

1

Introdução

Recentes avanços na tecnologia da comunicação sem fio (*wireless*) têm transformado os serviços de informações móveis em uma realidade. Existe um número cada vez maior de novas aplicações que necessitam de acessos a bancos de dados utilizando equipamentos do tipo computadores portáteis, telefones celulares ou *Personal Digital Assistant (PDAs)*, explorando ao máximo as características da computação móvel. Essa realidade só é possível graças à convergência das tecnologias dos computadores portáteis, que possuem um poder de processamento cada vez maior, e ao desenvolvimento de redes de comunicação de dados mais velozes e confiáveis [5].

O uso dessas tecnologias tem se popularizado devido:

1. À possibilidade de acessar grandes bancos de dados de qualquer lugar e a qualquer momento;
2. À versatilidade de formas de comunicação e à cooperação que pode existir entre seus usuários;
3. À possibilidade de notificação, a uma comunidade de usuários, a respeito de fatos ou eventos críticos e úteis para seus usuários móveis;
4. À possibilidade de integração de pontos distantes da empresa.

Dentre os muitos exemplos de aplicações para o ambiente de computação móvel destacam-se [30], [3] e [45]:

- Vendas de produtos, por vendedores, com acesso a estoques em tempo real;
- Controle de transporte de cargas e localização geográfica de caminhões através de rastreamento;
- Acompanhamento e orientação de procedimentos médicos em ambulâncias;
- Envio e recebimento de arquivos e e-mails em notebooks através de modem de celular;

- Acesso à internet, em notebooks e PADs, através de modem de celular;
- Computação cooperativa entre usuários móveis, como, por exemplo, alertas de acidentes em rodovias, catástrofes naturais, situações de perigo, etc.;
- Recebimento e armazenamento de fotos de satélites.

Do ponto de vista da gerência de dados, a computação móvel pode ser considerada uma variação da computação distribuída [20] e traz novas questões relativas à gerência dos bancos de dados, no que se refere a distribuição e replicação de dados, modelos de transações, evolução de esquemas, processamento de consultas, recuperação e tolerância a falhas, bem como ao projeto dos bancos de dados, todas analisadas com o objetivo de atender os requisitos do ambiente da computação móvel. Além da necessidade de revisão desses aspectos relativos ao Sistemas de Gerência de Banco de Dados (SGBDs), introduz o conceito e a necessidade dos clientes móveis de acessarem seus bancos de dados a partir de qualquer lugar (*anywhere*) e a qualquer momento (*anytime*) [8] e [59].

A integração dos Sistemas de Bancos de Dados (SBDs) à computação móvel não é uma questão trivial. Os pressupostos para garantia da consistência e integridade dos dados, duas das principais funções dos SGBDs, não podem ser totalmente aplicados no ambiente móvel, uma vez que suas transações, por dependerem de dois ambientes, um com fio e o outro sem fio, em muitos momentos desconectados, não podem ser executadas como nos modelos centralizados ou distribuídos, em função de eventuais rupturas que podem acontecer durante a execução dessas transações. Assim, novos modelos de transações precisam ser desenvolvidos para considerarem a mobilidade dos clientes, enquanto atendem aos requisitos básicos dos SGBDs quanto aos dados que armazenam.

1.1

Um Cenário Móvel e a Contextualização de Seus Problemas na Abordagem deste Trabalho

Com o objetivo de definir o contexto deste trabalho, apresentar os principais problemas do ambiente da computação móvel considerados neste estudo e propor uma solução que os resolva (capítulo 5, subseção 5.4.9), será considerado o caso descrito a seguir.

Uma empresa produtora e distribuidora de produtos alimentícios, com atuação em todo o território brasileiro, considera, como ponto fundamental

e estratégico em seu mercado de atuação, a garantia da entrega de seus produtos sempre no prazo acordado entre seus vendedores e clientes, bem como proporcionar uma comunicação ágil e eficiente entre seus vendedores, clientes e a empresa. Para a realização de sua estratégia, considera essenciais, principalmente, os seguintes fatores:

- O tempo de fabricação, embalagem e armazenamento de seus produtos;
- O tempo de transporte dos seus produtos para seus depósitos e pontos-de-venda;
- O tempo de transporte dos seus produtos entre seus depósitos/fábricas e seus clientes;
- A disponibilidade de seus produtos para entrega aos seus clientes, através da manutenção e controle de seus estoques;
- Uma comunicação eficiente entre seus vendedores e seus sistemas de vendas;
- Uma comunicação eficiente entre seus clientes e a empresa.

O atendimento desses fatores é dificultado pelos seguintes aspectos:

1. *A localização espacial (geográfica) de seus vendedores*, que traz problemas de comunicação com a empresa, em função da possível falta de infra-estrutura de comunicação;
2. *A grande quantidade de vendas que podem ocorrer em curtos períodos de tempo e as dificuldades de comunicação entre os vendedores e a empresa*, que causam distorções nas posições do estoque;
3. *A defasagem de tempo entre a realização da venda e a solicitação de produção e reposição dos produtos em seus estoques*, o que impossibilita a realização de um planejamento eficiente da produção e distribuição de produtos;
4. *Os problemas no transporte* como, por exemplo, congestionamentos, perdas de carga (acidentes e roubos), erros de rota, que causam o não-cumprimento dos prazos acordados;
5. *A impossibilidade de comunicação entre as equipes de entrega e venda da empresa para comunicados de eventuais problemas ou quebra de compromissos junto a seus clientes*;

6. *A segurança lógica dos dados das vendas, em função da perda de mensagens e do acesso dessas por pessoas não-autorizadas no ambiente de computação;*
7. *A segurança física dos dados das vendas, em função do extravio ou de eventuais problemas do equipamento móvel dos vendedores após a realização de vendas;*
8. *A dificuldade de comunicação entre a empresa e seus clientes para a troca de mensagens do tipo antecipação ou atraso de entrega de produtos, causando constrangimento com os clientes em função da impossibilidade de honrar os compromissos assumidos.*

Percebe-se que, para esse cenário, o tratamento da mobilidade através do *sincronismo dos dados* entre os equipamentos móveis e os bancos de dados da empresa, ao final de um período de tempo preestabelecido ou de uma jornada de trabalho, poderá não resolver todos os problemas principais. A Figura 1.1 representa um modelo abstrato de um ambiente móvel e um cenário capaz de resolver os principais problemas dessa empresa, no qual se pressupõe a existência de uma integração do tipo proposta neste trabalho entre as tecnologias de banco de dados e de computação móvel. Cabe destacar que alguns dos principais problemas da computação móvel que afetam diretamente o processamento de consultas e o gerenciamento de transações, como por exemplo as desconexões contínuas, não são captados por esse cenário e serão tratados ao longo deste trabalho.

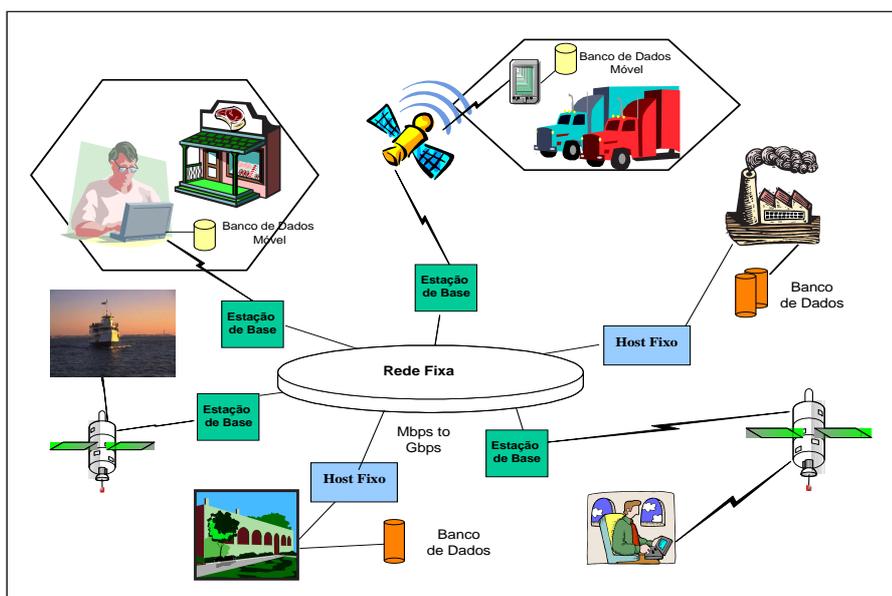


Figura 1.1: Um cenário para um ambiente de computação móvel

Nesse ambiente, os bancos de dados da empresa podem estar distribuídos entre suas fábricas e depósitos e conectados através de uma rede fixa corporativa de alta velocidade. Seus vendedores e distribuidores de produtos poderão se conectar à empresa através de várias tecnologias de comunicação sem fio.

1.2

Motivação para este Trabalho

Os SGBDs comerciais, hoje oferecidos no mercado, buscam uma integração dos dados residentes nos equipamentos móveis com os dados residentes nos servidores de bancos de dados, localizados em uma rede com fio (*rede fixa*), através de mecanismos de sincronização. Uma característica comum desses produtos está no fato de serem desenvolvidos, principalmente, para atuarem na desconexão dos equipamentos móveis através de bancos de dados locais, que necessitam de uma carga antecipada dos dados para dar suporte às suas aplicações. Quando conectados à rede fixa, executam a sincronização com seus servidores, evitando trabalhar conectados [29], [41], [43] e [63].

A computação móvel pode alocar os seus bancos de dados segundo três arquiteturas, as duas primeiras definidas em [44]:

1. O banco de dados pode estar centralizado ou distribuído entre os componentes da rede fixa, possivelmente com replicação total ou parcial. Assim, o servidor de banco de dados faz a gerência de seus bancos de dados segundo as funcionalidades inerentes aos SGBDs, enquanto incorpora funcionalidades adicionais para atender aos requisitos de ambientes móveis como *localizar unidades móveis* e *gerenciar transações* solicitadas a partir dos equipamentos móveis;
2. O banco de dados está distribuído entre os componentes da rede fixa e os componentes da rede sem fio. A responsabilidade pela gerência de dados é compartilhada entre os servidores de banco de dados localizados na rede fixa e nas unidades móveis;
3. Com a evolução da tecnologia, podemos admitir uma *terceira arquitetura*, na qual o banco de dados está distribuído somente entre os componentes da rede sem fio. Nesse caso, a responsabilidade pela gerência de dados é apenas dos SGBDs localizados nas unidades móveis.

Este trabalho será desenvolvido baseado na segunda arquitetura, em que o banco de dados é distribuído entre os componentes da rede fixa e os componentes da rede sem fio. Assim, o modelo de transação proposto será diretamente influenciado por essa arquitetura e definirá uma estratégia própria para a concorrência entre as suas transações.

Algumas questões relativas à gerência de bancos de dados distribuídos também podem ser aplicadas aos bancos de dados em ambientes de computação móvel (banco de dados móvel), porém com os seguintes aspectos analisados de forma especial [21], [23], [25] e [35]:

1. A distribuição e replicação de dados;
2. Os modelos de transações;
3. O processamento de consultas;
4. A recuperação e tolerância a falhas;
5. O projeto conceitual e lógico dos bancos de dados;
6. A evolução de esquemas.

Dentre os principais problemas do ambiente de computação móvel que afetam diretamente o *processamento das transações* dos bancos de dados destacam-se [49]:

- As constantes *desconexões* dos clientes móveis de suas redes fixas;
- A *fraca conectividade* das redes sem fio;
- A *mobilidade* dos clientes móveis por um amplo espaço geográfico; e
- A segurança física na utilização dos bancos de dados.

Para assegurar a integridade dos dados, o SGBD deve garantir as propriedades de Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade das transações, denominadas propriedades **ACID**. Um processamento que acessa dados compartilhados em um banco de dados, normalmente, é estruturado como uma transação atômica, a fim de preservar a consistência dos dados diante da ocorrência de concorrência e falhas. Uma *transação* é executada isoladamente das demais, o que impede o compartilhamento de seu estado e resultados parciais. Já o ambiente de computação móvel exige que os processamentos de um equipamento móvel sejam apoiados por um equipamento de suporte à mobilidade (estação de base), na maioria dos casos, para comunicação com a rede fixa e, quando possível, para executar

algum tipo processamento. Isso significa que o processamento de um equipamento móvel precisa ser estruturado como um conjunto de transações, algumas executadas no equipamento móvel, enquanto outras executam no equipamento da rede fixa [14].

Desenvolver um novo modelo de transações que controle e garanta a integridade dos dados dos bancos de dados, considerando as necessidades e os requisitos do ambiente da computação móvel, e propor uma arquitetura que use o modelo de transações proposto para garantir a consistência dos dados são as principais motivações deste trabalho.

O modelo de transações que será proposto neste trabalho visa garantir a integração de um banco de dados ao ambiente da computação móvel para um conjunto de aplicações bem-definidas. Essa integração pode se dar através da utilização de um banco de dados móvel ou simplesmente pela facilidade de acesso a um banco de dados localizados na rede fixa. Dentre as principais características dessas aplicações podemos destacar:

- A possibilidade de fragmentação do seu banco de dados;
- A necessidade de reunir em seu ambiente o conjunto de dados necessário para sua execução;
- A possibilidade de processamento serial em seu contexto, sem a necessidade de compartilhamento de seus dados;
- A necessidade de manter o banco de dados localizado na rede fixa sempre atualizado em um menor período de tempo;
- A possibilidade de ser executada em equipamentos sem a capacidade necessária de armazenamento de seus bancos de dados.

Podemos mencionar as aplicações de vendas e serviços de uma forma geral (produtos, seguros, planos de saúde, etc.), de coleta de informações de concessionárias de serviços públicos (gás, luz, telefone, correios, courier, etc.), de controle de tráfego de automóveis em vias públicas, de internação hospitalar, de coleta de informações climáticas, meteorológicas, domiciliares e econômicas, de atualizações geográficas e cartográficas, de atendimento médico-hospitalar residencial, entre outras com as características citadas anteriormente. Ou seja, aplicações em que seus dados possam ser divididos em "cotas" ou que precisem da garantia de atualização permanente, no menor intervalo de tempo possível.

Cabe ressaltar que o modelo de transações que será proposto neste trabalho não se aplica a aplicações que necessitem de um maciço compartilhamento de seus dados, em que a fragmentação do banco de dados não

é a melhor solução. Dentre essas aplicações podemos destacar as aplicações financeiras, de pregões de ações, de controle acesso de pessoas e cargas em terminais de embarque e desembarque de rodoviárias, portos e aeroportos, entre outras. Ou seja, aplicações que necessitam de atualizações de várias fontes de dados simultaneamente e que precisem usar essas atualizações em tempo real.

Na seção 3.3, após estudar vários modelos de transações, é apresentada uma motivação completa para o desenvolvimento de um novo modelo de transações; na seção 4.5, diversas vantagens do modelo proposto são apresentadas, e no capítulo 6 é feita uma comparação entre o modelo proposto e diversos modelos de transação estudados. Percebe-se, nesses estudos, que o modelo proposto permite maior grau de integração entre os bancos de dados dos dois ambientes, garante o processamento das transações executadas no ambiente móvel, minimizando os cancelamentos de transações em cascatas, e, se for necessário, opera somente com o banco de dados localizado na rede fixa, principais problemas dos modelos estudados.

1.3 Objetivos da Tese

Este trabalho tem como objetivo principal o desenvolvimento de um modelo de computação que integre um SGBD e as funcionalidades e requisitos necessários para a execução de aplicações em um ambiente de *computação móvel*, usando agentes de software.

Os objetivos de **âmbito específico** deste trabalho consistem em:

1. Projetar e formalizar um *modelo de transações* de bancos de dados para:
 - (a) Dar suporte à execução das transações solicitadas pelas aplicações residentes nos equipamentos móveis;
 - (b) Preservar a consistência e integridade dos dados armazenados nos bancos de dados localizados nos equipamentos móveis e nos equipamentos localizados na rede fixa;
 - (c) Aumentar a concorrência no processamento das transações, preservando a consistência dos dados e especificando mecanismos de recuperação das transações em caso de falhas;
 - (d) Permitir a execução das transações dessas aplicações, estejam seus equipamentos hospedeiros conectados ou não em suas redes de comunicação.

2. Definir e documentar um framework que possibilite:
 - (a) A integração das funcionalidades, requisitos e serviços de informações necessários para um ambiente de computação móvel como parte integrante de um SGBD ou a um SGBD, que desempenha as funcionalidades específicas de gerenciamento e armazenamento de dados;
 - (b) A sua instanciação em softwares que implementem o modelo de transação proposto usando diferentes SGBDs e diferentes sistemas de controle de localização dos clientes móveis, bem como receber transações escritas em diferentes linguagens de programação.

3. Utilizar a tecnologia de agentes de software na arquitetura proposta para tratar os efeitos dos problemas típicos do ambiente da computação móvel sobre o processamento das transações de bancos de dados, uma vez que essa tecnologia apresenta propriedades adequadas ao ambiente da computação móvel, tais como autonomia e códigos móveis, da seguinte forma:
 - (a) *Conectividade fraca e intermitente*, através da criação de mecanismos que garantam a conclusão das transações solicitadas pelos clientes móveis, independentemente da taxa de conectividade;
 - (b) *Perda de conectividade no momento da execução das transações de bancos de dados*, através de um novo modelo de transações proposto;
 - (c) *Mudança de localização do cliente*, através da gerência da localização geográfica dos clientes móveis, para confirmar as suas transações e entregar os dados solicitados em suas consultas.

1.4

Organização da Tese

Este trabalho está organizado da seguinte forma:

- Capítulo 1

Descreve um cenário de um ambiente de computação móvel objetivando a contextualização deste trabalho, as questões consideradas tópicos em aberto no contexto estudado, os principais problemas que

são a motivação para esta pesquisa, os objetivos da tese e, finalmente, a organização da tese.

– Capítulo 2

Apresenta as definições conceituais necessárias para o desenvolvimento deste trabalho, com destaque para os sistemas de bancos de dados, as tecnologias de framework e agentes de software, o ambiente e as arquiteturas de software para computação móvel.

– Capítulo 3

Avalia alguns trabalhos relatados na literatura sobre sistemas de gerência de bancos de dados para um ambiente de computação móvel, com ênfase em seus modelos de transações.

– Capítulo 4

Propõe um modelo de transações para o ambiente de computação móvel, apresentando a sua formalização em lógica de primeira ordem e o diagrama de estados dessas transações.

– Capítulo 5

Apresenta a arquitetura proposta para integração do SGBD ao ambiente da computação móvel, usando agentes de software e a documentação do framework representada através da notação proposta em [17].

– Capítulo 6

Apresenta um estudo comparativo entre alguns modelos de execução de transações de banco de dados para ambientes de computação móvel e o modelo de transações proposto nesta tese.

– Capítulo 7

Apresenta uma síntese da pesquisa, as contribuições esperadas para resolver algumas das questões que motivaram este trabalho, os limites desta pesquisa, os trabalhos futuros e algumas considerações finais.

1.5

Resumo do Capítulo

Este capítulo apresentou uma introdução ao ambiente da computação móvel, dando ênfase à presença dos SGBDs para dar suporte a um conjunto de aplicações. Foi descrito um cenário que, embora fictício, muito se aproxima de uma família de aplicações encontradas no mundo real, com o objetivo de contextualizar este trabalho. Em seguida, foram apresentados os

principais problemas relacionados ao funcionamento dos SGBDs no ambiente da computação móvel, problemas esses que foram a grande motivação para esta pesquisa, assim como os objetivos gerais e específicos desta tese.

No próximo capítulo, serão apresentados os principais conceitos necessários ao entendimento e desenvolvimento deste trabalho.