

# Requisitos para o Projeto de Aplicações Móveis Distribuídas

Iara Augustin<sup>2,3</sup>, Adenauer Yamin<sup>1,3</sup>, Jorge Barbosa<sup>1,3</sup>, Cláudio Geyer<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Escola de Informática, Universidade Católica de Pelotas (UCPel)  
R. Félix da Cunha, 412, Pelotas, RS, Brasil  
{adenauer, barbosa}@atlas.ucpel.tche.br

<sup>2</sup> Departamento de Eletrônica e Computação, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)  
Campus Universitário, Faixa de Camobi km 9, Santa Maria, RS, Brasil  
august@inf.ufsm.br

<sup>3</sup> Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Av. Bento Gonçalves, 9500, Porto Alegre, RS, Brasil  
{august, adenauer, barbosa, geyer}@inf.ufrgs.br

## Resumo

A computação móvel está a permitir o acesso a informações a qualquer tempo, em qualquer lugar. Porém, mais do que aplicações pessoais com simples acesso a informações, pode -se utilizar a infra-estrutura de rede já existente para a execução de aplicações mais avançadas, como as aplicações móveis colaborativas. Mobilidade física e lógica introduz complexidade e restrições ao projeto de aplicações distribuídas, o que requer um suporte adequado do sistema. Com o intuito de abordar este tema está em desenvolvimento o projeto ISAM (Infra-estrutura de Suporte às Aplicações Móveis), que conta com a participação de várias instituições do sul do Brasil. Nest artigo, apresenta-se uma visão geral da arquitetura do sistema ISAM, introduz -se os requisitos básicos que a inspiraram e seus principais componentes. Focalizam -se, principalmente, as questões relativas à adaptação do ambiente às variações nas condições do contexto em que a aplicação está inserida. A idéia principal é explorar informações sobre o contexto (recursos, serviços, localização e perfil do usuário) que associadas a políticas, mecanismos e estratégias de adaptação tenta superar, de forma integrada, as bem conhecidas limitações do ambiente móvel.

**Palavras-chaves:** computação móvel, arquitetura de software móvel, aplicações móveis distribuídas, sistemas móveis adaptativos, estratégias de adaptação.

# 1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico dos equipamentos portáteis e a inserção da possibilidade de comunicação sem fio permitem aos usuários móveis fazerem uso de aplicações mais avançadas que as aplicações pessoais já utilizadas hoje [JIN98]. No entanto, a computação móvel, através da natureza de suas propriedades - portabilidade, mobilidade e conectividade- introduz restrições aos sistemas e aplicações [AUG00]. Apesar da evolução natural da tecnologia, a maioria dos pesquisadores considera que essas limitações permanecerão, principalmente se comparadas ao ambiente de rede fixa [IMI97].

Mais do que transferir e adaptar as aplicações baseadas em equipamento *desktop* para trabalhar na plataforma móvel, requer-se facilidades de desenvolvimento para uma nova geração de aplicações, as quais podem interagir inteligentemente com o usuário, baseado no conhecimento de seu ambiente. Essas aplicações, em vez de tratar a mobilidade do dispositivo como um problema a ser transposto, devem procurar explorar a natureza da mobilidade. Desta forma, a construção de aplicações para o ambiente móvel deve levar em conta suas restrições e tentar diminuir seu efeito. Para tal, devem ser projetadas, em todos seus aspectos, com mobilidade e adaptabilidade em mente [COU99]. Muitos pesquisadores consideram a adaptabilidade como a forma mais adequada de tratar as freqüentes variações de recursos e serviços que ocorrem no ambiente móvel [KAT94, DAV97].

A mobilidade física relaciona-se a outro conceito importante para o ambiente: a localização [DEY00]. A localização corrente do usuário móvel determina o contexto de execução que este terá a disposição, uma vez que as redes móveis são heterogêneas por natureza. Desta forma, pode-se dizer que os fundamentos básicos para as aplicações móveis distribuídas são: ( *i*) a **localização corrente** que, por sua vez, determina ( *ii*) o **contexto atual**, o qual exige a característica de ( *iii*) **adaptação da aplicação** à variedade de configurações possíveis dentro do ambiente móvel. Para que um projetista possa construir uma aplicação móvel que execute em ambientes heterogêneos e dinâmicos é necessário prover-lhe uma arquitetura de suporte que abstraia esta diversidade.

Observa-se, no entanto, uma falta de suporte uniforme para a construção e execução dessas aplicações. Com a intenção de abordar este problema, está em desenvolvimento o projeto ISA (Infra-estrutura de Suporte a Aplicações Móveis), o qual objetiva prover uma infra-estrutura para a execução de aplicações distribuídas em ambiente com mobilidade física e lógica, as quais se adaptam à variação do contexto de execução. Neste artigo, investiga-se algumas decisões da arquitetura ISAM focalizando especialmente o mecanismo de adaptação.

O artigo está organizado como segue. Na seção 2, apresenta-se o conceito de adaptação adotado em muitos projetos, e a nossa definição do termo contexto. Na seção 3, enumeram-se os requisitos que o sistema deve possuir para suportar a implementação e execução de aplicações móveis distribuídas. A seção 4 apresenta a arquitetura ISAM proposta. Essa arquitetura é discutida em relação ao conceito de adaptação na seção 5. Os trabalhos relacionados e as conclusões são apresentadas na seção 6 e 7, respectivamente.

## 2 CONCEITO DE ADAPTAÇÃO E MODELO DE CONTEXTO

A oferta variável de recursos, tanto quanto a diversificada de demandas, sugere que as aplicações devem se adaptar a essas variações. Observa-se que a adaptação pode se referir a diversas noções, dependendo dos objetivos e domínio de aplicação dos sistemas. Em geral, adaptação é a troca de um recurso ou por outro recurso ou pela qualidade do serviço prestado.

Em muitos sistemas, a adaptação diz respeito ao uso de técnicas de redução, transformação, ou filtragem dos dados para trafegarem na rede, e este processo é automaticamente disparado pela

alteração na largura da banda, e/ou o dispositivo *display* em uso, como em [NOB00, ZEN97]. Por outro lado, alguns autores propõem o uso de execução remota como estratégia de adaptação, para reduzir a comunicação entre as máquinas móveis e a rede estática. Neste caso, a adaptação é alcançada pela troca do modo como a rede é usada, como em Sumatra [RAN97]. Esses sistemas inspiraram a arquitetura ISAM, porém de forma diferente destes, propõe-se a adaptação em níveis, facilitada pelo paradigma de programação adotado, e o uso do escalonamento como estratégia de adaptação.

Como visto, a adaptação se relaciona ao contexto em que a aplicação está inserida. Contexto é um conceito vago, então, é necessário defini-lo. Muitos sistemas usam definições que são simplesmente sinônimos de contexto: situação ou ambiente. Porém, deseja-se uma definição mais operacional. O contexto ISAM, chamado *HoloContext*, é definido como: “toda informação, relevante para a aplicação, que pode ser usada para definir seu comportamento”. Numa análise preliminar, inspirada nos trabalhos de Dix e Schmidt [DIX98, SCH98], o contexto é determinado através de informações de quem, onde, quando, o que está sendo realizado e com o que está sendo realizado. Para representar o *HoloContexto* usa-se a metáfora de um guarda-chuva, conforme figura 1. O espectro de informações para comporem o contexto é grande. Porém, na prática, observa-se que somente uma ou duas dessas informações são predominantes no comportamento de uma aplicação específica, o que permite uma simplificação na tarefa de adaptação à variação do contexto.

As informações que constituem o contexto são coletadas tanto na parte móvel quanto na parte fixa da rede. Essas informações podem ser classificadas em físicas – relativas ao hardware (bateria, latência, banda, localização, tempo de conexão, etc); lógicas – relativas ao software (tarefas, arquivos, preferências, etc); e sociais – relativa ao contexto da comunidade de usuários. As informações de contexto alimentam o conceito de adaptação ISAM, tanto no nível de sistema (escalonador) quanto no nível de aplicação, além de comporem o Perfil do Usuário. Por sua vez, o perfil do usuário influencia tanto decisões de escalonamento quanto decisões da aplicação.

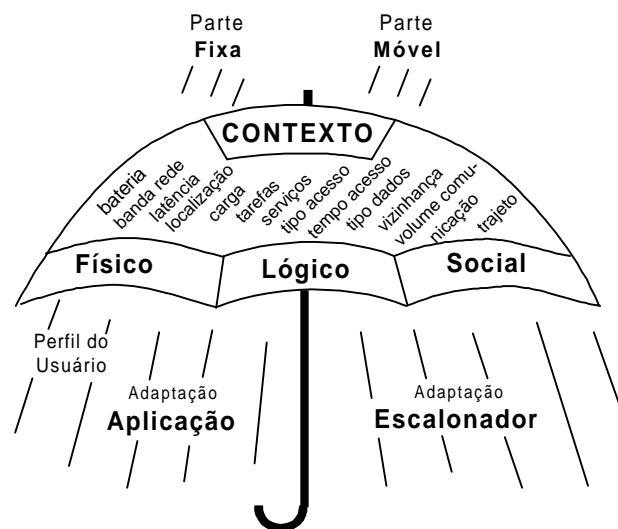


Fig. 1 – Elementos do Contexto ISAM

### 3 REQUISITOS DESEJÁVEIS DO SISTEMA

Na perspectiva da mobilidade, a questão que se apresenta é como modelar/estruturar o sistema/aplicação para ser adaptativo? Para iniciar a responder esta pergunta, identificou-se cinc

requisitos que o sistema como um todo deve suportar. Tendo a adaptação como premissa, os requisitos na base da concepção da arquitetura ISAM são apresentados a seguir.

### 3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E INDIVIDUALIZAÇÃO

Entendendo o que é contexto e de que modos diferentes este pode ser usado, os projetistas de aplicações podem mais facilmente determinar que comportamento(s) ou característica(s) deseja(m) que as aplicações suportem, e que contexto é requerido para alcançar tal comportamento [DEY 00]. A caracterização do contexto deve ser independente da aplicação em si, pois este vai além. A captura de informações para compor o contexto deve ser global. Adicionada às vantagens de gerenciamento total dos recursos, este requisito permite à aplicação um comportamento adaptativo em diversos momentos: em tempo de carga (*startup*), e durante toda a execução. Desta forma, o comportamento adaptativo da aplicação deve ser continuado e dinâmico em relação ao contexto corrente. A individualização, por sua vez, identifica os elementos do contexto geral que são de interesse de uma aplicação, em particular. Isto significa que o sistema deve manter informações do contexto de interesse de cada aplicação. Isto permite uma flexibilidade de projeto, onde a aplicação decide a quais elementos do contexto se adaptar.

### 3.2 ADAPTAÇÃO MULTI-DIMENSÃO E MULTI-NÍVEL

Para ser flexível, o sistema deve suportar uma larga variedade de informações sobre o contexto, as quais podem ser de diferentes naturezas: localização, tempo, largura de banda, preferência do usuário, padrão de deslocamento do usuário, etc. Estas multi-dimensões (físicas, lógicas e pessoais) podem ser tratadas em multi-níveis (rede, sistema e aplicação) para quebrar sua complexidade. Idealmente, a aplicação móvel deve oferecer todos os níveis de adaptação: (i) básico, relativo a mudanças em recursos físicos, como banda e latência da rede; (ii) intermediário, o qual permite alterações na semântica da aplicação, desde que esta pode alterar não somente a qualidade da informação mas também seu conteúdo (por exemplo, objetos sensíveis à localização são somente relevantes em lugares particulares); (iii) alto nível, relativo às mudanças das situações/comportamento do usuário final. Nos sistemas atuais, somente o nível básico é normalmente presente nas arquiteturas de software investigadas.

### 3.3 ADAPTAÇÃO NEGOCIADA

De forma diferente dos sistemas distribuídos que objetivam tornar transparente para a aplicação os detalhes da distribuição, as aplicações móveis devem ter consciência de alguns aspectos da mobilidade, como localização e recursos, a qual lhes permite melhorar o seu nível de desempenho e a satisfação do usuário. Esta abordagem baseada em adaptação permite implementar comportamento adaptativo mais relevante que as abordagens baseadas em mascaramento, devido a sua integração com a aplicação. Como a adaptação realizada pelo sistema de forma transparente é de orientação geral, esta pode ser inadequada para uma aplicação específica. A adaptação às variações no contexto de execução é melhor atendida se a decisão de adaptação é realizada através de uma colaboração entre a aplicação e o sistema [NOB00]. Este último gerencia o sistema de execução como um todo e é, portanto, a parte mais indicada para saber o contexto e tomar decisões globais mais eficientes. Por outro lado, a aplicação conhece melhor seu domínio e semântica e pode atuar mais eficientemente nas decisões de âmbito específico/local. Nota-se, então, que é necessário um equilíbrio negociado entre as necessidades e interesses de uma aplicação específica e as necessidades do sistema em geral.

### 3.4 DESACOPLAMENTO TEMPORAL E ESPACIAL

Muitas atividades são distribuídas no tempo e no espaço e entre os usuários móveis. Porém, as restrições naturais da computação móvel não garantem a interação contínua dos integrantes da aplicação distribuída. Desconexões são comuns no ambiente, tanto devido ao meio físico quanto para economia de energia. Assim, o ambiente móvel requer mecanismos de coordenação, para comunicação e sincronização, sem a premissa da conexão permanente. Além disso, pela natureza imprecisa do ambiente móvel, o modelo de coordenação deve enfatizar a comunicação assíncrona. Uma forma de obter este desacoplamento espacial e temporal é utilizar uma abstração semelhante ao Espaço de Tuplas do modelo Linda [PIC99].

### 3.5 FUNCIONALIDADE SELECIONADA PELO CONTEXTO

A aplicação deve ser desenvolvida com adaptação e mobilidade em mente para ser capaz de comportar-se de forma otimizada no ambiente móvel e beneficiar-se do contexto [COU99]. Além disso, a estrutura da aplicação deve facilitar seu comportamento adaptativo, selecionado automaticamente pelo sistema com base na demanda de recursos disponível e requerida pela aplicação. A adaptação é assíncrona e imprevisível, desta forma requer que o programador modele o comportamento da aplicação com diferentes níveis de demanda de recursos. O sistema, por sua vez, deve monitorar os recursos e fazer um chaveamento automático para o comportamento adequado ao consumo de recursos correntemente disponíveis.

## 4 MODELO DA ARQUITETURA ISAM

A arquitetura ISAM foi concebida para habilitar as aplicações a obter as informações de contexto e se adaptar às alterações que ocorrem durante o transcurso da execução. Para auxiliar o projeto, o software de suporte deve fornecer: (a) abstrações que permitam pensar sobre a aplicação – paradigma; (b) serviços combinados usados para construir as aplicações. Assim, como paradigma de modelagem do projeto foi escolhido o HoloParadigma [BAR01], pelas razões expostas a seguir.

### 4.1 O HOLOPARADIGMA E A HOLOLINGUAGEM

Uma aplicação do usuário no ISAM é modelada com o HoloParadigma e implementada com a HoloLinguagem [BAR 01a], uma linguagem de programação que integra os paradigmas lógico e orientado a objetos. Além disso, utiliza um modelo de coordenação que suporta invocações implícitas (*blackboard - História*) e explícitas (mensagens). Este modelo de coordenação é apropriado ao ISAM porque contempla o desacoplamento espacial e temporal da comunicação e sincronização, propriedades importantes para a computação móvel [PIC99].

No HoloParadigma [BAR01], a aplicação é modelada com entes (entidade de existência) e símbolos (entidade de informação). Existem dois tipos de entes: elementar e composto (figura 2). Um **ente elementar** é organizado em três partes: interface, comportamento e história. A interface descreve suas possíveis relações com os demais entes. O comportamento contém ações que implementam sua funcionalidade. A história é um espaço de armazenamento compartilhado no interior de um ente. Um **ente composto** possui a mesma organização do ente elementar, no entanto, suporta a co-existência de outros entes na sua composição (entes componentes). Cada ente possui uma história. A história fica encapsulada no ente e, no caso dos entes compostos, é compartilhada pelos entes componentes. Os entes componentes participam do desenvolvimento da história compartilhada e sofrem os reflexos das mudanças históricas. Sendo assim, podem existir vários níveis de encapsulamento da história. Porém, os entes acessam somente a história no seu nível.

Como o HoloParadigma foi concebido com a perspectiva de mobilidade tanto lógica quanto física, sua utilização torna-se natural na proposta ISAM. A figura 2 ilustra duas possibilidades de mobilidade dos entes que são de interesse da arquitetura ISAM: a mobilidade física e lógica (A), e a mobilidade física (B).

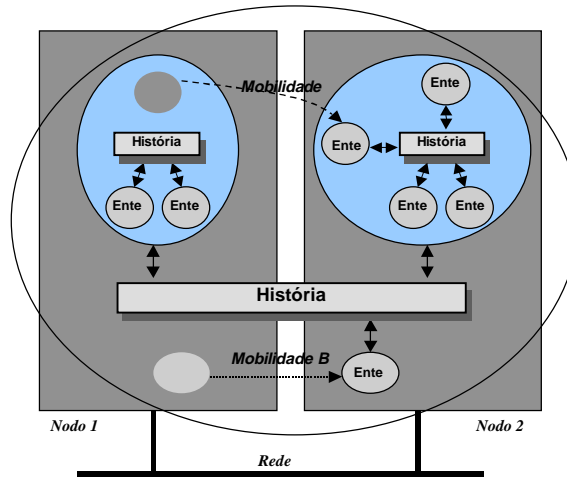


Fig.2 - Mobilidade no HoloParadigma

## 4.2 ARQUITETURA ISAM

A computação móvel abrange uma faixa de cenários [BAG98], os quais têm diferentes requerimentos no sistema de suporte. A princípio, uma categorização distingue entre dois cenários:

- infra-estruturado - cenário composto pela presença de uma rede fixa onde alguns *hosts*, referenciados como estações-base, constituem os pontos de acesso para os *hosts* móveis;
- ad-hoc* - cenário dinâmico composto somente por *hosts* móveis (sem o suporte dado por uma rede fixa). Topologia altamente variável constituída a partir da área (célula) de abrangência dos *hosts* móveis.

Considera-se que, para o desenvolvimento de aplicações distribuídas mais avançadas, é necessário que os *hosts* móveis usufruam a infra-estrutura da rede fixa existente, e possam se beneficiar de ambientes como o oferecido pela Internet. Desta forma, o modelo de rede adotado é o de uma rede móvel infra-estruturada. Este modelo é refletido nos elementos básicos do ambiente de execução do sistema ISAM apresentado na figura 3. Estes elementos são:

- ✓ *HoloBase* - é o ponto inicial de contato do *host* móvel com os serviços ISAM residentes na parte fixa da rede. Possui as funções de identificação, autenticação e de ativação das ações básicas do sistema;
- ✓ *HoloCélula* - denota a área de atuação de uma *HoloBase*, e é composta pela mesma e por *HoloSítios*;
- ✓ *HoloSítio* - são os nodos do sistema responsáveis pela execução da aplicação móvel distribuída propriamente dita. Nestes também processam serviços de gerenciamento ISAM;
- ✓ *HoloSítioMóvel* - são os nodos móveis do sistema responsáveis por serviços de interface com o usuário, e por algumas funções de monitoramento de recursos ISAM;
- ✓ *HoloHome* - é um ponto de referência único por usuário móvel no âmbito de toda rede. Está associado a um *HoloSítio* registrado para tal na arquitetura.

A crescente disponibilidade de facilidades de comunicação tem deslocado as aplicações da computação móvel de uma perspectiva de uso pessoal para outras mais avançadas de us

corporativo. Exatamente este domínio de aplicações constitui o escopo de interesse da arquitetura ISAM, ilustrada na figura 4. A arquitetura proposta é organizada em camadas com níveis diferenciados de abstração.

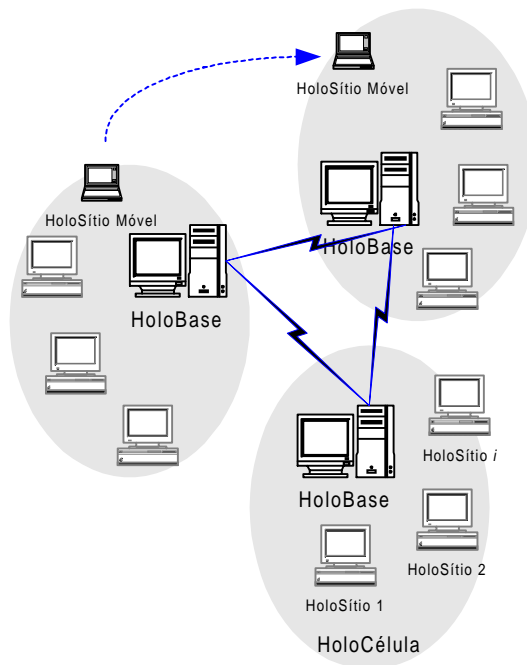


Fig.3 - Ambiente de Execução ISAM

A camada superior (SUP) constitui a aplicação em si, desenvolvida sob o HoloParadigma, implementada com a HoloLinguagem. Por sua vez, a camada inferior (INF) é composta dos sistemas de infra-estrutura distribuída pré-existentes, tais como sistemas de rede móvel, sistemas operacionais nativos e a Máquina Virtual Java. A camada intermediária (INTERM) é o núcleo funcional da arquitetura ISAM, e é fornecida em dois níveis de abstração. O primeiro nível é composto por três módulos de suporte à aplicação: Ambiente Virtual do Usuário, Gerenciamento da Mobilidade Física, Gerenciamento de Recursos. No segundo nível estão os serviços básicos do ambiente de execução ISAM.

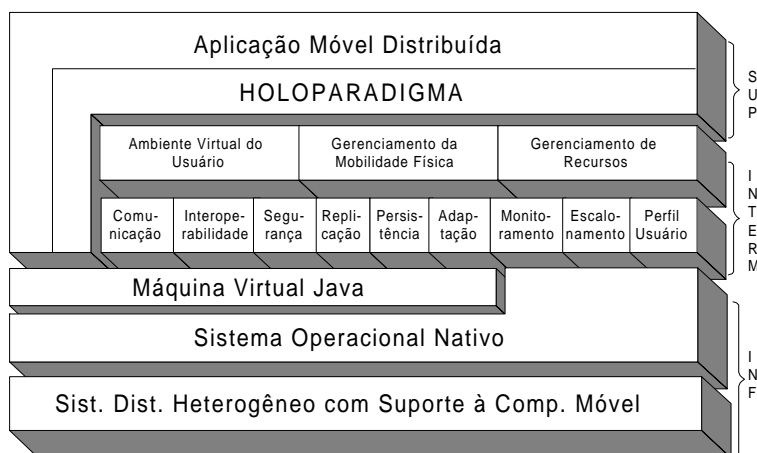


Fig.4 - A Arquitetura ISAM

#### 4.2.1 Ambiente Virtual do Usuário (AVU)

O uso potencial de dispositivos com natureza heterogênea podem dificultar ou tornar indesejável criar um sistema de interface comum que todas as tecnologias utilizem. É mais relevante focalizar uma metáfora e infra-estrutura que suporte a interface visível do usuário. Esta é a função deste módulo que se compõe dos elementos que integram a interface de interação do usuário móvel com o sistema. O desafio da adaptabilidade é suportar os usuários em diferentes localizações com diferentes sistemas de interação que demandam diferentes sistemas de apresentação dentro dos limites da mobilidade. Este módulo deve caracterizar, selecionar e apresentar as informações de acordo com as necessidades e o contexto em que o usuário se encontra. Para realizar estas tarefas, o sistema baseia-se num modelo de uso, onde as informações sobre o ambiente de trabalho, preferências, padrões de uso, padrões de movimento físico e hardware do usuário são dinamicamente monitoradas e integram o Perfil do Usuário.

#### 4.2.2 Gerenciamento da Mobilidade Física (GMF)

Este gerenciamento dá suporte ao movimento dos dispositivos móveis entre diferentes HoloCélulas, mantendo a execução durante o deslocamento. Para tal, deve redirecionar as referências dos recursos e serviços alocados, ligando recursos e serviços equivalentes na nova localização. Se isto não for possível, mantém as referências para os recursos originais, agora remotos. O GMF também deve dar suporte às operações desconectadas. A desconexão no ambiente móvel é mais uma regra do que uma exceção, e tem sido tratada extensivamente no âmbito do acesso aos dados. Mecanismos de *caching* e replicação otimista é a solução amplamente adotada nos sistemas de arquivos móveis [AUG00]. Uma adequação destes mecanismos à arquitetura ISAM está sendo considerada.

#### 4.2.3 Gerenciamento de Recursos (GR)

A adaptação é ativada quando determinado nível de alteração no contexto de execução da aplicação é detectado. Para tal, o sistema provê serviços de monitoramento dos recursos de interesse da aplicação e do escalonador. Na arquitetura ISAM o escalonamento é um componente central do GR. As informações necessárias podem ser agrupadas em categorias: estáticas (poder da CPU, memória instalada, versão do sistema operacional, etc.), dinâmicas (bateria, latência de rede, ocupação processador/memória, etc.) e previsões futuras. Além disso, como as aplicações podem depender de diferentes tipos de informações, a arquitetura ISAM deve gerenciar dados, que pode variar desde a topologia de um subconjunto de nós da rede (grafos estruturados) a valores simples (escalares). Para a adaptação é exigida do módulo de monitoramento e gerenciamento dos recursos uma infra-estrutura sofisticada, que permite tratar não somente um recurso isoladamente, mas também a relação entre eles. Isto exige um Modelo de Recurso que trate as definições de recursos e suas relações; o modelo adotado é uma adaptação do trabalho de Carla Lima Reis [REI01].

## 5 O PROCESSO DE ADAPTAÇÃO

A arquitetura ISAM disponibiliza um comportamento adaptativo basicamente em dois níveis: (i) aplicação, a qual define o comportamento da adaptação e o contexto de seu interesse; (ii) sistema, o qual executa a adaptação em si. No entanto, esta abordagem não impede o uso da adaptação no nível mais básico, como o de rede.



## 5.1 ADAPTAÇÃO NO NÍVEL DE SISTEMA

O domínio de aplicações objeto da arquitetura ISAM são as aplicações interativas e distribuídas, como as aplicações móveis cooperativas. A arquitetura de software para essas aplicações requer uma interface de usuário para a colaboração. Como a localização é um fator fundamental do ambiente móvel, a arquitetura deve determinar também **quais** componentes devem ser colocados **onde**. Esta distribuição, que procura a melhor localização para o(s) ente(s), é baseada em informações temporais e de comportamento dos usuários móveis, que indicam **quando** o usuário executa uma ação (acessa dados, recebe código e dados, etc) e recebe a informação resultante da ação de outros usuários.

Como a distribuição adequada dos componentes do sistema é o ponto fundamental para o desempenho das aplicações, no nível do sistema ISAM, o escalonador é o componente responsável pela adaptação. Este toma decisões baseadas em heurísticas, as quais utilizam o conhecimento do contexto (em especial, recursos e preferências do usuário) para ajustar o acesso aos serviços e a apresentação para o usuário, dentro dos limites do sistema móvel. Baseado na tese de Noble [NOB00], o processo de adaptação é uma negociação entre o sistema e a aplicação. Algumas estratégias de adaptação são próprias do sistema e executadas automaticamente pelo escalonador quando ocorrem alterações no contexto de interesse do escalonador. No entanto, a aplicação pode interferir definindo a ativação das políticas de adaptação: imediata, periódica, nunca, para o escalonador. Exemplificando, o escalonador analisa a carga de um HoloSítio e decide que deve migrar o ente para outro HoloSítio, porém a aplicação pode ter definido a política “nunca”, que impede esta ação. Entre muitos outros mecanismos, a replicação fluida é usada pelo escalonador para identificar a melhor localização dos dados. Com base no perfil do usuário, este também decide se é preferível fazer uma réplica dos dados próxima ao usuário ou se a migração da base de dados é a solução mais eficiente [YAM 01].

## 5.2 ADAPTAÇÃO NO NÍVEL DE APLICAÇÃO

O conceito de adaptação relacionado ao nível de aplicação é realizado através das abstrações do HoloParadigma e da utilização das informações fornecidas pelo Gerenciamento de Recursos (GR). O GR é a parte da arquitetura responsável por obter as informações relevantes para o sistema e às aplicações e disponibilizá-las de forma genérica, desconsiderando como são obtidas realmente. Como esta parte gerencia os recursos como um todo (contexto), e as aplicações contém contextos particulares, é necessário definir na arquitetura uma abstração que agregue o contexto específico a uma aplicação: *HoloContexto da Aplicação* (HCA).

Para atender os requisitos relatados na seção 3, o sistema de monitoramento de recursos é independente da aplicação, o que induz à necessidade de que as informações que este origina deve ser persistentes. Além disso, uma parte importante do contexto é a informação histórica que pode ser usada para deduzir o comportamento futuro. Esta predição é encapsulada na abstração *Interpretador do HoloContexto* (IHC), o qual produz uma informação parametrizada a partir de uma ou mais informações de contexto. Os geradores das informações de contexto são os *HoloMonitores* (Hmon), que são organizados de forma distribuída, próximos a fonte física/lógica que monitoram, embora sejam vistos como uma unidade pela aplicação (transparência). Os monitores devem trabalhar independentemente da aplicação, pois frequentemente fornecerão informações para múltiplas aplicações que estão em execução.

O uso das informações de contexto requer abstrações adicionais, pois a informação frequentemente não está na forma requerida pela aplicação. Por exemplo, um sistema GPS (*Global Positioning System*) fornece a informação na forma latitude-longitude; considerando a aplicação, esta pode requerer o nome da rua onde o usuário está. As aplicações trabalham em termos de

informações de contexto em alto nível, com mnemônicos como “trabalho”, “casa”, “rede rápida”, “carga baixa”, que são fornecidas pelo gerenciador dos recursos, através da operação de interpretação.

O comportamento adaptativo da aplicação ISAM é esquematizado na figura 5.

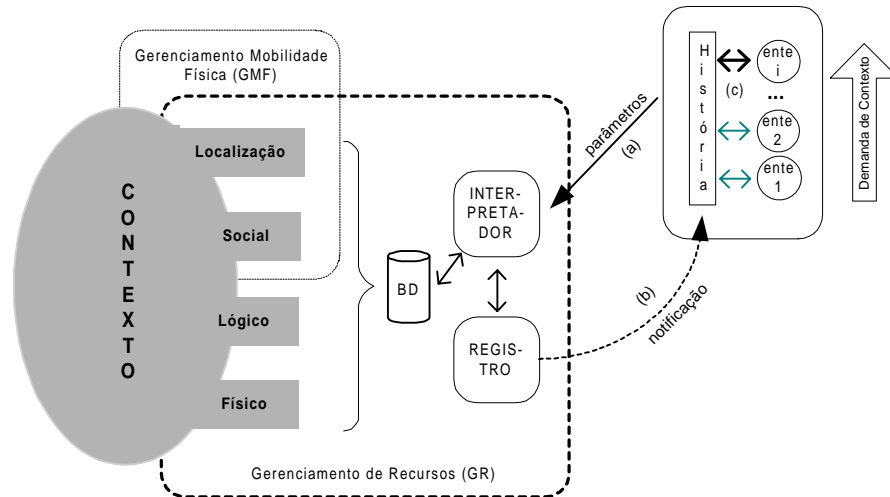


Fig. 5 – Adaptação no Nível de Aplicação

A aplicação é modelada com a adaptação em mente, onde o projetista implementa entes com funcionalidades semelhantes, porém com demandas de contexto diferentes. A aplicação, através do processo de REGISTRO do GR, indica os elementos do contexto que são de seu interesse (ação a). Junto com essa requisição de registro, a aplicação passa parâmetros utilizados pelo IHC para fazer a notificação, quando houver uma alteração no contexto monitorado (ação b). O IHC formata as informações valoradas do contexto para a forma parametrizada pela aplicação. Por exemplo, o nível de bateria pode ser formatado como “alto”, “médio”, “baixo”. O sistema de notificação escreve no *blackboard* do ente que solicitou o registro a informação [bateria, baixa]. O mecanismo de invocação implícita do HoloParadigma [BAR01] é acionado por esta escrita, e o ente que esperava pela notificação é ativado (ação c). Desta forma, o controle da adaptação é feito de forma automática pela invocação implícita do ente com a demanda de contexto correspondente.

## 6 TRABALHOS RELACIONADOS

Uma quantidade substancial de pesquisa no campo da computação móvel é devotada a tornar as aplicações adaptativas e cômicas dos recursos. O foco das soluções é variável, tendo uma concentração em técnicas de adaptação dos tipos de dados à variação nos recursos da rede (largura de banda, em especial) [ANG98, NOB00, RAN97, WEL98]. Em geral, esses sistemas usa processos intermediários entre o cliente móvel e o servidor, na forma de *proxy* ou agente, os quais executam algum tipo de filtro que modifica a estrutura/quantidade de dados antes de serem transmitidos na rede sem fio. Outra estratégia de adaptação muito usada é a migração, de *thread* [RAN97], de *proxy* [AHM95] ou de agente [GRA97], onde a decisão de migrar para um ponto específico é da aplicação. Diferentemente destes sistemas, ISAM utiliza dois níveis de adaptação: (i) no nível de sistema, o conceito de escalonamento é usado como uma estratégia central de adaptação; (ii) no nível de aplicação, a definição de entes baseada em contexto e o mecanismo de invocação implícita da HoloLinguagem são as abstrações para tratar a adaptação.

As pesquisas em aplicações móveis adaptativas focalizam várias facetas da mobilidade e podem ser agrupadas em quatro categorias: (i) monitoramento de recursos, em especial recursos da

rede [ANG98, BHA98, DEW97, WEL98]; (ii) aplicações móveis específicas [JIN98, NOB00]; (iii) *toolkits* para o desenvolvimento de aplicações [BLA98, BOL98, KUN99, RAN97] (iv) protocolos de suporte de comunicação, em particular variantes do TCP/IP [KID98]. Esses sistemas tratam de aspectos específicos do ambiente móvel. Por outro lado, ISAM é mais abrangente e propõe abordar as questões introduzidas pela mobilidade física e lógica de forma integrada, oferecendo o paradigma e a linguagem para o desenvolvimento das aplicações, e também o sistema de execução que monitora o contexto e fornece mecanismos de adaptação às alterações contextuais.

## 7 CONCLUSÕES

A adaptação – capacidade de o sistema modificar seu comportamento em função de alterações em seu contexto – é considerada um requisito fundamental para as aplicações móveis aumentarem sua utilidade. ISAM adota uma arquitetura de adaptação em dois níveis: sistema e aplicação. No nível do sistema, o escalonador da aplicação, composta por entes, é o responsável pela execução da adaptação em si. O comportamento do escalonador é altamente adaptativo, sendo suas decisões dirigidas pelas informações de contexto, tanto conjunturais quanto históricas. À aplicação cabe projetar entes com comportamento adaptativo. Desta forma, atinge-se o objetivo importante para a aplicação que é o controle automático da adaptação, flexibilizado em diversos níveis.

A abordagem multiparadigma de ISAM é diferente de outros sistemas investigados, que adotam o modelo de objetos com pequenas variações, ou o modelo cliente-servidor com um processo intermediário (agente ou *proxy*). A modelagem do sistema com o HoloParadigma simplifica a tarefa de projetar aplicações com comportamento adaptativo. Outra vantagem é o controle automático da adaptação, que executa o código apropriado à alteração do contexto, através da invocação implícita de entes. O sistema de notificação das alterações de contexto para a aplicação, através da escrita no *blackboard*, também é uma inovação, diferente das tradicionais abordagens de *poll* (requisição por demanda) ou *callback* (notificação de eventos). Outra diferença significativa é o uso do escalonador como estratégia de adaptação, projetado com um comportamento altamente adaptativo para a mobilidade física.

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [AHM95] AHMAD, Tahir; et al. The DIANA Approach to Mobile Computing. In Mobile Computing: Kluwer Academic Press, 1995.
- [AND00] ANDRÈ, F.; SEGARRA, M. A Generic Approach to Satisfy Adaptability Needs in Mobile Environments. In: 33rd ANNUAL HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCE. Proceedings... Maui, Hawaii, USA. 2000.
- [ANG98] ANGIN, Oguz; et al. The Mobiware Toolkit: Programmable Support for Adaptive Mobile Networking. IEEE Personal Communications Magazine. Special Issue on Adapting to Network and Client Variability. Aug. 1998.
- [AUG00] AUGUSTIN, Iara. Acesso aos Dados no Contexto da Computação Móvel. PPGC/UFRGS. Porto Alegre. Dez. 2000 (Exame de Qualificação).
- [BAG98] BAGGIO, Aline. System Support for Transparency and Network-aware Adaptation in Mobile Environments. In: ACM SYMPOSIUM ON APPLIED COMPUTING - Special Track on Mobile Computing Systems and Applications. Proceedings... Atlanta, USA. Feb. 1998.
- [BAR01] BARBOSA, Jorge L. V.; Geyer, Cláudio F.R. Integrating Logic Blackboards and Multiple Paradigm for Distributed Software Development. Proceedings of International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA). June. 2001.

- [BHA98] BHARGHAVAN, Vaduvur; et al. The Timely Adaptive Resource Management Architecture. IEEE Personal Communications Magazine. v.5, n. 4. 1998.
- [BLA98] BLAIR, G. The Role of Open Implementation and Reflection in Supporting Mobile Applications. DATABASE AND EXPERT SYSTEMS APPLICATIONS (DEXA). Proceedings... 1998.
- [BOL98] BOLLIGER, J.; GROSS, T. A F framework-based Approach to the Development of Network-aware Applications. IEEE Transactions on Software Engineering. v.24. 1998.
- [COU 99] COURDEC, P.; KERMARREC, A.-M. Improving Level of Service for Mobile User Using Context-Awareness. Proceedings of 18<sup>th</sup> Symposium on Reliable Distributed System. Lausanne, Switzerland. Oct. 1999.
- [DAV 97] DAVIES, N.; FRIDAY, A .; WADE, S.; BLAIR, G. Limbo: a Tuple Space Based Platform for Adaptive Mobile Applications. INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPEN DISTRIBUTED PROCESSING / DISTRIBUTED PLATFORMS (ICODP/ICDP'97). Proceedings... Toronto, Canada. May. 1997.
- [DEW 97] DeWITT, Tony; et al. ReMoS: A Resource Monitoring System for Network-aware Applications. Technical Report. CM -CS-97-194. Carnegie Mellon University. Dec. 1997.
- [DEY 00] DEY, Anind K.; ABOWD, Gregory D. Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. Proceedings of Conferente on Human Factors in Computing Systems (HCI2000). Apr. 2000.
- [DIX98] DIX, Alan; et al. Exploiting Context in HCI Design for Mobile Systems. Proceedings of Workshop on Human Computer Interaction with Mobile Devices. Glasgow. May. 1998.
- [GRA97] GRAY, Robert; KOTZ, David; NOG, Saurab; RUS, Daniela; CYBENKO, George. Mobile Agents fo Mobile Computing. Proceeding of 2<sup>nd</sup> International Symposium on Parallel Algorithms/Architectures Synthesis. Japan. Mar. 1997.
- [IMI97] IMIELINSKI, T.; VISWANATHAN, S.; BADRINATH,B.R. Data on Air: Organization and Access. IEEE Transactions on knowledge and Data Engineering .v.9, n.3, may. 1997.
- [JIN98] JING, Jin; HUFF, Karen. Adaptation for Mobile Workflow Applications. Proceedings of Workshop on Modeling and Simulation in Wireless Systems. Montreal, Canada. Jul. 1998.
- [KAT94] KATZ, R.H. Adaptation and Mobility in Wireless Information Systems. IEEE Personal Communications. vol.1, n.1, p.6-17. 1994.
- [KUN99] KUNZ, Thomas; BLACK, J.P. An Architecture for Adaptive Mobile Applications. Proceedings 11th International Conference on Wireless Communications. Alberta, Canada. Jul. 1999.
- [NOB00] NOBLE, Brian. System Support for Mobile, Adaptive Applications. IEEE Personal Computing Systems. v.7,n.1,p. 44-9, Feb. 2000.
- [PIC99] PICCO, Gian Pietro; MURPHY, Amy L.; ROMAN, Gruia-Catalin. LIME: Linda Meets Mobility. Proceedings of 21 International Conference on Software Engineering (ICSE'99). Los Angeles, USA. May. 1999.
- [RAN97] RANGANATHAN, M.; ACHARYA, A.; SALTZ, J. Sumatra: a Language for Resource-aware Mobile Programs. In Mobile Objects Systems: Towards the Programable Internet: Springe -Verlag Publisher, Serie Lecture Notes on Computer Science. v.1222. Apr. 1997.
- [REI01] REIS, Carla A. L. A Modelagem APSEE para Modelagem e Gerência de Recursos em Ambientes de Processos de Software. SBES'2001. Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. Rio de Janeiro, Outubro, 2001.
- [SCH98] SCHMIDT, Albrecht; BEIGL, Michael; GELLERSEN, Hans-W. There is More to Context than Location. Proceedings International Workshop Interactive Applications of Mobile Computing. Rostock. Germany. Nov, 1998.
- [WEL98] WELLING, Girish; BADRINATH, B. . Na Architecture for Exporting Environment Awareness to Mobile Computing Applications. IEEE Transactions on Software Engineering. v. 24, n.5. 1998.
- [YAM01] YAMIN, Adenauer; AUGUSTIN, Iara; BARBOSA, Jorge; SILVA, Luciano; GEYER, Cláudio. Explorando o Escalonamento no Desempenho de Aplicações Móveis Distribuídas. SBAC -WSCAD 2001. Workshop em Sistemas de Alto Desempenho. Pirenópolis, Goiás, Brasil. Setembro, 2001.
- [ZEN97] ZENEL, Bruce; DUCHAMP, Dan. A General Purpose Proxy Filtering Mechanism Applied to the Mobile Environment. MOBICOM'97. Budapest, Hungary. Jun. 1997.