

## 7 Conclusões

Nesta tese, apresentou-se o projeto, a implementação e a avaliação de desempenho de um protocolo de descoberta e seleção de recursos para grades móveis *ad hoc*, denominado P2PDP (Capítulo 4). O protocolo P2PDP foi desenvolvido no contexto da arquitetura MoGrid – uma arquitetura de *software* específica para grades móveis, aplicável a redes sem fio infra-estruturadas e *ad hoc* (Capítulo 2) – como solução para a descoberta e seleção de recursos entre os dispositivos da grade móvel. O protocolo adota uma abordagem reativa, baseando-se no envio, sob demanda, de requisições de descoberta por difusão, completamente distribuída e independente da utilização de qualquer mecanismo de roteamento da MANET, com as requisições e respostas originadas sob demanda. Com o intuito de reduzir a implosão de mensagens de resposta, foi proposto o mecanismo de supressão de respostas por vizinhança, implementado através do algoritmo SbV (Seção 4.6). Para implementar um mecanismo justo de alocação dos recursos às tarefas na grade móvel, foi utilizado um mecanismo que classifica as respostas em função da seleção dos colaboradores mais aptos, implementado através do algoritmo DR, que introduz um retardo programado no envio de mensagens de resposta (Seção 4.7), promovendo um balanceamento de carga implícito na rede mediante o aumento do número de requisições. Como resultado indireto da aplicação do algoritmo DR, foi possível minimizar a ocorrência de colisões, provocadas pelo aumento do tráfego na grade, proveniente da transmissão de mensagens de resposta P2PDP.

### 7.1. Contribuições da Tese

As principais contribuições alcançadas com o desenvolvimento deste trabalho, foram classificadas, no Capítulo 1, em duas categorias: (i) contribuições para o estado da arte na área de descoberta de serviços e (ii) contribuições tecnológicas.

Essas contribuições, sumariadas na Seção 1.4, serão revisitadas, em mais detalhes, nesta seção.

Antes de apresentar as principais contribuições desta tese, é importante ressaltar o trabalho de pesquisa desenvolvido sobre os protocolos de descoberta de recursos e serviços para redes de computadores que deu origem a [Lima et al. 2007a]. No estudo desenvolvido, foram avaliados os protocolos propostos para as redes sem fio *ad hoc* e as adaptações propostas aos protocolos desenvolvidos para redes fixas, com o intuito de oferecer suporte às redes sem fio infra-estruturadas. Esse estudo foi decisivo para a elaboração do Capítulo 3, proporcionando uma visão ampla das estratégias utilizadas nas mais diferentes propostas de protocolos de descoberta de serviços para redes sem fio. Essa abordagem permitiu que se identificassem as necessidades das grades móveis definindo, na Seção 1.2, os principais requisitos para o projeto de um protocolo de descoberta de serviços para uma grade móvel *ad hoc*.

#### **7.1.1. Contribuições para o Estado da Arte**

O desenvolvimento desta tese teve como resultado duas contribuições principais para o estado da arte na área de descoberta de serviços, a especificação do protocolo P2PDP e da arquitetura MoGrid, a saber:

- A concepção, implementação e avaliação de desempenho do algoritmo de supressão de respostas por vizinhança (*Suppression by Vicinity – SbV*), que permite tratar o problema da implosão de respostas em protocolos de descoberta para MANETs, baseados em difusão, utilizando *broadcast*. O mecanismo proposto de supressão de respostas por vizinhança mostrou-se eficaz em controlar o volume de respostas recebido pelo requisitante do serviço, sem comprometer a qualidade dessas respostas – ou seja, favorecendo à seleção das respostas dos colaboradores mais aptos. Pode-se observar, ainda, que o processamento adicional, gerado pelo mecanismo de supressão, é distribuído uniformemente entre os dispositivos da grade móvel, evitando que os vizinhos diretos do dispositivo requisitante sejam sobrecarregados. Esse comportamento promove um balanceamento de carga indireto, além de evitar que ocorra

- um aumento no consumo de energia graças à redução do número de transmissões de mensagens de descoberta P2PDP. Os resultados experimentais obtidos, apresentados na Seção 6.2, indicam uma boa escalabilidade para protocolos de descoberta reativos que adotem o mecanismo SbV no tratamento de implosão de respostas, como acontece no P2PDP;
- A concepção, implementação e avaliação de desempenho do algoritmo de retardo no envio de mensagens de resposta (*Delayed Replies* – DR), com o intuito de promover uma seleção entre as respostas que melhor se adequam às especificidades de uma dada requisição de serviço. A utilização desse mecanismo produz, como efeito colateral benéfico, a distribuição uniforme da execução dos serviços entre os colaboradores da grade móvel, como mostram os resultados obtidos a partir dos experimentos realizados na rede de teste, apresentados na Seção 6.4. A análise desses resultados reforça os estudos feitos em [Bolosky et al. 2000], onde a distribuição da utilização de recursos dinâmicos é caracterizada como bimodal, o que se verifica, por exemplo, com a carga de CPU, cujos valores alternam entre períodos de utilização total e outros próximos à inatividade;
  - Especificação de um conjunto de requisitos para o desenvolvimento de um protocolo de descoberta e seleção de recursos em grades móveis *ad hoc*, onde os dispositivos se organizam através de uma rede sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos. Os requisitos do projeto do protocolo de descoberta levam em consideração as particularidades dos recursos dinâmicos, típicos dos ambientes de grade móvel. Essa característica foi determinante na adoção de uma abordagem reativa – baseada na requisição de recursos e serviços sob demanda –, dada a alta flutuação na disponibilidade dos recursos dinâmicos, os quais determinam o perfil de execução dos serviços nos colaboradores P2PDP;
  - Definição de uma arquitetura genérica, em camadas, denominada MoGrid, que serviu de base para o desenvolvimento de um *middleware*, de mesmo nome, que trata aspectos relacionados à computação distribuída em grades móveis. Essas grades são organizadas através de redes sem fio infra-

estruturadas e *ad hoc*, constituídas por grupos de dispositivos sem fio, que atuam, colaborativamente, para a execução de tarefas. A arquitetura MoGrid foi concebida de modo a também ser integrável com tecnologias de grade fixa. Através da abordagem em camadas, a arquitetura oferece suporte tanto às aplicações cientes da mobilidade, projetadas para utilizar o *middleware* MoGrid, quanto às aplicações legadas – típicas dos cenários de computação paralela – para as quais o uso da arquitetura é transparente. Em função dessa abordagem, os diferentes mecanismos relacionados à descoberta (camada de descoberta) e à utilização de serviços (camada de transparência) – como o protocolo de descoberta e seleção de recursos P2PDP (Capítulo 4) e o algoritmo de supressão de mensagens de resposta por vizinhança (Seção 4.6) – são separados, podendo ser utilizados como módulos independentes, acoplados, inclusive, em outras arquiteturas.

### 7.1.2. Contribuições Tecnológicas

Além das contribuições científicas para o estado da arte, foi desenvolvido um conjunto de artefatos de *software* para auxiliar o desenvolvimento de aplicações colaborativas, em grades móveis, baseadas no compartilhamento de recursos e serviços, a saber:

- Implementação do *middleware* MoGrid para os ambientes Linux e Windows XP, utilizando a linguagem de programação Java [Sun 1994; Sun 1999b], oferecendo suporte à mobilidade, através de um mecanismo descentralizado de descoberta e compartilhamento de recursos para a execução distribuída de tarefas em uma grade móvel;
- Implementação do protocolo de descoberta P2PDP para os ambientes Linux e Windows XP, utilizando a linguagem de programação Java [Sun 1994; Sun 1999b]. A seleção dos dispositivos que irão colaborar na provisão de serviços foi realizada pela implementação de dois algoritmos distribuídos, citados nas contribuições para o estado da arte (SbV e DR);
- Implementação de um *proxy* de colaboração com a funcionalidade de permitir o acesso de dispositivos sem fio aos serviços e recursos disponíveis em uma grade fixa, implantada sobre a plataforma Globus

- Toolkit 2.4 [Foster & Kesselman 1997]. O *proxy* MoGrid é responsável pela tradução de protocolos entre a grade fixa e a grade móvel. Os recursos da grade fixa são identificados pelo *proxy* MoGrid – através do serviço Globus MDS (*Monitoring and Discovery System*) –, após o seu credenciamento na grade fixa, e, a partir daí, podem ser descobertos pelos dispositivos que compõem a grade móvel, através do protocolo P2PDP;
- Desenvolvimento de uma ferramenta que incorpora um gerenciador de simulações de rede para o *ns-2* [ISI 1995], baseado nas camadas de descoberta e acesso aos recursos disponibilizadas pelo *middleware* MoGrid, responsável por disparar as rodadas de simulação de forma paralela e executar o pós-processamento dos resultados obtidos em cada rodada. A ferramenta, denominada nsTOOL (*ns dispaTcher and pOst-prOcessing Launcher*), oferece uma interface gráfica e uma interface textual, para facilitar a automatização do processo de submissão de múltiplos cenários de simulação para os dispositivos da grade móvel aptos a colaborar. Essa ferramenta também pode ser utilizada em conjunto com o *proxy* de colaboração permitindo que as rodadas de simulação da grade móvel sejam executadas por dispositivos na grade fixa, que são mais ricos em recursos se comparados aos dispositivos sem fio da grade móvel.

## 7.2. Trabalhos Futuros

Existem alguns aspectos sobre os quais vislumbra-se a necessidade de futuras adaptações na especificação e implementação do protocolo P2PDP e da arquitetura MoGrid. A seguir, esses aspectos são apresentados como sugestões de pesquisas futuras.

### 7.2.1. Arquitetura MoGrid

Nesta subseção são discutidas algumas frentes de pesquisa que podem ser investigadas, dando continuidade ao desenvolvimento da arquitetura MoGrid.

Para prover suporte ao gerenciamento das desconexões involuntárias, é necessário que a especificação da camada de transparência da arquitetura MoGrid

seja concluída. Apesar dos esforços em se efetuar um levantamento preliminar dos requisitos e funcionalidades da camada de transparência (vide Subseção 2.3.2), muitos aspectos relacionados a essa camada ainda precisam ser investigados, sendo necessário um esforço considerável no sentido de prover uma especificação dos módulos que a constituem. Em uma etapa subsequente, deve-se analisar os requisitos especificados para a camada de transparência com o objetivo de definir o projeto, a implementação e a avaliação de um outro protocolo – complementar ao P2PDP – no âmbito dessa camada – o protocolo TRAP (*Transparent Resource Access Protocol*) –, de modo a estabelecer um padrão de comunicação entre as entidades de descoberta na fase de acesso e utilização dos recursos recém-descobertos.

Na arquitetura MoGrid, a entidade *proxy* de colaboração pode corresponder tanto a um dispositivo fixo com uma interface sem fio, que lhe permite se comunicar com os dispositivos da grade móvel, quanto a um dispositivo sem fio que se conecta temporariamente à grade fixa, através de uma rede sem fio infra-estruturada. No primeiro caso, o perfil de execução da entidade *proxy* não influenciará na qualidade das respostas que ele gera em nome dos dispositivos da grade fixa, entretanto, no segundo caso, o perfil de execução da entidade *proxy* deve ser considerado no cálculo da adequação desses dispositivos (vide Equação (2) na Seção 4.7), dado que, como o tempo de execução de uma tarefa pode ser longo – como ocorre com as aplicações de grade de processamento intensivo –, é grande a chance do *proxy*, ou da grade móvel como um todo, se mover e tornar impossível a obtenção dos resultados gerados pelos colaboradores da grade fixa. Ainda em relação ao *proxy* de colaboração, aspectos relacionados à segurança são especialmente relevantes na integração das grades móveis com as grades fixas, sendo necessária a autenticação dos usuários móveis na grade fixa, o que deve ser incorporado em versões futuras da arquitetura MoGrid.

### 7.2.2.

#### **Incorporação de Novos Mecanismos ao Protocolo P2PDP**

Nesta subseção é discutida a possibilidade de incorporar alguns mecanismo adicionais ao protocolo P2PDP com a finalidade de introduzir novas

funcionalidades que, em alguns casos, resultam na ampliação do seu escopo de aplicação.

O protocolo P2PDP utiliza um modo de encaminhamento de requisições baseado em inundação por *broadcast*, delimitado em função do diâmetro da requisição – número de saltos que a mensagem pode trafegar. Nessa abordagem, denominada *broadcast* limitado, as requisições são encaminhadas através de inundação, com todos os nós dentro do diâmetro especificado recebendo as requisições de descoberta. Caso os nós intermediários, responsáveis pelo encaminhamento das requisições, armazenassem algum tipo de informação sobre os serviços disponíveis na sua vizinhança – como, por exemplo, através do armazenamento das respostas que passam por esses nós –, algum tipo de filtragem poderia ser efetuada no roteamento dessas requisições, evitando que elas fossem disseminadas em regiões onde o serviço solicitado não vem sendo oferecido há algum tempo. O modo de encaminhamento por *broadcast* limitado, implementado no P2PDP, poderia ser incrementado, utilizando-se abordagens que fazem o encaminhamento seletivo das mensagens de requisição de serviço. Em [Chakraborty et al. 2006], o encaminhamento das requisições é feito com base na informação sobre os grupos de serviço aos quais o serviço pertence, o que permite a obtenção de resultados aproximados. Por exemplo, se uma requisição especifica um serviço que possa ser executado em sistemas baseados em um processador de uma determinada família (por exemplo, Intel Pentium) e uma instância desse serviço, compatível com sistemas baseados nessa família, for descoberta, um resultado aproximado é encontrado. Nessa abordagem, ao receber uma requisição, o nó verifica a informação sobre o(s) grupo(s) do serviço solicitado e tenta validá-la com as informações de grupo na sua vizinhança, encaminhando a requisição somente aos nós que disponibilizam informações sobre o(s) grupo(s) em questão. Já na abordagem FTA [Lenders et al. 2005], o critério de encaminhamento de requisições se baseia na distância da rede – calculada em função do número de saltos entre o cliente e os possíveis provedores de serviço – e na capacidade do serviço (CoS), divulgada periodicamente por cada nó na sua vizinhança.

A arquitetura MoGrid prevê, em sua API, uma operação para anúncio das informações de serviços na grade móvel. Um trabalho interessante seria incorporar, ao protocolo P2PDP, um mecanismo de descoberta proativo – baseado

no envio periódico de anúncios contendo informações sobre os recursos e serviços disponíveis na grade –, o que implicaria na análise de técnicas para gerenciar o armazenamento dessas informações em cada dispositivo. A adição de mecanismos de anúncio, mais especificamente anúncio incremental [Lee et al. 2003] – que corresponde ao delta da visão do dispositivo em relação à visão global da rede –, pode se mostrar eficaz caso se deseje ampliar o escopo de atuação do protocolo P2PDP para a descoberta de recursos e serviços específicos, associados aos recursos estáticos, os quais não apresentam tantas variações em sua disponibilidade quanto os recursos dinâmicos tratados em uma grade móvel. Com a implementação dessa abordagem, o uso do protocolo P2PDP continuaria contemplando as grades móveis *ad hoc*, mas não se restringiria apenas a esse ambiente, podendo oferecer suporte à descoberta de serviços em qualquer tipo de rede que se caracterize pela mobilidade dos nós que a constituem.

Na especificação atual do P2PDP, a descrição dos recursos é feita através da implementação de uma interface comum Java, denominada *ServiceDescription*. Uma abordagem que pode ser implementada é a incorporação de uma linguagem de descrição de recursos, baseada em XML, para prover maior flexibilidade e poder de expressão à descrição de recursos e serviços no protocolo P2PDP, o que seria refletido no algoritmo de *matching*. Os protocolos propostos em [Lee et al. 2003; Chakraborty et al. 2005; Chakraborty et al. 2006] seguem essa abordagem, utilizando linguagens de descrição semântica baseadas em ontologias, o que, segundo análise realizada pelos autores, garante uma maior eficiência no algoritmo de *matching*.

Por fim, os cenários de simulação utilizados consideraram dispositivos com mobilidade moderada, deslocando-se a velocidades no intervalo [0, 4] m/s, reproduzindo a mobilidade humana. Em cenários envolvendo topologias altamente dinâmicas, o conceito de caminho de retorno – usado pelas mensagens de resposta – pode falhar, por exemplo, se algum dispositivo, no caminho, se afastar do mesmo. Nesse sentido, é interessante investigar mecanismos que permitam o uso alternativo de protocolos de roteamento reativos para MANETs – como, por exemplo, o AODV [Perkins et al. 2003] – quando é detectada uma falha no caminho de retorno, utilizado para o encaminhamento da mensagem de resposta, em direção ao nó que originou a requisição.

### 7.2.3.

#### Otimização de Mecanismos do Protocolo P2PDP

Nesta subseção são discutidos alguns aspectos referentes à implementação atual do protocolo P2PDP que podem ser modificados com o objetivo de torná-lo mais adaptativo em resposta às constantes alterações verificadas tanto nas condições e topologia da rede sem fio quanto na disponibilidade de recursos dos dispositivos móveis.

Analisando os protocolos de descoberta de recursos e serviços sob a perspectiva das arquiteturas de QoS [Bharghavan et al. 1998; Lima 2002; Bellavista et al. 2003], os mesmos podem ser comparados, em muitos aspectos, aos protocolos de reserva de recursos, usuais na provisão de serviços com QoS. Por essa razão, é válida a análise de alguns trabalhos representativos dessa área que possam auxiliar na especificação de um mecanismo mais elaborado para efetuar reservas antecipadas de recursos. Esse mecanismo incluiria o tratamento de *underbooking*, ou seja, situação que pode acontecer se os colaboradores reservam recursos que não serão utilizados – o que se deve ao fato da resposta do colaborador ser suprimida antes que ela possa chegar até o nó que originou a requisição. Embora a reserva efetuada seja temporária, pois a sua validade está associada ao período que determina o tempo de vida da requisição pendente, armazenada em uma estrutura de dados local do dispositivo, ela pode causar impacto no processamento de requisições concorrentes, impedindo que um colaborador apto possa responder a uma requisição de descoberta em tempo hábil.

Na implementação atual do protocolo P2PDP, a adequação de uma entidade colaborador é calculada levando-se em conta somente o seu perfil de execução, sem considerar o perfil de execução dos dispositivos na sua vizinhança. Em [Lenders et al. 2005] as requisições de serviço são encaminhadas na direção do dispositivo mais apto a oferecer o serviço levando em consideração o seu potencial como provedor, que é calculado em função da capacidade de cada provedor da rede oferecer o serviço, informação que é disseminada periodicamente por *broadcast*. Em uma grade móvel é comum a interconexão de dispositivos heterogêneos, com capacidades de *hardware* distintas, desse modo, a avaliação dos percentuais de disponibilidade de recursos de forma isolada, em cada dispositivo, pode prejudicar a qualidade dos resultados obtidos através do

mecanismo de seleção. É necessário avaliar o quanto essa abordagem pode impactar na provisão de balanceamento de carga, proporcionada pelo mecanismo de seleção, e investigar soluções alternativas, de modo a estender o mecanismo atualmente em uso. Um outro ponto que advém dessa discussão é a adição de um parâmetro que identifique o perfil do dispositivo no cálculo de sua adequação (vide Equação (2) na Seção 4.7). A título de ilustração, 80% de 16 Mb de espaço em disco de um PDA é bem inferior a 10% de 80 Gb de um *notebook*, por exemplo. Ainda nessa linha de argumentação, os colaboradores de uma grade fixa, introduzidos na grade móvel através da entidade *proxy* de colaboração, devem ter as suas respostas privilegiadas na seleção em relação aos dispositivos portáteis por apresentarem, apenas para mencionar alguns itens, um nível de conectividade relativamente constante e fonte de energia ilimitada (considerando-se o uso de *no-breaks*).

É importante investigar a influência do parâmetro `maxReplyDelay` na eficiência do mecanismo de supressões. O ajuste desse parâmetro de forma dinâmica – por exemplo, em função do retardo de transferência das mensagens – pode auxiliar a reduzir o tempo de descoberta sem aumentar o número de colisões de respostas. Ainda nesse contexto, vale ressaltar a importância de se estudar o impacto da diferença de velocidade dos relógios dos dispositivos nos mecanismos de temporização implementados.

Em função da variação na disponibilidade de recursos nos dispositivos sem fio, provocada pela execução de tarefas da grade móvel e do consumo de recursos gerado por demandas locais, o valor do parâmetro  $\omega$  – que indica a disposição do nó colaborador em participar da provisão do serviço da grade móvel – pode ser alterado, de forma adaptativa, em tempo de execução. A sintonização automática do valor de  $\omega$  possibilitaria que a carga de processamento do dispositivo fosse considerada também na decisão de participar ou não da execução de tarefas na grade móvel, sem a necessidade de constante intervenção do usuário da aplicação.  $\omega$  poderia ser adaptado, por exemplo, em função de valores limites, definidos pelo usuário do dispositivo, que determinariam a sua tolerância em relação aos níveis de utilização de seus recursos, para que o dispositivo continuasse atuando como um colaborador ativo na grade. Um usuário poderia restringir a sua colaboração,

por exemplo, caso a carga residual da bateria atingisse 50% e a carga de processamento ultrapassasse 60% de utilização.

### **7.3. Considerações Finais**

Esta tese é concluída oferecendo diversas oportunidades a serem exploradas, apontando diferentes perspectivas de pesquisa relacionadas à área de descoberta e seleção de recursos e serviços em grades móveis. Além disso, foram levantados um conjunto de requisitos de projeto para auxiliar a especificação e o desenvolvimento de uma camada de acesso transparente aos recursos e serviços da grade móvel, que, por si só, representam uma área de pesquisa relevante, que merece ser investigada mais atentamente.