utilizada a ferramenta Oracle Designer [ORACLE 2004], comercializada pela Oracle Corporation.

O Oracle Designer é uma ferramenta, formada por vários componentes, que contempla desde a modelagem de processos, passando pela análise, projeto físico e construção de sistemas.

Os componentes utilizados em cada uma dessas fases geram informações que podem ser utilizadas pelos componentes das fases seguintes. A utilização dela é bastante flexível permitindo que a elaboração do trabalho tenha início em qualquer uma das fases, isto significa que não é necessário passar por todas as fases para obter os resultados desejados.

A partir desta ferramenta, que é provida de um ambiente gráfico para a geração e manutenção de um modelo de entidade relacionamento, geramos um diagrama onde são apresentadas as entidades envolvidas na aplicação, como elas se relacionam no contexto e seus atributos principais (Fig. 15). Cada atributo possui qualificações que dentro da entidade podem ser representadas por símbolos, os quais são apresentados na Tabela 2. Este modelo ajudará a criar um modelo de informação em forma de diagrama, apresentando os elementos e a forma com que eles se relacionam logicamente.

Esta ferramenta ainda permite a implementação de índices para otimizar o

TABELA 2 - Símbolos e Qualificações dos Itens da Tabela

Símbolo	Significado
#	<i>UID (Unique Identifier)</i> . Uma combinação de atributos e/ou relacionamentos que servem para indicar unicamente uma ocorrência de uma entidade.
*	Indica que o atributo é obrigatório.
o	Indica que o atributo é opcional.

acesso aos registros, estes geralmente formados pela chave primária da tabela e pelas chaves estrangeiras provenientes dos relacionamentos.

TABELA 3 – Descrição das Entidades da Aplicação Real

Entidades	Descrição	Registros
Srv Pessoa	Mantém dados de pessoas físicas ou jurídicas de uma forma genérica.	3500
Srv Tipo Pessoa	Qualifica pessoas no sistema, como clientes, fornecedores e colaboradores.	6
Srv Pessoa Tipo Pessoa	Associa a pessoa a seus possíveis tipos, desta forma um cliente pode ser também um fornecedor ou um colaborador.	4200
Srv Colaborador	Mantém dados dos profissionais que operam os <i>palmtops</i> e todos os que têm acesso aos sistemas em operação.	256
Srv Fornecedor	Mantém dados dos profissionais que fornecem peças e/ou produtos para manutenção a partir das ordens de serviço.	256
Srv Bem	Relação de bens da empresa, correspondendo aos dados do ativo imobilizado, como máquinas e equipamentos.	15234
Srv Unidade Medida	Unidades de medida utilizadas na aplicação para permitir conversões.	12
Srv Produto	Produtos utilizados para atender a SS. Não possui dados do estoque.	230
Srv Solicitação Serviço	Capa das atividades que devem ser desenvolvidas pelos profissionais que estão operando os <i>palmtops</i> .	3500
Srv Item	Identifica as atividades a serem executadas e anotadas no atendimento da SS.	5600
Srv Ocorrência	Registro da causa dos problemas, seus motivos e a solução apresentada.	66
Srv Motivo	Relação de possíveis motivos que deram origem à SS.	56
Srv Localização	Identifica o local físico, onde podem estar as máquinas, equipamentos e produtos utilizados.	25
Domínio Tipo Solicitação	Especifica se a atividade: Mecânica, Elétrica, Informática, Hidráulica ou Rotineira.	5
Domínio Turno	Turno de Operação: 1 turno, 2 turno, 3 turno.	3
Domínio Urgente	Ordem de atendimento: 1, 2, 3, 4, 5. Em ordem crescente.	5
Domínio Situação SS	Em Aberto, Em digitação, Cancelada, Encerrada.	4
Domínio Situação	Ativo ou Inativo.	2
Domínio Enviado para Unidade	Enviada para unidade móvel ou não.	2
Domínio Valor Retornado p/ Unidade	Retornado para unidade móvel ou não.	2

4.4.3 Modelo de Dados nos Clientes Móveis

Como os clientes móveis não possuem banco de dados próprios, sua base de dados será mantida em registros locais (*cache*) e contarão apenas com os dados essenciais à execução das tarefas pertinentes às atividades do usuário conectado.

Para garantir que o cliente móvel esteja operando com os dados recentes provenientes da base consolidada, estes dados serão enviados na primeira conexão do usuário à rede e reintegrados no mesmo (sincronização cliente móvel x rede fixa). Esta base não possui tratamentos de integridade de dados ou integridade referencial, ficando a critério do servidor efetuar tais validações. Pelo fato dos dados estarem armazenados apenas em memória local nas unidades.

Em função de restrições de capacidade de memória e do tempo utilizado na atualização dos mesmos, a base local é desprovida de índices de acesso, cabendo ao servidor na rede estruturada enviar os dados estritamente necessários para facilitar o processamento nestas unidades.

Utilizamos o conceito de visão, para representar a associação de tabelas com características afins. Uma visão é um objeto lógico, criado para possibilitar a apresentação de alguns dados das tabelas associadas e disponibilizar apenas os registros ativos de cada tabela associada (Fig. 16).

A respeito da metodologia e da ferramenta utilizada, o modelo físico definido na fase de projeto, apresenta as tabelas geradas a partir das entidades. Os atributos de cada entidade dão origem aos campos e os relacionamentos servirão como chaves de integridade referencial entre as tabelas, garantindo que não existirão tabelas filhas (*details*) sem que haja uma tabela pai (*master*) [ELMASRI & NAVATHE, 2000].

No diagrama de dados, outros símbolos são utilizados além dos já citados, indicando o tipo de dados que são suportados por cada item, conforme Tabela 4:

TABELA - 4 Símbolos Utilizados para Determinar Características dos Itens

Código	Descrição
A	Tipo alfanumérico;
789	Tipo numérico;
31	Tipo data, com dia, mês, ano, hora, minuto e segundo.

VIEW_PRODUTO (SFAS)	VIEW_BEM (SFAS)	VIEW_COLABORADOR (SFAS)			
<ul style="list-style-type: none"> * 789 CD_PRODUTO * A DS_LOCAL * A CD_UNIDADE_MEDIDA * A DS_PRODUTO 	<ul style="list-style-type: none"> * 789 CD_BEM * A DS_BEM * 789 CD_LOCAL * A DS_LOCAL ○ 789 NR_HORIMETRO * 789 CD_CENTRO_CUSTO 	<ul style="list-style-type: none"> * 789 CD_CENTRO_CUSTO * A CD_USUARIO * A NM_PESSOA * A CD_TIPO_PESSOA 			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>LOC_SOLICITACAO_SERVICO (SFAS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO * A DS_SOLICITACAO * 789 CD_TIPO_PESSOA * 789 CD_PESSOA * A CD_USUARIO * 789 CD_BEM * 789 CD_CENTRO_CUSTO * 789 CD_LOCAL * A ID_TIPO_SOLICITACAO * DT_ABERTURA * A ID_URGENTE </td> </tr> </tbody> </table>			LOC_SOLICITACAO_SERVICO (SFAS)	<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO * A DS_SOLICITACAO * 789 CD_TIPO_PESSOA * 789 CD_PESSOA * A CD_USUARIO * 789 CD_BEM * 789 CD_CENTRO_CUSTO * 789 CD_LOCAL * A ID_TIPO_SOLICITACAO * DT_ABERTURA * A ID_URGENTE 	
LOC_SOLICITACAO_SERVICO (SFAS)					
<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO * A DS_SOLICITACAO * 789 CD_TIPO_PESSOA * 789 CD_PESSOA * A CD_USUARIO * 789 CD_BEM * 789 CD_CENTRO_CUSTO * 789 CD_LOCAL * A ID_TIPO_SOLICITACAO * DT_ABERTURA * A ID_URGENTE 					
<table border="1"> <thead> <tr> <th>LOC_MOTIVO (SFAS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_MOTIVO * A DS_MOTIVO </td> </tr> </tbody> </table>	LOC_MOTIVO (SFAS)	<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_MOTIVO * A DS_MOTIVO 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>LOC_ITEM_SS (SFAS)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td> <ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO # * 789 CD_SEQUENCIA * A DS_ITEM ○ A CD_MOTIVO ○ A DS_CAUSA ○ A DS_SOLUCAO ○ 789 CD_PRODUTO ○ 789 QT_UTILIZADA * A ID_SITUACAO </td> </tr> </tbody> </table>	LOC_ITEM_SS (SFAS)	<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO # * 789 CD_SEQUENCIA * A DS_ITEM ○ A CD_MOTIVO ○ A DS_CAUSA ○ A DS_SOLUCAO ○ 789 CD_PRODUTO ○ 789 QT_UTILIZADA * A ID_SITUACAO
LOC_MOTIVO (SFAS)					
<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_MOTIVO * A DS_MOTIVO 					
LOC_ITEM_SS (SFAS)					
<ul style="list-style-type: none"> # * 789 CD_SOLICITACAO # * 789 CD_SEQUENCIA * A DS_ITEM ○ A CD_MOTIVO ○ A DS_CAUSA ○ A DS_SOLUCAO ○ 789 CD_PRODUTO ○ 789 QT_UTILIZADA * A ID_SITUACAO 					

FIGURA 16 - Modelo de Dados nos Clientes Móveis.

A Tabela 5 apresenta uma descrição sucinta de cada entidade e a quantidade de registros que cada uma contém.

TABELA 5 – Descrição dos Objetos Disponíveis nas Unidades Móveis

Objeto	Descrição	Tipo
View Produto	Mantém relação de produtos que podem ser utilizados nas manutenções.	Visão
View Bem	Representa máquinas e equipamentos no mesmo centro de custos do inspetor ou mecânico.	Visão
View Colaborador	Dados para identificação do inspetor ou mecânico.	Visão
Loc Solicitação Serviço	Capa de atividades que devem ser desenvolvidas pelos profissionais que operam os palmtops.	Tabela
Loc Item SS	Identifica as atividades a serem executadas e anotadas no atendimento da SS.	Tabela
Loc Motivo	Relação de possíveis motivos que deram origem a Solicitação de Serviço.	Tabela
Loc Ocorrencia	Mantém causa dos problemas, motivos e solução.	Tabela
Loc Registro Responsável	Registra as atividades dos profissionais e controla as suas atividades na SS.	Tabela

4.4.4 Desenvolvimento das Aplicações

Visto sob a perspectiva do desenvolvimento de software, a aplicação real foi dividida em seis planos específicos que se comunicam entre si e que são apresentados na Tabela 6, provendo acesso e organizando os dados, tanto nos clientes móveis como no servidor, um a menos do que foi apresentado em [CUNHA 2003]. Nossa aplicação tratou especificamente comunicação sem interfaceamento serial, como será descrito posteriormente.

TABELA 6 – Estrutura de Comunicação

Fase	Identificação	Objetivo
1	Interface no Cliente Móvel	Permite inserir, alterar, remover e fazer consultar sobre as réplicas de dados.
2	Banco de Dados Cliente	Conjunto de dados replicados a partir de um banco consolidado e armazenados em memória local.
3	Protocolo de Comunicação	Maneira como será feita a interação entre os clientes móveis e o servidor.
4	Assistente de Sincronização	Seleciona e restringe dados a serem replicados para as unidades móveis.
5	Interface de Acesso aos Dados	Gerência os dados no servidor de sincronização, administrando conflitos e tomando decisões sobre a replicação e sobre a reintegração dos dados.
6	Banco de Dados Consolidado	Base de dados consolidada e íntegra, que serve como repositório para todos os clientes móveis e na rede fixa.

As ferramentas utilizadas para desenvolver e testar as aplicações, tanto no servidor, como nos clientes móveis foram:

- Eclipse Project [ECLIPSE 2004], versão 3.0.1. - Foi utilizada como plataforma de desenvolvimento. Esta ferramenta interage com configurações e perfis específicos para emular dispositivos móveis, permitindo desenvolver e testar aplicações específicas para este meio.
- J2ME - A plataforma Java 2 Micro Edition foi lançada pela Sun Microsystems em 1999, para suportar flexibilidade e customizações necessárias em decorrência da grande variedade de tipos de dispositivos móveis disponíveis no mercado. Fornecendo um ambiente para desenvolvimento em dispositivos sem fio que não possuem banco de dados, inclui três grandes camadas: a JVM (*Java Virtual Machine*), configurações específicas e um conjunto de API's (*Application Programming Interface*) desenvolvidas por uma comunidade Java conhecida como JCP (*Java Community Process*) [HELAL 2002 a, HELAL 2002 b]. Seus componentes básicos são:
 - **CDC (Connected Device Configuration)**: pode ser considerado um supergrupo de configurações, pois comporta grupos mais específicos como o CDLC. É utilizado em configurações de dispositivos fixos, como sistemas de TV's digitais;
 - **CDLC (Connected, Limited Device Configuration)**: consiste de configurações para uma máquina virtual reduzida e um conjunto de classes pré-definidas em diferentes pacotes, como Java.io, Java.lang, Java.util e Javax.microedition.io e são portáteis para diferentes plataformas;
 - **MIDP (Mobile Information Device Profile)**: fornece um conjunto de API's Java que em conjunto com CLDC, disponibiliza funcionalidades requeridas pelas aplicações móveis, como emuladores de *palmtop* ou de telefones celulares, permitindo acesso à rede, acesso à base de dados, entre outros.

- WTK (Wireless Toolkit) versão 1.0.4 – Permite acessar os pacotes gerados em J2ME e converter em programas que rodem sob os simuladores disponíveis. Foi bastante utilizado para realização dos testes;
- Banco de dados Oracle 8i no servidor consolidado – é um banco de dados consistente e seguro, bastante utilizado e conhecido mundialmente. A partir de definições ou perfis (*roles*), permite acesso ou não aos dados e assegura a integridade referencial entre as tabelas (*foreign keys*) e a integridade de dados (*check constraints*);
- Banco Access como base de dados das unidades móveis, nos primeiros testes efetuados.

4.5 Replicação e Reintegração dos Dados

Para podermos abordar melhor a aplicação real, desta forma avaliando os testes e os resultados experimentais obtidos, precisamos abordar alguns outros conceitos a respeito da replicação e da reintegração de dados, os quais fazem mais sentido neste momento.

4.5.1 Replicação ou Disseminação de Dados

4.5.1.1 Estratégias de Envio de Dados

Segundo [JING et al. 1999], pode-se classificar os métodos de envio de dados em três grupos (Fig. 17):

- **Client Pull:** Quando o cliente faz as requisições de dados no servidor. Neste método, o cliente móvel pode simplesmente requisitar dados para consulta ou requisitar uma atualização de dados em sua estação (requisição sob demanda); Este método demanda pouco processamento no servidor, pois basta atualizar a unidade móvel que requisitou a operação. Por outro lado, isto causa um aumento maior de energia pelas unidades móveis, pois as mesmas precisam realizar operações de requisição de dados;
- **Server Push:** Quando o servidor envia os dados para os clientes remotos sem que tenha sido feita nenhuma solicitação pelos mesmos. Neste método, o servidor fixo não espera por uma solicitação das unidades, podendo realizar

um broadcast em intervalos de tempo regulares ou aguardar o momento em que as unidades móveis conectadas realizam algum contato. Isto possibilita a economia de energia nas unidades móveis, pois as mesmas não precisam realizar operações de requisição de dados. Quando ocorrem consultas de uma unidade móvel na base de dados consolidada, também ocorre um processo de replicação para a unidade que solicitou a consulta. Esta atualização acontece de forma assíncrona: primeiro ocorrerá organização dos dados consolidados e em seguida os dados serão enviados para os dispositivos móveis solicitantes;

- **Híbrido:** Pode combinar os métodos solicitando os dados ou simplesmente recebendo os mesmos do servidor através de um compartilhamento de canal de transmissão. No modo *Server Push*, são enviados os dados considerados quentes, ou seja, os mais usados pela unidade, enquanto que no método *Client Pull*, além dos dados solicitados, são enviados os seguintes mais prováveis baseando-se na demanda da unidade móvel.

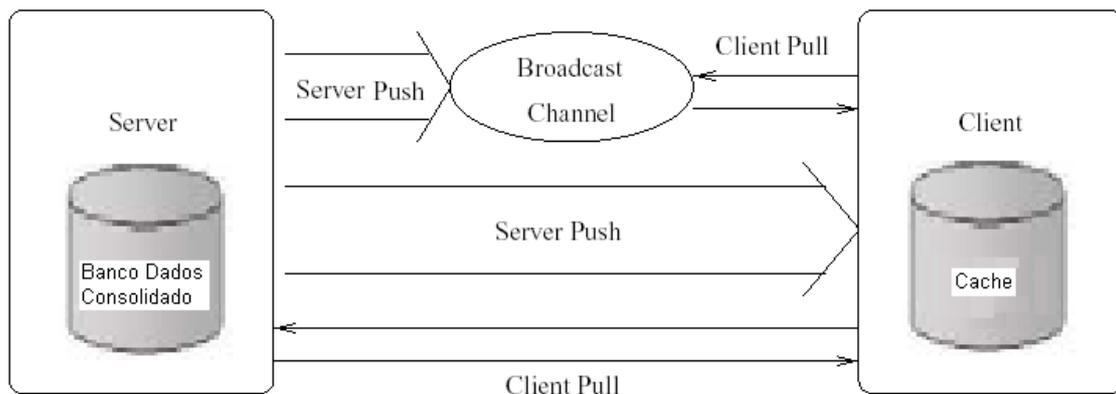


FIGURA 17 - Métodos de Envio de Dados.

Extraído de Jing et al. 1999.

Outros exemplos tradicionais destas necessidades são:

- Dados sobre previsão do tempo;
- Disponibilidade de pistas ou berços em aeroportos e portos;
- Dados sobre a cobertura de eleições;
- Transações na bolsa de valores, como compra, venda de ações, variações de valores e flutuação da moeda;

- Dados para segurança pública, como policia e bombeiros;
- Disponibilidade de táxis e ocupação dos mesmos;

Em nossa aplicação real os dados serão atualizados no momento em que os usuários do sistema, em posse das unidades móveis, requisitarem as solicitações de serviços à rede fixa para iniciar suas atividades. Neste momento é efetuada a sincronização entre a unidade móvel e o servidor na rede fixa, os dados são enviados para os *palmtops* conforme a pré-identificação do usuário através de um *login* e senha associados à sua conta no sistema.

4.5.1.2 Métodos de Propagação de Dados

Podemos citar três métodos básicos para propagação de dados:

- ***Session-Based:*** A propagação de dados pelo método de sessão utiliza uma linha de comunicação direta entre a base consolidada e as bases remotas com intervalo de tempo pré-determinados [SNOEREN 2002]. Neste caso, a base remota do cliente móvel abre a comunicação com o servidor de sincronização, enviando uma lista com as modificações feitas naquela base desde o último momento de sincronização. O servidor atualiza a base consolidada e envia de volta as modificações atualizadas ou as novas requisições. A unidade remota incorpora o conjunto de mudanças e fecha a sessão logo após enviar uma confirmação de sucesso da operação [CUNHA 2003];
- ***Message-Based:*** A comunicação entre a base consolidada e remota é realizada através de mensagens enviadas por e-mail em formato especial ou gravadas em algum arquivo que poderá ser lido ou verificado por alguma aplicação disparada constantemente [PARK et al. 2002]. Um agente de mensagens vinculado a cada base envia mensagens, informando as mudanças recentes em sua base e recebe mensagens de um ou mais agentes, modificando seus dados de acordo com o conteúdo delas. Este sistema permite replicação entre bancos de dados que não estão diretamente conectados. Neste tipo de replicação, cada uma das mensagens carrega informações de controle, como o seu endereço de

destino para que nenhuma conexão seja necessária entre as aplicações que se comunicam remotamente [CUNHA 2003];

- **Conexion-Based:** Neste método, a propagação de dados é caracterizada pela conexão contínua entre as bases consolidada e remota, é mais rápida e mais confiável graças à alta disponibilidade a que se propõe. As unidades móveis estão sempre dependendo de uma área de cobertura disponível e operante;

Nossa aplicação utiliza o método *Session-Based*, permitindo a comunicação direta entre a base consolidada e as bases remotas. Sempre que precisarem fazer alguma atualização, as unidades móveis precisam estar em uma área de cobertura e enviam seus dados para o servidor. Este confirma ou não a atualização dos dados e, se houver necessidade ou se houver novas requisições, aproveita a conexão para atualizar as unidades móveis com novas solicitações ou itens complementares.

4.5.1.3 Graus de Replicação

A geração de cópias de dados em unidades móveis pode ser feita de maneiras distintas conforme a necessidade das aplicações. Como sugerem [BADRINATH & PHATAK 1998], os graus de replicação podem ser classificados em:

- **Ausência de Concorrência:** Os níveis de fragmentação dos dados entre as unidades que compõem a rede são tão baixos que os dados não se repetem entre as unidades. O banco de dados é fragmentado a tal ponto que cada parte fica armazenada em unidades distintas. Após o término das operações sobre os dados, ocorre um novo agrupamento das linhas de dados, a fim de restaurar o banco de dados, tornando-o novamente unificado. O controle é feito através do tipo e o número de requisições realizadas localmente.
- **Replicação Parcial:** Neste tipo de replicação, as unidades móveis devem solicitar apenas os dados que são utilizados por eles e os possíveis dados que possam ser utilizados. Por isso, são empregadas técnicas de controle de concorrência e a execução de conjunções quando ocorrido o término das transações sobre os dados.
- **Replicação Total:** Neste método utiliza-se replicação completa do banco de dados em todas as unidades móveis da rede. Isso afeta diretamente os

mecanismos de controle de concorrência, pois a possibilidade de ocorrerem erros é bem maior, aumentando também a necessidade de um gerenciamento mais cuidadoso. Porém, isto aumenta a confiabilidade na mesma proporção que o número de cópias, pois no caso da ocorrência de perda de dados em um arquivo, estes poderão ser recuperados em outras unidades, de forma a manter a estabilidade do sistema.

Para atualização dos dados nas unidades móveis, utilizamos uma combinação de replicação com ausência de concorrência, com algumas características de replicação parcial, uma espécie de replicação híbrida.

Desta forma, os atributos específicos das solicitações de serviço são exclusivos em cada unidade móvel, como o identificador da SS, o tipo de solicitação, datas de início e fim e a descrição do serviço. Através do *login* do usuário, carregamos no *palmtop* apenas as solicitações que possuem uma identificação igual à informada na conexão.

Este procedimento impossibilita que a mesma SS seja enviada para mais de um usuário ao mesmo tempo, evitando problemas de concorrência na reintegração ou cause entrada de dados duplicados em diferentes unidades móveis. Devemos considerar que um gerenciador na rede fixa esteja fazendo monitoramento das conexões, não permitindo que o mesmo usuário conecte-se em mais de um *palmtop* simultaneamente ou utilizar um recurso do próprio banco de dados informando que o registro desejado já foi alocado por outro usuário.

As características de replicação parcial ficam por conta da utilização de dados das tabelas, das quais são retornados atributos que complementem a SS, como a descrição do bem (máquina ou equipamento), a descrição do produto utilizado e o nome do usuário conectado. Neste caso pode ser necessário enviar os registros de todas as tabelas que possuem estes dados.

4.5.1.4 Tipos de Replicação

Segundo [DANTAS & CUNHA 2004], a replicação de dados para as unidades móveis pode ocorrer de duas maneiras:

- **Replicação Síncrona:** Quando todas as cópias de dados existentes em um sistema são analisadas no instante da sincronização. As alterações feitas em alguma réplica do banco de dados são imediatamente aplicadas a todas as outras instâncias dentro de uma transação. A replicação síncrona é apropriada em aplicações comerciais onde a consistência exata das informações é de extrema importância.
- **Replicação Assíncrona:** Ocorre quando as alterações realizadas em cópias de dados são propagadas em um segundo passo. Conforme descrito em [PARK & YEOM 2000], em um procedimento de sincronização são transferidas as modificações de uma réplica para o banco de dados centralizado. Os possíveis conflitos gerados por atualizações concorrentes são tratados individualmente, o que elimina as possibilidades de inconsistência. A sincronia entre as réplicas de dados dependerá da ocorrência da comunicação entre as unidades móveis e a unidade servidora.

Pelo fato de não haver concorrência em nossa aplicação, realizamos a replicação de forma assíncrona, cabendo ao servidor fazer o gerenciamento dos dados, que neste caso baseia-se em atualizá-los na base consolidada. Numa segunda etapa deverá atender as novas requisições de dados dos clientes móveis.

Podemos considerar que, tendo sido enviada as solicitações para as unidades móveis, estas não poderão sofrer alterações a partir da rede fixa. Isto poderia causar inconsistências dos dados com tratamentos não previstos na nossa aplicação. Para permitir alteração na rede fixa sobre as solicitações que já foram enviadas aos clientes móveis, precisaremos adequar ao sistema a utilização de algoritmos que façam controle de *cache* nas unidades móveis [CUNHA 2003].

4.5.1.5 Modelos de Replicação

Os mecanismos de controle de réplicas asseguram a consistência dos dados entre as cópias. Para [KEMME & ALONSO 2000], esses mecanismos podem ser caracterizados de acordo com o momento no qual são propagadas atualizações e quais

cópias podem ser atualizadas. Propagações de atualização podem ser feitas dentro ou fora dos limites de uma transação.

Para melhorar o desempenho e aumentar a disponibilidade a partir de cópias em banco de dados distribuídos e também em unidade móveis, foram sugeridos diversos modelos de replicação. [RATNER et al. 2001] consideram os seguintes modelos os mais consistentes:

- **Replicação Ponto-a-Ponto:** O modelo de replicação ponto-a-ponto permite que réplicas de itens de dados sejam atualizadas a partir de qualquer outra cópia, sem necessariamente acessar um banco de dados central. O custo da replicação ponto-a-ponto compreende principalmente a necessidade de recursos, pois envolve uma considerável complexidade nos algoritmos de controle de sincronização que necessitam estarem localizados na *cache* dos dispositivos móveis. Cada unidade portátil deve ser capaz de comunicar-se com outros elementos e executar transferências de dados e operações de controle de concorrência.
- **Replicação Cliente/Servidor:** Utiliza-se o modelo distribuído baseado na estrutura do modelo cliente/servidor. As estações clientes solicitam serviços às estações servidoras [SATYANARAYANAN 1996]. Nos casos tradicionais, os dados estarão disponíveis em estações servidoras fixas e poderão ser disponibilizadas para estações clientes móveis. Em casos especiais, como o modo não conectado, o dispositivo móvel funciona como servidor para outras estações móveis para que estes possam continuar operando normalmente.
- **Replicação *WARD*:** Este modelo de replicação é também conhecido como híbrido, pois faz uma associação entre os modelos anteriores. Permite atualizações dinâmicas sobre banco de dados replicados através de topologias de sincronização. Este plano consiste em um grupo de clientes móveis próximos geograficamente. Cada uma das unidades clientes pode se comunicar entre si e com o servidor, embora tal interação não seja intermitente. Alguns componentes são designados como Estações Mestre, aos quais é atribuída a permissão para realização de sincronizações diretas sobre todos os demais membros. Segundo [COGLIANESE 2000], um cliente pode, potencialmente, fazer parte de múltiplos *wards* que são construídos de forma hierárquica. Assim, cada *ward*

possui um elemento mestre que se conecta a um sub-nível, de forma a conhecer a localização das réplicas de dados dos elementos de níveis inferiores. O gerenciamento de consistência nesse modelo é realizado, essencialmente, através da comunicação *one-way* entre os clientes.

- **Replicação Eager:** Quando o nó local completa a transação, depois de sucessivas manutenções nos dados, é realizada uma sessão de verificação em todas as unidades mapeadas atualizando o registro correspondente, e sucessivamente até executar o comando que fecha a transação. Desta forma, a confirmação ocorre quase que simultaneamente em todas as unidades da rede; Pelo fato da replicação ser sincronizada, pode causar problemas de desempenho nas atualizações das transações locais, pois as mesmas precisam ser confirmadas, o que torna o método inadequado para operações móveis.
- **Replicação Lazy:** Ocorre quando o nó local completa a transação, depois de sucessivas manutenções nos dados e logo após é realizada uma sessão de verificação em todas as unidades mapeadas atualizando um conjunto de manutenções em cada unidade, inclusive realizando a finalização da transação. Assim, as unidades são atualizadas de forma assíncrona quando conectadas à rede fixa. A falta de sincronia pode fazer com que unidades que precisem fazer acesso local a outras unidades utilizem dados desatualizados ou operem em concorrência nas atualizações.

Como mencionado na introdução deste capítulo, a disseminação de dados nesta aplicação, ocorrerá pelo método cliente/servidor, não existindo, porém a figura da unidade supervisora que pode intermediar a comunicação, disponibilizar dados e gerenciar conflitos entre outras unidades móveis e a rede fixa. Uma implementação com estas características está prevista como uma atividade futura no capítulo final.

4.5.2 Reintegração dos Dados

4.5.2.1 Possibilidades de Concorrência

A fim de efetuar atualizações no banco de dados consolidado, as unidades precisam efetuar constantes conexões com a rede fixa. Sempre que ocorre a nova

conexão, os dados são reintegrados no banco consolidado e atualizados nas unidades móveis. Cabe ao servidor administrar possíveis conflitos no momento da reintegração, aceitando ou descartando dados provenientes das unidades móveis, e realizar as atualizações destas unidades. Este processo é chamado de sincronização.

Em nossa aplicação real, a sincronização ocorrerá sempre que o cliente móvel solicitar atualização das solicitações que foram trabalhadas em suas atividades diárias, cabendo ao servidor gerenciar possíveis conflitos antes de atualizar a base de dados consolidada. Alguns algoritmos para invalidação de *cache* no cliente móvel e de reintegração na base consolidada serão citados no capítulo seguinte.

Considerando nosso modelo cliente/servidor, a sincronização permite estabelecer a equivalência entre as duas coleções de dados, a do cliente móvel e a do servidor fixo consolidado. Primeiramente, a base de dados deve estar totalmente confirmada no servidor, o que é chamado de efetivação global [PHATAK & BADRINATH 2001]. O servidor consolidado recebe os dados que sofreram alguma atualização nas unidades móveis e estes são serializados, testados e se não ocorrer nenhum conflito que seja insolúvel, a base é reintegrada no servidor fixo.

4.5.2.2 Taxonomia dos Mecanismos de Controle de Concorrência

Segundo [OZSU & VALDURIEZ 2001], há diversas maneiras de classificar as abordagens de controle de concorrência, uma delas é a classificação do banco de dados. Alguns algoritmos propostos exigem um banco de dados totalmente replicado, enquanto que outros podem operar com bancos particionados ou parcialmente replicados.

Os algoritmos podem ser classificados conforme a topologia de rede, alguns exigindo uma sub-rede com capacidade de *broadcast*, uma rede do tipo estrela ou ainda do tipo circular. Porém, o critério de classificação mais comum é a primitiva de sincronização. Esta análise se baseia em duas possibilidades:

- Acesso mutuamente exclusivo aos dados compartilhados;
- Acesso conforme a ordem das transações;

Baseando-se nestas possibilidades, os mecanismos de controle ou gerenciamento de concorrência podem ser divididos em duas classes (Fig. 18):

- Nos métodos de controle de concorrência pessimista:

- a. Os algoritmos pessimistas sincronizam a execução concorrente de transações antecipadamente em seu ciclo de execução;
 - b. Os algoritmos podem ser baseados em bloqueio ou em ordenação de transações – *Timestamp Ordering*;
 - c. Os algoritmos podem ser híbridos baseados em bloqueio e ordenação de transações; Este método tenta eliminar os conflitos, mas em contrapartida, requer mais informações, reduzindo acessos ao sistema [BADRINATH & PHATAK 1998].
- Nos métodos de controle de concorrência otimista:
 - a. Os algoritmos otimistas atrasam a sincronização da transação até o seu término, resolvendo os conflitos na próxima conexão;
 - b. Os algoritmos otimistas podem ser baseados apenas em bloqueio;
 - c. A implementação é mais complexa, pois pode haver problemas devido ao alto número de conflitos, mas provém alta acessibilidade ao sistema.

Nos algoritmos baseados em bloqueio, a sincronização é alcançada empregando-se bloqueios físicos ou lógicos em alguma porção do banco de dados. Estes bloqueios controlam os acessos a estes dados possibilitando novos acessos ou restringindo conforme os dados são utilizados.

Algoritmos baseados em ordenação de transações envolvem a organização da ordem de execução das transações de tal forma que elas mantenham a consistência mutua e de transações. São mantidas pela inclusão de horários nas atualizações das transações e nos registros a serem atualizados.

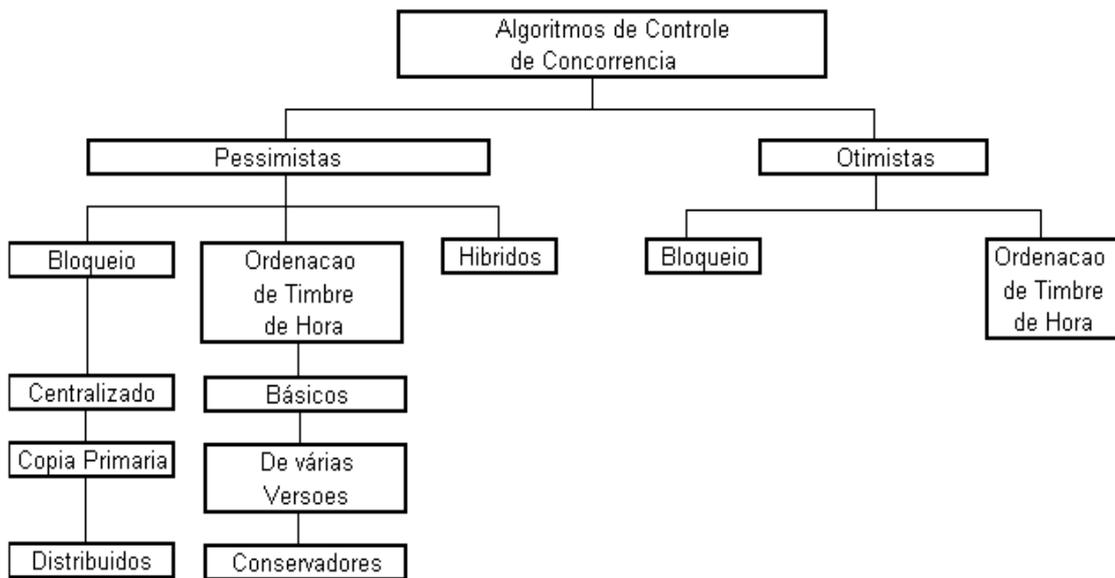


FIGURA 18 - Classificação de Algoritmos de Controle de Concorrência.
 Extraída de Ozsú & Valduriez 2001.

4.6 Comunicação Cliente/Servidor

A comunicação entre cliente e servidor, para troca de dados entre si, pode envolver tanto a comunicação sem fio (via rádio ou infravermelho), como a transmissão via cabo com interfaceamento serial.

A comunicação sem fio, utilizando o protocolo IEEE 802.11b, dispõe de algumas facilidades de comunicação e sincronização entre o cliente móvel e servidor da rede fixa, tal como a identificação automática de uma rede disponível, quando passa por uma área de cobertura.

Em nosso ambiente experimental, um servidor de dados e de sincronização mantém uma base consolidada e acessível por outros *desktops* e por clientes móveis. As unidades móveis requisitam operações de consulta e atualização no banco de dados consolidado. É composto pelos seguintes elementos (Fig. 19):

- Uma estação na rede fixa, utilizada como servidor de banco de dados e servidor de aplicação;
- Três unidades móveis com interfaceamento sem fio: um *notebook* e dois *palmtops*;
- Um ponto de acesso IEEE 802.11b, para estabelecer a área de cobertura com alcance entre 15 a 30 metros, conectado a um *switch* na rede fixa;

- Uma antena externa que permite acesso por unidades móveis fora do ambiente experimental, consta na figura, mas não foi utilizada em nosso experimento;
- Pode-se acrescentar outros pontos de acesso para aumentar a área de cobertura, porém também não foram utilizados em nosso experimento;
- Outros *desktops* conectados à rede fixa, acessam a base de dados local e fazem atualizações de dados normalmente.



FIGURA 19 - Modelo Cliente/Servidor – Comunicação Rede Fixa com Clientes Móveis.

Detalhes a respeito da infraestrutura no ambiente experimental são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – Equipamento Utilizado no Ambiente Experimental

Unidade	Modelo	Processador	Memória	Sistema Operacional
Servidor de Sincronização	Dell	Pentium III	256 MB	Windows XP
Unidade Móvel	Palm Tungsten C	400 MHZ	64 MB	Palm OS 5.2.1
Notebook	Toshiba Satellite	Pentium IV	512 MB	Windows XP
Ponto de Acesso	LG		IEEE 802.11b	
Switch	Encore	24 portas	10/100 Mbs	

Nos casos em que não há cobertura ou quando as unidades móveis não são equipadas com dispositivos de comunicação sem fio, podem ser utilizados outros componentes, desde *softwares* para realizar a sincronização, até um hardware conhecido como *cradle* e ilustrado na Figura 20. Este aparelho usualmente é conectado à rede fixa para estabelecer a comunicação com o servidor, instalar novas aplicações no *palmtop* e também é utilizado para recarregar a bateria dos dispositivos móveis.

**FIGURA 20 - Cradle – Base de Sincronismo M500.**

4.6.1 Sincronização Cliente/Servidor

Para economizar recursos, as unidades móveis não permanecem sempre conectadas e acessando a rede fixa, podendo operar com dados disposto localmente (*cache*) conforme a autonomia da bateria interna. Como os dados ficam disponíveis apenas na memória local nas unidades móveis e estas podem operar durante um grande período não conectadas à rede fixa, há necessidade de estabelecer uma nova conexão para efetivar as alterações efetuadas no repositório local e receber dados atualizados na base consolidada. Esta operação é chamada de sincronização e é efetuada sobre os dados por intermédio de um gerenciador de sincronização quando a unidade atinge uma área de cobertura.

O processo no qual são trocadas atualizações ou no qual são resolvidos conflitos entre o cliente e o servidor, é conhecido como operação de sincronização. O *desktop* pode aproveitar este momento e realizar a atualização dos dados na unidade móvel, conforme método de comunicação pré-definidos e instalar novas aplicações.

4.6.2 Hotsync

A transferência de atualização de dados pode ser estabelecida considerando-se dois métodos de sincronização: *One-way* e *Two-way*.

No primeiro caso a atualização de dados ocorre em sentido único. Um elemento de rede estabelece a conexão entre a unidade móvel e o servidor e submete todas as atualizações efetuadas em ambos de maneira sincronizada e pré-definida [PALAZZO et al. 2000]. A sincronização do tipo *one-way* pode ser aplicada, partindo-se tanto do cliente móvel, quanto do servidor ou vice-versa.

Quando parte do cliente móvel, todas as alterações são submetidas ao servidor fixo não retornando nenhuma confirmação ou ação por parte do servidor fixo, cabendo ao servidor fixo gerenciar e resolver conflitos. Partindo do servidor a sincronização disponibiliza na unidade móvel os dados atualizados no banco consolidado, não recebendo qualquer notificação por parte das unidades móveis.

No segundo caso, ocorrem atualizações simultâneas, tanto das atualizações ocorridas na unidade móvel como na base consolidada. A iniciativa neste caso é por parte do cliente móvel que submete os novos dados ou os atualizados para o servidor. O servidor faz o tratamento de conflitos, especifica as notificações de invalidação e retornam ao cliente móvel suas novas requisições.

O *Hotsync* é uma aplicação disponível nos clientes móveis e no desktop que dispara uma operação que sincroniza os dados entre a unidade móvel e o servidor da rede fixa. Quando ativado, as seguintes operações são efetuadas:

- Os dados atualizados do *palmtop* são enviados para o computador;
- Os dados alterados no computador são enviados para o *palmtop*;

Dados externos, como arquivos do Word, Excel e e-mail são enviados de/para o *palmtop* usando os *conduits* próprios (*conduits* são programas ou *dll's* que são

executados automaticamente ao se efetuar o sincronismo dos dados entre um *desktop* e o *palmtop*. Funcionam como *plug-ins* ou filtros e convertem as informações entre os equipamentos);

- Programas são instalados no *palmtop*;
- Os programas do *palmtop* são copiados para o computador.

Desta forma, ao fim do sincronismo tudo que está no computador corresponde ao que está no *palmtop* e vice-versa. Assim caso algum problema ocorra com a unidade móvel, basta recuperar os dados a partir da cópia. Outra vantagem é poder ter acesso aos dados da unidade móvel pelo computador, usando um programa chamado *Palm Desktop* (*Palm Desktop* é um programa para *Windows* que acompanha todo *palmtop* e permite visualizar e alterar a cópia dos dados do *palmtop*, como a base de dados, contatos, a agenda e anotações pessoais. Se alguma alteração for efetuada no servidor, no próximo sincronismo, o *palmtop* é atualizado, deixando ambos com as últimas versões dos dados em sincronia).

5 Resultados Experimentais

5.1 Introdução

Os resultados experimentais foram obtidos a partir de avaliações em dois ambientes bem definidos: primeiro, com conexão de uma unidade móvel 100% do tempo acessando a rede fixa e a base consolidada (utilizamos um emulador de *palmtop* para o experimento) e finalmente, utilizando uma unidade móvel real não conectada à rede e que fazia uso de uma base de dados local (utilizamos o *palmtop* Tungsten C da Palm), para observar o comportamento real da aplicação e dos acessos aos bancos de dados.

5.2 Experimentos Empíricos

A funcionalidade de nossa aplicação é baseada num sistema para manutenção industrial, permitindo que usuários munidos de clientes móveis acessem e compartilhem dados provenientes de uma base de dados fixa consolidada. A interação com a rede fixa é efetuada de forma dinâmica permitindo receber e enviar dados ao servidor, que também gerencia os processos de sincronização, enquanto as unidades móveis trafegam numa célula de cobertura.

Os inspetores e mecânicos, terão acesso a uma aplicação cliente que permite manipular réplicas de dados localizadas em memória local, podendo efetuar consultas, atualizações e sugestões de novas SS's. Estes dados posteriormente serão enviados para a base consolidada no momento em que as unidades estiverem conectadas à rede fixa.

O SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) administrará os aspectos de segurança de acesso aos dados no banco, através de definições pré-estabelecidas através da conexão do usuário (*cd_usuario*) ou a partir de um perfil pré-determinado. No nosso caso, vamos considerar que já existe um sistema criado especificamente para controle de acesso aos dados. Este sistema está disponível e operando num ambiente de produção e controla inclusive o acesso de outras aplicações.

Após uma conexão através de *login* de identificação de usuário, senha e a do servidor de conexão implícito (Fig. 21), o usuário tem à sua disposição uma relação de

SS's que estão com situação “Em aberto”, não enviadas, ordenadas conforme sua a urgência de atendimento e que precisam ser trabalhadas (Fig. 22).

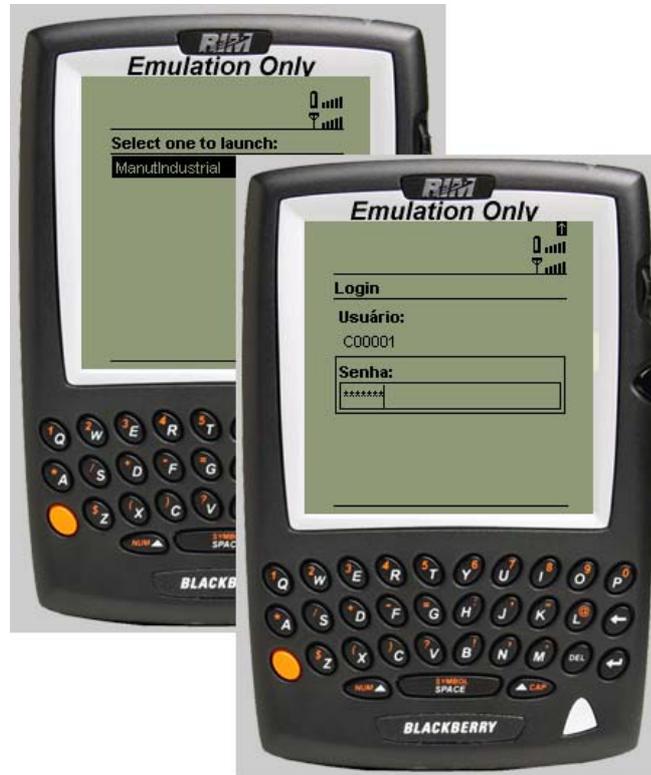


FIGURA 21 – Tela de Login na Unidade Móvel.

Toda SS possui o atributo “cd_usuario”, que associa o usuário de conexão ao usuário responsável pela mesma. Esta identificação é informada no momento do cadastramento da SS ou na sua geração automática. A geração automática leva em consideração: a disponibilidade do inspetor ou mecânico, seu turno e o seu setor de trabalho identificado pelo atributo centro de custo na tabela srv_colaborador.

O assistente de sincronização que está ativo na rede fixa envia para as unidades móveis as solicitações de serviço com: a descrição da atividade, a descrição do bem e sua localização física. As solicitações são apresentadas ordenadas pela urgência em que devem ser atendidas.

Com a relação das SS's a serem trabalhadas no visor do cliente móvel, ele pode decidir pela SS prioritária e iniciar sua atividade, que pode ser uma inspeção de rotina, realização da limpeza de uma máquina, conserto de um equipamento ou simplesmente realizar a coleta de número do horímetro, por exemplo.



FIGURA 22 – Apresentação das SS's Disponíveis.

Além da descrição da SS e a descrição da máquina, é apresentada também a localização física da mesma, o que facilita sua identificação e agiliza o deslocamento do inspetor ou do mecânico até o local da inspeção ou da manutenção (Fig. 23).



FIGURA 23 – Detalhamento da SS a ser Apontada.

Tendo localizado a máquina indicada na solicitação, o inspetor ou mecânico verifica os itens indicados e que serão realizados e pode iniciar sua atividade (Fig. 24).



FIGURA 24 - Itens Indicados para Manutenção.

Os dados apresentados e nos quais os usuários operam, foram previamente replicados pelo servidor a partir da base consolidada na rede fixa e aguardam as anotações dos inspetores e mecânicos (Fig. 25). Apresentando as solicitações ou planilhas de inspeção, os usuários podem efetuar as anotações necessárias em cada item escolhido. Cada item completado é assinalado como “ok” e é disponibilizado um novo na sequência, até que toda a SS seja atendida. Havendo necessidade, o usuário pode consultar o item apontado e realizar alterações nos apontamentos realizados.

Assim que tiver completado suas atividades, os usuários retornam para uma região de cobertura, as unidades móveis se conectam à rede fixa e realizam a sincronização com o servidor, encaminhando as solicitações de serviço preenchidas e as planilhas de inspeção assinaladas. Na ocasião o assistente de sincronização envia novas atualizações para as unidades móveis conectadas.

Com apenas uma conexão, os dados apontados no *palmtop* são atualizados na base consolidada, se o usuário tiver outras solicitações pendentes, estas são replicadas para sua unidade móvel e tornam-se disponíveis para outras operações.



FIGURA 25 – Item da SS Apontado e Pronto para ser Confirmado.

Nossa aplicação não tratou casos em que as atividades da SS não foram concluídas no *palmtop* por motivos alheios ao sistema, como falta da peça para substituição, encerramento do turno de trabalho, atividade atribuída não era da competência do mecânico indicado, ou outras. Nestes casos, a SS continuará aberta para ser concluída em outra ocasião e por outro inspetor ou mecânico.

O servidor consolidado realizará a parte mais complexa e crítica do processo, analisando e gerenciando conflitos dos dados colhidos e enviados pelas diversas unidades móveis distribuídas pela fábrica. Pode manter cópias de segurança, realizar diagnósticos detalhados sobre máquinas e equipamentos, sugerir manutenções preventivas, bloquear ou liberar máquinas conforme a necessidade, fazer cruzamento de dados das planilhas, disponibilizar relatórios com a disponibilidade, desempenho ou quebras de equipamentos, montando resumos analíticos ou sintéticos para gerência.

Em função do uso destes equipamentos móveis, pretende-se manter a mobilidade aos usuários fazendo utilização de unidades móveis, aumentando a disponibilidade de pessoal para outras atividades e aumentando a agilidade nos apontamentos, pois estes dados não precisarão ser digitados no sistema, além de garantir a confiabilidade, segurança e transparência dos mesmos.

5.2.1 Testes no Emulador do *Palmtop*

A plataforma J2ME (*Java 2 Micro Edition*) associada à ferramenta *Wireless Toolkit* versão 2.1, forneceu o conjunto de facilidades necessárias para o desenvolvimento de aplicações voltadas para dispositivos que utilizam a tecnologia para comunicação sem fio. Configurações e perfis, com características específicas como, o CLDC (*Connected Limited Device Configuration*) e o MIDP (*Mobile Information Device Profile*), possuem facilidades para desenvolver e rodar aplicações em *PDA's*, telefones celulares e outros dispositivos que utilizam interface sem fio.

O *Wireless Toolkit* inclui um conjunto de emuladores, recursos para otimização de desempenho, ferramentas para verificar o desempenho, documentação detalhada de como instalar, configurar e utilizar a ferramenta, além de exemplos que os desenvolvedores podem utilizar para utilizar eficientemente os recursos destas ferramentas.

Utilizando a ferramenta Eclipse 3.0 para desenvolver nossas aplicações foi possível dar maior agilidade nos processos de construção e realizar testes, antes de finalmente instalá-las no *palmtop*.

O propósito principal dessa atividade foi permitir o desenvolvimento e efetuar testes das aplicações antes que estas sejam efetivamente instaladas nos dispositivos móveis. Isto agilizou consideravelmente o desenvolvimento das aplicações neste meio, já que não podíamos contar com unidades móveis para teste em tempo integral e considerando que nem sempre é possível utilizar unidades móveis de vários modelos para realizar os testes diversos.

5.3 Replicando os Dados para as Unidades Móveis

O modelo de transferência de atualização determina como e para onde uma transação pode ser emitida, e como pode ser replicada. Foram levados em consideração os seguintes aspectos: a detenção do controle na emissão de atualizações entre o servidor e unidade móvel, os tipos de dados que serão transferidos e a forma com que a base seria propagada (toda a base envolvida ou somente os dados necessários).

Como nosso ambiente é controlável, não existe possibilidade das unidades móveis estarem operando sobre os mesmo registros. Caso contrário, os dados precisariam ser reintegrados dinamicamente, o que aumentaria o consumo de recursos, mas possibilitaria a diminuição de conflitos ou precisaríamos estabelecer um controle rígido com gerenciamento de dados.

Segundo [KIM et al. 2003], em replicações periódicas há necessidade de constantes manutenções da base para manter a consistência das réplicas distribuídas em um sistema móvel. Esta comunicação contínua facilita a disseminação de atualizações, mas acarreta em grande tráfego na rede, conseqüentemente necessitando de mais recursos de hardware, como a necessidade de bateria com maior autonomia.

Em nosso estudo de caso utilizamos o método de replicação condicional, onde os dados replicados são controlados pelos usuários conectados ou pela aplicação principal que gerencia os procedimentos de sincronização. As atualizações ocorrem constantemente nas unidades móveis antes de serem reintegradas ao banco consolidado e o servidor fica encarregado de gerenciar possíveis conflitos e manter a base central disponível e consolidada.

5.3.1 Necessidade de Replicação Total ou Parcial

O modelo de replicação de dados total compreende o envio completo do banco de dados. Este procedimento aumenta a necessidade da utilização de algoritmos otimizados para controle de *cache* e de concorrência, já que tendem a existir diversas cópias de itens de dados espalhadas entre as estações móveis [BERKENBROCK & DANTAS 2004]. Este modelo torna a unidade móvel auto-suficiente, com alta disponibilidade de dados. Diminui também a necessidade de comunicação com a rede fixa para suprir as necessidades das operações de consultas sobre dados complementares, como descrições e outros atributos. Porém, pode fazer com o que os clientes móveis operem com dados inconsistentes ou com itens de dados desatualizados, em decorrência do tempo em que permanecem não conectados.

O modelo de replicação de dados parcial sugere o envio dos registros que serão utilizados pela unidade móvel. Este procedimento não concede à unidade móvel alta disponibilidade de dados, uma vez que o inspetor e o mecânico, usuários desta aplicação, poderão utilizar apenas os dados enviados pelo servidor. Porém, este método utiliza pouco recurso de *cache*, deixando memória disponível para outras atividades e utilizando uma quantidade menor de processos para gerenciar seus recursos.

Considerando os aspectos positivos e negativos de ambos os modelos, podemos decidir que o melhor método para atender nossa aplicação de manutenção industrial seria um modelo híbrido, combinando atualizações totais e parciais.

5.3.2 Replicação Híbrida

O desenvolvimento de nosso protótipo, baseado em uma necessidade real, combina os métodos de envio de dados total e parcial.

Os dados complementares, como identificação das máquinas e seu local físico, produtos que podem ser utilizados, unidades de medida e a relação de motivos ou problemas causados nas máquinas, são carregados quando for efetuada a primeira sincronização e depois apenas quando uma destas informações sofrer manutenção no servidor consolidado.

Nos demais casos, sempre que houver uma nova sincronização, os dados serão enviados conforme a solicitação do usuário conectado, através de seu identificador (`cd_usuario`).

O servidor é utilizado como base para envio e atualização de registros provenientes das estações móveis, centralizando o gerenciamento e atualizando os dados na base de dados fixa. Não foi implementada a possibilidade de comunicação *Ad-Hoc* entre as unidades móveis, pois não temos uma unidade supervisora, ou seja, não foi dada autonomia para transferências de itens de dados entre os elementos móveis do sistema.

5.3.3 Emprego do Protocolo de Replicação Otimista

O protocolo de replicação otimista fornece subsídios que permitem garantir a execução de transações sobre dados localizados nas estações móveis sem a necessidade do acesso constante ao banco de dados consolidado. Envolve a transmissão de um conjunto de itens de dados suficientes para dar suporte às requisições de usuários, diminuindo a necessidade de freqüentes conexões com o servidor.

O emprego do modelo de replicação otimista foi o mais indicado em decorrência da necessidade de eficiência de respostas, pois possui mecanismos de transmissão com garantia de consistência das réplicas de dados. No nosso caso, pode haver uma demanda crescente de solicitações de serviço juntamente com a necessidade de segurança na comunicação.

Para tornar o sistema menos suscetível a erros decorrentes das operações sobre as réplicas e a fim de minimizar a complexidade operacional, optamos pelo uso de uma arquitetura cliente/servidor onde apenas alguns conjuntos de dados podem ser alterados. A unidade servidora gerencia de forma centralizada o banco de dados fixo, validando conjuntos de transações acumuladas durante o período de não conexão das unidades móveis. Para que as operações remotas pudessem ser efetivadas no banco de dados, foram submetidas previamente ao servidor de sincronização antes do início das atividades de cada inspetor ou mecânico, e repassado aos mesmos a partir de sua conexão na rede.

Para que o modelo otimista pudesse ser aplicado de uma maneira que não comprometesse a consistência geral do sistema, buscamos diminuir a incidência de propagação de réplicas entre os elementos móveis. Para isso foi desenvolvida uma solução que utiliza o assistente de sincronização, com a finalidade de gerenciar a disseminação de cópias. Somente os registros “não marcados” e com situação “em

aberto” são encaminhados ao evento de sincronização. Assim que enviados, são marcados na origem. Dessa forma, otimiza-se o tempo de transferência de dados, acarretando em um melhor aproveitamento da energia disponível no equipamento portátil, enviando apenas as solicitações pendentes.

Com a replicação híbrida do banco de dados é possível tornar a unidade cliente mais autônoma. Essa característica é muito importante para dar maior mobilidade ao usuário, que não fica limitado a uma rede com áreas de cobertura pré-estabelecidas. Em função das limitações dos dispositivos móveis, os usuários precisam ficar atentos à necessidade de restabelecer a conexão com a rede fixa, a fim de reintegrar os dados.

5.4 Reintegrando os Dados na Base Consolidada

5.4.1 Conteúdo da Reintegração

Toda alteração efetuada na unidade móvel pode ser identificada pelo seu conteúdo atual ou por meio do registro na tabela original (no servidor). Considerando a alteração de conteúdo, os dados devem ser enviados de forma integral para a base de dados onde será efetuada a consolidação, ou seja, devem ser transferidos integralmente. Como nossa aplicação não apresenta conflitos ou concorrência na atualização de dados, é necessário verificar o conteúdo mantido no campo que indica se os mesmos foram reintegrados ou não (tabela `srv_solicitação_servico`, por exemplo). Caso o indicador esteja assinalado com o valor “não”, todos os dados alterados no registro do banco móvel são atualizados na base consolidada.

Em nossa aplicação real, foi aplicada a transmissão por conteúdo do banco de dados modificado na unidade móvel. Quando a unidade cliente solicita a reconciliação dos dados replicados, o servidor de sincronização testa o conteúdo de um campo específico em cada registro (descrição da causa do problema ou da manutenção), para identificar a ocorrência de alguma alteração desde a criação da réplica. Caso sejam localizadas atualizações, somente os registros de dados que foram modificados ou inseridos são submetidos ao banco de dados consolidado. Os dados que não sofreram alterações são conservados na memória da unidade móvel até o término da operação de sincronização ou até a solicitação de limpeza comandada pelo usuário.

5.4.2 Controle Centralizado de Atualizações

No estudo de caso foi adotado um esquema com único mestre, chamado de servidor de sincronização, o qual armazena a cópia principal dos registros. Todas as atualizações são aceitas conforme o banco de dados principal, sendo então propagadas para as réplicas existentes no ambiente móveis ou gerenciadas no momento da reintegração. A vantagem de sistemas deste tipo é a simplicidade, pois a solução de conflitos emprega o mínimo de comunicação, já que existe um único ponto de referência. A desvantagem principal é o gerenciamento direcionado a um único ponto, que pode falhar, comprometendo todo o funcionamento do sistema. Para resolver possíveis conflitos, pode haver necessidade de criar mecanismos manuais de verificação e atualizações de dados antes de reintegrar na base consolidada.

5.4.3 Garantia de Efetivação de Transações Atômicas

As transações decorrentes de uma solicitação de sincronização geram mudanças constantes na base de dados centralizada. Para evitar inconsistências e garantir a disponibilidade dos novos dados de uma maneira mais segura, as alterações devem ocorrer de forma completa. Assim, é fundamental que tais procedimentos sejam atômicos.

Na circunstância de um erro de conexão, as transações parciais não devem ser efetivadas. Neste caso, seria necessária uma nova tentativa de transferência de dados do cliente móvel para o servidor até que tenha sido reintegrado com sucesso e somente a partir da efetivação de reintegração completa, limpar os dados da base cliente e enviar outros.

Caso a reintegração tenha ocorrido com sucesso, as tabelas do *palmtop* são limpas e recarregadas com novas solicitações, caso ainda existam outros registros pendentes.

5.5 Benefícios Obtidos na Utilização de Unidades Móveis

5.5.1 Economia de Tempo nos Apontamentos

O benefício mais evidente conseguido através da utilização de unidades móveis num ambiente de manutenção industrial, foi a economia de tempo dos apontamentos de dados no sistema e o fato de não utilizar mais papel. Utilizando replicação, reintegração

automática e gerenciamento de dados no servidor, foi possível aumentar a disponibilidade do pessoal envolvido, pois não havia mais a fase de digitação dos dados no sistema. Isto possibilitou a melhoria do setor a respeito da organização e da eliminação de papel.

Nos apontamentos, conseguimos ganhos: na agilidade de deslocamento do usuário, com a identificação da máquina e sua localização; na disponibilidade de dados, pois os inspetores e mecânicos, podem manter uma visão da disponibilidade de produtos em estoque, no momento da manutenção. Numa próxima etapa, podemos elaborar uma solicitação realizando uma reserva de produtos conforme a necessidade da SS, podendo até mesmo gerar um pedido de compra ao almoxarifado. E ainda, as unidades móveis podem ser utilizadas para acessar dados a respeito do andamento destas ordens de compra, verificar o *status* dos pedidos de material ou de peças à área de suprimentos através da *Intranet* disponível na empresa.

5.5.2 Mobilidade Concedida

Alguns fatores influenciaram na decisão de implementar uma aplicação com estas características como, por que utilizar redes sem fio e não estações cabeadas pela fábrica? As respostas a esta pergunta podem apresentar várias vantagens da rede sem fio sobre as redes cabeadas, entre elas:

- Cada setor pode ter seu banco de dados próprio, porém neste caso, a base de dados deverá ser montada de modo distribuído. Isto faz com que sejam levados para as unidades móveis apenas os dados complementares pertinentes àquele setor. Por exemplo, para o setor de Manufatura, estariam disponíveis apenas as máquina e os produtos a serem utilizados e que estão alocados ao mesmo centro de custo. Este fator de localização reduz bruscamente a necessidade de envio de toda base de dados de produtos para os clientes móveis;
- Os *desktops* podem apenas estar em locais fixos e às vezes de difícil acesso para instalação de cabos ou outros dispositivos. Ocupam um espaço considerável e podem estar dispostos em locais onde possam causar acidentes. Sempre que houver necessidade de mudanças no layout, haverá necessidade de mover toda a estrutura de informática; Como nosso ambiente é uma indústria, estão sujeitos também a acúmulo de poeira ou de outros detritos;

- Utilizando redes sem fio, podemos adicionar usuários conforme a necessidade de crescimento de nossa rede, sem nos preocuparmos com as limitações físicas do local e conceder mobilidade aos mesmos, bastando para isto aumentar o número de pontos de acesso pelo ambiente;

5.5.3 Persistência e Qualidade dos Dados

As novas ferramentas disponíveis para desenvolvimento de aplicações e apresentação de dados em unidade móveis já contam com novos recursos, em função da necessidade de adaptação, tanto de operação, como de navegação. Isto facilita a recuperação, o manuseio e a legibilidade de dados. Porém outros fatores puderam ser observados:

- A utilização de dados fornecidos por uma base centralizada, garantiu a qualidade dos dados no momento da entrada dos mesmos, nas unidades móveis ou no momento validação (reintegração). Caso haja alguma inconsistência, o sistema pode identificar, corrigir ou solicitar ajustes;
- Utilizando listas de valores auxiliares, e dados complementares como saldo em estoque, os inspetores e mecânicos ganham tempo e o sistema certifica-se que a entrada de dados esteja correta;
- O banco de dados utilizado no servidor possui mecanismos automáticos de efetivação ou reversão de dados e realiza validações na base de dados através de chaves primárias ou para garantir a integridade referencial. Nas unidades móveis em função de suas limitações, não fizemos validações de base, apenas de aplicação. Desta forma, o esforço foi concentrado no momento da entrada de dados e não na reintegração dos mesmos. Isto possibilita menos falhas no momento de atualizar a base consolidada e assegurou maior aceite de dados.

5.5.4 Desempenho e Acesso aos Dados

Outro fator importante e que influenciou na decisão de implementar uma aplicação com estas características foi a melhoria no desempenho dos apontamentos e na utilização de regras de como os dados poderiam ser acessados e atualizados na base local.

- Os recursos de *hardware* limitaram a quantidade de dados que podem ser armazenados na memória, desta forma os dados passaram por uma análise detalhada antes de serem disponibilizados nas unidades móveis. Isto fez com que as unidades trabalhassem apenas com os dados que serão utilizados, tornando as consultas rápidas e mais objetivas;
- Os dados quando disponíveis em memória podem ser acessados mais rapidamente, já que não necessitam de verificações na base consolidada;
- Estão disponíveis algoritmos e estruturas de dados pré-definidas, testadas e já utilizadas com sucesso tanto para replicação, como para reintegração dos mesmos, desta forma não há necessidade de criar nada de novo.

5.6 Limitações Identificadas

5.6.1 Recursos de Memória

Embora utilize mais a memória do dispositivo móvel, optamos por enviar os dados necessários para atualização da SS no momento em que é realizada a sincronização e não somente seu identificador. Como o cliente móvel pode não estar dentro da área de cobertura do serviço 100% do tempo, enviamos para eles também os dados de tabelas complementares na primeira sincronização. Estes dados, porém não podem sofrer alteração partindo dos clientes móveis, pois isto poderia causar inconsistências na base consolidada e nos demais módulos do sistema.

Caso haja necessidade, pode-se aumentar a capacidade de memória das unidades móveis utilizando-se cartões de memória *flash* ou diminuir a quantidade de SS's enviadas para os inspetores e mecânicos a cada sincronização.

É importante comentar que mesmo operando em um espaço físico limitado e com pontos de acesso cobrindo toda a área operacional, não é necessário realizar conexões constantes ao servidor de rede fixa, pois isto poderia acarretar problemas quanto à velocidade de consulta, processamento e transmissão dos dados, devido à utilização dos canais de comunicação.

Como uma das vantagens para utilização de unidades móveis é justamente poder operar de forma desconectada, adotamos o critério que nosso ambiente possui regiões cobertas e não cobertas pelos pontos de acessos. Outro fator importante é que, operando

desta maneira, não há necessidade de aumentar sua área de cobertura, através de instalação de diversos pontos de acesso e diminuindo a exigência de recurso de *hardware*.

Para evitar que a unidade móvel esteja utilizando dados complementares inconsistentes, devido a longos períodos de desconexão, as tabelas que tiverem divergências com sua referência na base consolidada foram totalmente removidas da memória e recarregadas no momento da sincronização.

5.6.2 Carga da Bateria

Devido à diversidade de recursos, os dispositivos móveis oferecem baixa durabilidade da bateria colocando em risco os dados atualizados localmente. Por isso, tornou-se necessária a inspeção da quantidade de carga da bateria e no caso de carga baixa, equivalente a 10% da capacidade total, o *palmtop* avisa os usuários que deve submeter os dados à base fixa.

Outra maneira de minimizar este problema e evitar este tipo de perda seria implementar uma aplicação no cliente ou uma rotina que evite novas atualizações na base local, notificando o usuário da necessidade de ser restabelecida conexão e recarga da bateria de seu dispositivo, antes de prosseguir com outras atividades. Na impossibilidade de conexão com o servidor, existe a garantia da durabilidade do banco de dados, pois as atualizações ficam armazenadas localmente.

Segundo [CUNHA 2003], estas medidas diminuem a probabilidade da perda de registros em consequência da falta de energia, porém obriga a existência de comunicação constante entre o cliente móvel e o servidor, somente apropriada quando o usuário estiver na área de cobertura de rede.

Como já mencionado, os métodos utilizados em nosso experimento, não correm o risco de sofrerem perdas, pois quando as unidades estão conectadas todo o tempo à rede fixa, os dados são imediatamente atualizados no servidor e no outro caso, a utilização de *record stores*, garante a persistência dos dados em registros locais.

5.6.3 Adaptação

Um dos fatores que mais dificultou o desenvolvimento e a utilização de aplicações que utilizam unidades móveis foi a adaptação. A adaptação não consiste apenas em fazer com que usuários rompam seus paradigmas e costumes, mas que também todas as fases de análise e de projeto sejam avaliadas e voltadas para este novo conceito, devido a:

- **Interface limitada:** As telas são pequenas, embora contem com boa resolução e novos recursos de visualização, ao contrário das planilhas utilizadas atualmente e das telas utilizadas nos sistemas da rede fixa;
- **Entrada de dados:** as unidades móveis são desprovidas de algumas facilidades em função de seu pequeno teclado ou dos botões multi-direcionais limitados pelo tamanho do aparelho. A utilização de canetas especiais do tipo *Stylus Pen* com reconhecimento de escrita manual facilita a operação, mas o usuário precisará ainda de alguma técnica para utilizá-la com eficiência;
- **Recursos gráficos:** embora já estejam bem sofisticados, possuem recursos gráficos limitados e são carentes de aplicações específicas, mais amigáveis e mais seguras. E é importante lembrar que estes recursos consomem bateria;
- **Resistência a mudanças:** mesmo existindo uma fase de treinamento e adaptação para os usuários, é comum, o setor de informática encontrar uma forte resistência, pelo fato dos usuários sentirem-se ameaçados pelas novas tecnologias.

5.6.4 Disposição da Estrutura Física

A maneira como é montada a rede, associando componentes fixos e componentes móveis, pode com o tempo esbarrar em alguns obstáculos, como:

- A quantidade de unidades móveis conectadas pode representar um novo problema de comunicação, pois a velocidade de transferência de cada ponto de acesso começa a cair à medida que o número de conexões aumenta. É recomendado que sejam utilizadas no máximo 6 conexões por ponto de acesso [ROSS 2003], desta forma pode ser necessário incluir mais pontos de acesso conforme o número de usuários;

- Alguns equipamentos podem gerar interferência no sinal, como telefones sem fio, fornos de microondas e outros; neste caso o servidor deverá enviar um sinal para as unidades e aguardar a confirmação antes de enviar o pacote de dados;
- Caso haja necessidade de aumentar a área de cobertura, deve-se acrescentar mais pontos de acesso, conseqüentemente ocasionando um aumento de custo;

A utilização de banco de dados distribuídos na base consolidada pode tornar-se um fator crítico, devido à necessidade de otimização no processamento de consultas e transações em bases remotas. Em ambos os casos, estes processos podem requerer a utilização de processos intermediários para atualização constantes, algoritmos e protocolos adequados evitando que as unidades móveis estejam trabalhando com dados inconsistentes ou incompletos.

Por outro lado, a distribuição de dados pode representar um ganho na carga dos dados nas unidades móveis, pois pode ser realizada com dados disponíveis de acordo com a localização física das mesmas.

5.6.5 Algoritmos Complexos e Concorrência de Dados

Os algoritmos utilizados num ambiente cliente/servidor convencional não podem ser utilizados para resolver problemas de concorrência em ambientes móveis, por estes contarem com características únicas. No nosso caso não haverá necessidade de tratamento de algoritmos específicos, como algoritmos utilizados para manter a coerência de *cache* [BERKENBROCK & DANTAS, 2004], pois as unidades móveis estão operando apenas com registros exclusivos, conforme a conexão do usuário.

Ainda segundo os autores, a atualização de *cache* no cliente é responsável por manter a consistência dos dados armazenados. Isso significa que o cliente deve receber notificações para decidir se as informações são válidas ou não. Tais notificações podem ser assíncronas, quando o servidor transmite as notificações assim que seus valores são alterados ou síncronas quando as notificações são transmitidas periodicamente. Em ambos os casos podem ser adotadas algumas estratégias de atualização, tais como:

- **BT (Broadcast Timestamp)**: Juntamente com o identificador (*id*), está associado um identificador de tempo (*timestamp*) que registra as últimas alterações realizadas em um determinado registro. Desta forma, o servidor notifica as

unidades móveis sobre quais itens foram alterados num determinado período de tempo.

- **CCS-IUP (*Cache Coerence Schema with Incremental Update Propagation*)**: O servidor notifica as unidades móveis apenas com os dados que afetam os registros armazenados localmente.
- **AT (*Amnesic Terminals*)**: São transmitidos apenas os identificadores dos itens que sofreram modificações desde da última notificação.
- **GCORE (*Group with Cold Update-Set Retention*)**: Reduz o número de invalidações desnecessárias, enviando para as unidades móveis apenas os dados que mais foram atualizados recentemente, os quais são considerados quentes.

Na base de dados consolidada, o SGBD realiza tratamento de alocação automática de registros incluídos ou alterados, através de validações de chave primária, chave estrangeira e de domínio, sem necessidade de esforço de programação; No nosso estudo de caso não haverá ocorrência de alocação de registro, pois as unidades móveis estão operando apenas com registros exclusivos, conforme a conexão do usuário.

Devido à possibilidade de operar sobre interferências de máquinas e equipamentos do ambiente operacional, a técnica de cache é utilizada para diminuir a dependência sobre o servidor de dados, aumentar a disponibilidade, melhorar o desempenho da aplicação móvel e permitir aumentar a durabilidade das operações em modo não conectado [LEONG & SI, 1997].

5.6.6 Custos Envolvidos

As considerações a respeito dos custos envolvidos foram levantadas em função dos investimentos que os setores precisam fazer para utilizar redes sem fio:

- O hardware para manter dados na memória pode ser caro, apesar dos avanços tecnológicos, adquirir equipamento sofisticado e que seja multifuncional exige um investimento financeiro alto;
- Ficar com os dados na memória requer um suporte de memória, mecanismos para tratar a invalidação de *cache* e fontes de alimentação para prevenir a perda de informação;

- Os custos incluem ainda treinamento, desenvolvimento, implantação, manter pessoal para operação e manutenção da rede e dos equipamentos.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

6.1 Conclusões

O objetivo desta dissertação não foi apenas implementar uma aplicação que pudesse atualizar solicitações de serviço em uma indústria, mas também pesquisar e conhecer como um banco de dados se comportaria quando acessado por uma estrutura que trabalhasse com redes sem fio. Para isso procuramos conhecer especificamente o meio de comunicação e as possibilidades tanto para desenvolvimento como para utilização efetiva de aplicações neste ambiente.

Durante a fase de levantamento e estudo bibliográfico a respeito do assunto, pudemos observar que a utilização destes recursos está bastante evoluída no que se refere a pesquisas acadêmicas e com elaborações de diversas soluções no que se refere aos aspectos mais críticos do assunto, como a dissiminação, replicação e coerência de *cache*. Porém, o desenvolvimento de aplicações que utilizem estas estratégias, pouco evoluiu na prática, necessitando ainda de sensíveis melhorias, devido inclusive ao pouco tempo em que esta tecnologia está disponível no mercado.

Baseando-nos numa necessidade real, procuramos estabelecer uma estratégia de estudo, onde o primeiro passo fosse determinar a viabilidade de utilização destes equipamentos num ambiente real dentro da indústria, já que para uso pessoal as estratégias estão bastante difundidas e podem ser consideradas viáveis.

Determinada a viabilidade do projeto, procuramos identificar o ambiente onde seriam utilizados estes recursos e focar qual seria a abrangência de nossa aplicação, considerando diversos aspectos como:

- Determinar a área de abrangência e a área de cobertura;
- Decidir qual seria o protocolo de comunicação cliente/servidor utilizado;
- Determinar como seria realizada a replicação para os clientes móveis;
- Analisar como os dados seriam armazenados nos clientes móveis;
- Verificar como os dados seriam reintegrados e gerenciados no servidor de banco de dados na rede fixa;
- Avaliar quais as perspectivas de crescimento da rede e o número de usuários que necessitariam utilizar estes recursos;

Considerando que nossa aplicação foi desenvolvida e testada numa área com domínios pré-determinados, não foi preciso nos preocupar com alguns aspectos, como:

- Controle de reintegração, pois a base consolidada poderia estar disponível 100% do tempo em um só servidor de sincronização. Os dados não estariam distribuídos em mais de uma base (base distribuída), pois o controle distribuído demandaria de uma complexa interação entre as unidades móveis e a rede fixa;
- Replicação e a reintegração dos dados foi realizada de tal forma que não houvesse riscos de concorrência de dados. A base que os clientes móveis solicitam ficou restrita através do *login* do usuário, ou seja, eles recebem exatamente as solicitações de serviços nas quais eles vão trabalhar e apenas eles estão reservando tais registros;
- Como as solicitações de dados partem das unidades móveis, não houve perda de solicitações de serviço, o que poderia acontecer caso fosse utilizado o *broadcast* pelo servidor de sincronização. Precisaríamos nos certificar que as unidades móveis recebessem os pacotes enviados, não tornando necessário manter um processo de reenvio em caso de falhas;

Utilizando clientes móveis com dados armazenados em *cache* local, foi possível obter ganhos e melhorias em diversos aspectos, como:

- A mobilidade concedida aos inspetores e mecânicos foi mantida, devido à independência de conexão com a rede fixa. Utilizando unidades móveis, puderam trabalhar com dados atualizados mais recentemente, mais seguros e mais confiáveis;
- Não há mais necessidade de digitar os dados das solicitações de serviço coletados. Isto concedeu aos usuários mais disponibilidade de tempo para outras atividades, economia na utilização de papel e aumento da organização interna dos setores envolvidos;
- Utilizando mecanismos de armazenamento em cache, foi possível tornar os clientes móveis menos dependentes da base de dados central e fez

com que utilizassem dados provenientes de uma base íntegra e consolidada;

Alguns pontos podem ser considerados ainda vulneráveis com a implementação deste tipo de solução, principalmente no que tange a segurança dos dados:

- O estabelecimento de comunicação via rádio, pode sofrer interferências de outros aparelhos que utilizam frequências similares, aumentando a necessidade de pontos de acesso distribuídos pela fábrica;
- Ao contrário da comunicação por cabo ou infravermelho, a transmissão está sujeita a violação de dados durante a sincronização com a rede fixa. Para minimizar estes acessos, além dos procedimentos comuns como o controle de acesso, pode-se incluir uma função de codificação WEP (*Wired Equivalent Privacy*) em todos os pontos de acesso e utilizar outros mecanismos como EAP (*Extensible Authentication Protocol*) [NETWORK 2004] e VPN (*Virtual Private Networks*) [VPNC 2004];
- O fato de não estarmos utilizando banco de dados distribuídos entre os setores que utilizam estas unidades, pode causar uma sobrecarga sobre o servidor de sincronização. Além disso, nos casos em que o servidor não estiver disponível, o único método de contingência a ser utilizado seria a emissão das solicitações em papel e a digitação dos apontamentos manualmente no sistema;

Num consenso geral, este trabalho contribuiu para o estudo da replicação e reintegração de dados num ambiente que utiliza redes sem fio, através de uma aplicação real. Outros testes ainda podem ser feitos e algumas considerações podem ser apresentadas a respeito das dificuldades visíveis neste meio, tais como:

- Processamento de consultas como dependência da localização (banco de dados distribuídos);
- Materialização das visões: para onde enviar os resultados;
- Localização das unidades: capacidade de executar a tarefa dentro do tempo esperado e retornar a resposta;
- Controle de concorrência, consistência e invalidação;

- Taxa e velocidade de transmissão entre os *links*.

Em função da larga utilização destes meios de transmissão de dados, compreendemos que nossa abordagem pode ser utilizada em diversos setores da sociedade como facilitadora das operações do dia-a-dia, principalmente em:

- Hospitais, clínicas hospitalares e veterinárias;
- Serviços de atendimentos a clientes (táxis), aeroportos, ferroviárias e rodoviárias;
- Serviços emergenciais como, ambulâncias, bombeiros e policia;
- Outras áreas do comércio e indústria como meio de realizar controle de estoque, carteira de pedidos de clientes e fornecedores, entre outros.

6.2 Trabalhos Futuros

O estudo e implementação desta aplicação que utiliza unidades móveis com interfaceamento sem fio acessando e atualizando banco de dados, gerou uma série de perspectivas e projetos futuros a serem elaborados:

- Implementar uma abordagem de comunicação *Ad-Hoc*, capacitando uma unidade móvel a se tornar supervisora de uma base de dados replicada, quando o servidor na rede fixa não estiver disponível e que possa gerenciar atualizações na base consolidada de maneira intermediária;
- Permitir *broadcast* das solicitações de serviço enviando-as para todos as unidades móveis em operação. A partir deste envio, qualquer usuário poderia atender a solicitação que estiver disponível, independente de quem seja o responsável, necessitando para isto terminar um gerenciamento mais rigoroso de *cache* e controlando as alocações das mesmas no servidor;
- Explorar outros protocolos para replicação e reintegração de dados além do método HTTP, fazendo uma avaliação comparativa entre eles;
- Implementar nas máquinas e equipamentos sinalizadores que disparem quando o horímetro atingir determinados limites ou quando estas pararem por algum defeito, gerando a SS dinamicamente.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, L.; FERREIRA, J.; **Cache Semântico para Computação Sem Fio Baseado na Abstração de Composição dos Dados**. Workshop de Sistemas de Informação Distribuída de Agentes Móveis. São Paulo, p.83-89, 2000.

BADRINATH, B. R.; PHATAK, S.H.; **An Architecture for Mobile Databases**. Research Work, DCS-TR-351, 1998.

BARBARÁ, D.; **Mobile Computing and Databases - A Survey**. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, v.11, p.108-117, 1999.

BERKENBROCK, C.D.M.; DANTAS M.A.R.; **Estratégias para Coerência de Cache em Ambientes de Computação Móvel**. SIRC/RS 2004 – Simpósio de Informática da Região Centro do Rio Grande do Sul, 2004.

BLUETOOTH; <http://www.bluetooth.com>, disponível on-line em Abril de 2004.

BRAYNER, A.; **Acessando Banco de Dados Móveis**. WSCF 2002 - IV Workshop de Comunicação Sem Fio e Computação Móvel, 2002.

BERNARDES, M.C.; **Avaliação do Uso de Agentes Móveis em Segurança Computacional**. Dissertação de Mestrado, USP – Universidade de São Paulo, 1999.

CHEN, P.; **Entity-Relationship Modeling: Historical Events, Future Trends, and Lessons Learned in: Software Pioneers: Contributions to Software Engineering**. Broy M. and Denert, E. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Lecturing Notes in Computer Sciences, June 2002, pp. 100-114.

CHRYSANTHIS, P.K.; **Transaction Processing in Mobile Computing Environments**. IEEE Workshop on Advances in Parallel and Distributed Systems, 1993.

COGLIANESE, M.; **Optimistic Data Replication for Mobile Applications**. International Conference on Mobile Data Access, p.1-8, 2000.

CORTES, S.; LIFSCHITZ, S.; **Banco de Dados para um Ambiente de Computação Móvel**. SBC2003 XXIII – Congresso da Sociedade Brasileira de computação, 2003.

CUNHA, D.P.; **Um Estudo das Estratégias de Replicação e Reconciliação de Banco de Dados Móveis e um Ambiente Wireless**. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2003. Dissertação de Mestrado.

DANTAS, M.A.R.; CUNHA, D.P.; **An Experimental Case Study of Replication and Reconciliation in a Wireless Environment**. 18th International Conference of High Performance Computing and Systems, Canada, 2004.

DUNHAM, M. H.; HELAL, A.; BALAKRISHNAN, S.; **A Mobile Transaction Model that Captures Both the Data and Movement Behavior**. Mobile Networks and Applications, v. 2, 1997.

ECLIPSE; <http://www.eclipse.org/> , disponível on-line em Outubro de 2004.

EDUGPS; <http://www.edu-observatory.org/gps/gps.html>, disponível on-line em Abril de 2004.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S.; **Fundamentals of Database Systems**. 3rd Ed., Addison-Wesley, 2000.

FORMAN, G.H.; ZAHORJAN, J.; **The Challenges of Mobile Computing**. IEEE Computer, v. 27, n.4, p. 38-47 1994.

GENTE PALM; <http://www.gentepalm.com.br/>, disponível on-line em Abril de 2004.

GOLDBARG, M.C.; **Aplicações de Computação Móvel.** <http://www.dimap.ufrn.br/~gold/aplicações.htm>, disponível on-line em Julho de 2000.

GRAY, J.; HELLAND, P.; O'NEIL, P.; et al. **The dangers of Replication and a Solution.** SIGMOD International Conference on Management of Data, p.173-182, 1996.

GSMWORLD; <http://www.gsmworld.com/technology/gprs/index.shtml>, disponível on-line em Julho 2004.

HELAL, S; **Pervasive Java.** Pervasive Computing, Janeiro e Fevereiro 2002.

HELAL, S; **Pervasive Java II.** Pervasive Computing, Abril/Junho 2002.

HOFFMAN, J.L.; **Model Methods for Computer Security and Privacy.** Englewood Cliffs, N.J, Prentice-Hall, 1977.

IEEE GROUP; <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/>, disponível on-line em Março de 2004.

IMIELINSKI, T.; BADRINATH, B. R.; **Data Management for Mobile Computing.** In SIGMOD Record, v.22, p.34-39, 1994.

ITO, G.C; **Banco de Dados Móveis: Uma Análise de Soluções Propostas para Gerenciamento de Dados.** UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Dissertação de Mestrado.

JING, J.; HELAL, A.S;; ELMAGARMID, A.; **Client-Server Computing in Mobile Environments;** ACM Computing Surveys, v.31(2), p.117-157, 1999.

JOSEPH, A.; TAUBER, J.; KAASHOEK, M.; **Mobile Computing with the Rover Toolkit.** IEEE Transactions on Computers, 1997.

KEMME, B.; ALONSO, G.; **A New Approach to Developing and Implementing Eager Database Replication Protocols**. ACM Transactions on Database Systems, p.336-343, 2000.

KIM, S.; SONY, S.; STANKOVIC, J.; et al. **SAFE: A Data Dissemination Protocol for Periodic Updates in Sensor Networks**. 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, p.19-22, 2003.

KISTLER J.J.; SATYANARAYANAN, M.; **Disconnected Operation in the Coda File System**, ACM Transactions on Computer Systems v.10, p.6-25, 1992.

KORTH, H.; LEVY, E.; SILBERSCHATZ, A.; **A Formal Approach to Recovery by Compensating Transactions**; Proceedings of the 16th VLDB Conference, Australia, 1990.

LEONG, H.; SI, A. **On Adaptive Caching in Mobile Databases**. ACM Symposium on Applied Computing Table of Contents, p.302-309, 1997.

LEME, T.; **Metodologia de Desenvolvimento de Sistemas**. Primeira Edição, Ed. Axcel Books, 2003.

MAC MAGAZINE; <http://www.macmagazine.com.br/museu>, disponível on-line em Abril de 2004.

MANIATIS, P.; ROUSSOPOULOS, M.; SWIERK, E.; et al. **The Mobile People Architecture**. ACM Mobile Computing and Communications Review, 1999.

MENKHAUS, G.; **Adaptive User Interface Generation in a Mobile Computing Environment**. University of Salzburg, 2002. Tese de Phd.

MUCHOW, J.W.; **Core J2ME Technology & MIDP**. Ed. Prentice Hall, 2001.

MURTHY, V.K.; **Mobile computing by Deploying Agents**. IEEE Transactions on Mobile Computing, 1998.

NASSU, E.A.; **Consulta Sobre “Aqui” em Sistemas de Bancos de Dados em Ambientes de Computação Nômade**. Universidade de São Paulo, 2003. Tese de Doutorado.

NETWORK WORLD FUSION; <http://www.nwfusion.com/details/490.html?def>, disponível on-line em Outubro de 2004.

ORACLE; <http://www.oracle.com/index.html>, disponível on-line em Outubro de 2004.

ÖZSU, M.; VALDURIEZ, P.; **Princípios de Sistema de Bancos de Dados Distribuídos**. Tradução da 2ª Edição Americana por Vanderberg D. de Souza, Ed. Campus, 2001.

PALAZZO, S.; PULIOFITO, A.; SCARPA, M. **Design and Evaluation of a Replicated Database for Mobile Systems**. Wireless Networks 6, p.131-133, 2000.

PALMOS; <http://www.palmos.com/dev/tech/conduits/>, disponível on-line em Setembro de 2004.

PARK, T.; YEOM, H.; **An Asynchronous Recovery Scheme Based on Optimistic Message Logging for Mobile Computing Systems**. The 20th International Conference on Distributed Computing Systems, p.436-443, 2000.

PARK, T.; WOO, N.; YEOM, H.; **An Efficient Optimistic Message Logging Scheme for Recoverable Mobile Computing Systems**. IEEE Transactions on Mobile Computing, p.265-277, 2002.

PLANETA CELULAR; <http://www.planetacelular.com.br/>, disponível on-line em Maio de 2004.

PHATAK, S.; BADRINATH, B.; **Multiversion Reconciliation for *Mobile Databases***. New Brunswick, NJ 08903, Rutgers University, p.1-2, 2001.

PITOURA, E.; SAMARAS, G.; **Data Management for Mobile Computing**. Kluwer Academic Publishers, 1998.

PITOURA, E.; BHARGAVA, B.; **Data Consistency in Intermittently Connected Distributed Systems**. Knowledge and Data Engineering, v.11, p.896-915, 1999.

PITOURA, E.; **Software Models for *Mobile Wireless Computing***, Summer School on Mobile Computing, 1998,

RATNER, D.; REIHER, P.; POPEK, G.; et al. **Replication Requirements in Mobile Environments**. Mobile Networks and Applications, 2001.

ROSS, J.; **The Book of Wi-Fi: Install, Configure, and Use 802.11b Wireless Networking**. 1ª Edição. Ed. Alta Books, 2003.

SAMARAS, G.; PITSILLIDES A.; **A Computational Model for Wireless Environments**. IV International Conference on Telecommunications, p.1-19, 1997.

SATYANARAYANAN, M.; **Fundamental Challenges in Mobile Computing**. ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Filadélfia, p.1-7, 1996.

SATYANARAYANAN, M.; NARAYANAN, D.; **Multi-Fidelity Algorithms for Interactive Mobile Applications**. Wireless Network, v.7, 2001.

SILBERSCHATZ, A.; KORTH, H.; SUDARSHAN, S.; **Sistema de Banco de Dados**, tradução, 3ª Edição, Makron Books, 1999.

SNOEREN, A.; **A Session-Based Architecture for Internet Mobility**. Massachusetts Institute of Technology, 2002. Tese de PhD.

SSU, K.; YAO, B.; FUCHS, K.; NEVES, N. F.; **Adaptive Checkpoints with Storage Management for Mobile Environments**, Citeseer, 1998.

VPNC – VIRTUAL PRIVATE NETWORK CONSORTIUM;
<http://www.vpnc.org/vpn-technologies.html>, disponível on-line em Outubro de 2004.

WI-FI Alliance; <http://www.wi-fi.org/OpenSection/index.asp>, disponível on-line em Maio de 2004.