

## 3 Trabalhos Relacionados à Descoberta de Serviços

### 3.1. Apresentação

Descoberta de serviços é um tópico que sempre despertou muito interesse de pesquisa e desenvolvimento nas áreas de sistemas distribuídos e redes de computadores, originando propostas nos mais diversos cenários, tanto para redes fixas quanto redes sem fio. Durante muito tempo, os protocolos de descoberta de serviços seguiram o modelo clássico de aplicações cliente-servidor. Nessa visão, de uma forma geral, servidores centralizados atuam como diretórios, armazenando um índice global dos serviços disponíveis na rede e gerenciando todo o processo de descoberta. Devido a essas características, esses protocolos são mais adequados a redes fixas. Dentre os protocolos que fazem parte desse modelo, destacam-se Jini [Sun 1999a] da Sun, Salutation [Salutation 1999] da IBM e SLP (*Service Location Protocol*) [Guttman 1999] da IETF.<sup>1</sup> Esses protocolos foram adaptados para dispositivos móveis conectados através de redes locais sem fio infra-estruturadas; a maioria com o objetivo de atender às necessidades das redes domésticas e empresariais por recursos e serviços de *hardware* – como impressoras multifuncionais, projetores multimídia, entre outros. As soluções obtidas nada mais são do que uma adaptação da solução original, desenvolvida para ambientes fixos, onde servidores centralizados oferecem suporte ao mecanismo de descoberta a serviços específicos, o que restringe a sua aplicabilidade. O protocolo UPnP [UPnP 2000] apresenta proposta similar aos protocolos mencionados anteriormente, entretanto, o UPnP não adota o

---

<sup>1</sup> Por não ser o foco deste trabalho, esses protocolos não serão discutidos em mais detalhes, entretanto, na Tabela 2 é feito um resumo com as suas principais características, de acordo com os critérios de classificação apresentados na Seção 3.2. Maiores informações sobre esses protocolos podem ser encontradas em [Lima et al. 2007a].

mecanismo de diretórios de serviços, apresentando uma abordagem distribuída que utiliza comunicação *peer-to-peer*.

O interesse crescente em viabilizar o compartilhamento de recursos e serviços entre dispositivos móveis, organizados através de uma rede sem fio, tem motivado o surgimento de modelos alternativos. Existem alguns protocolos desenvolvidos, especificamente, para oferecer suporte às redes sem fio *ad hoc* de salto único, dentre os quais se destacam o Bluetooth SDP [Bluetooth 2001] e o DEAPspace [Nidd 2001; Hermann et al. 2001]. Por sua vez, a pesquisa na área de descoberta de serviços em redes sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos é relativamente nova, ainda não existindo um padrão consolidado que possa ser utilizado pela indústria. O principal motivo para a falta de maturidade dos protótipos produzidos, deve-se à mobilidade irrestrita dos dispositivos, os quais podem entrar e sair, espontaneamente, do sistema. Esse tipo de rede, de uma forma geral, é associado à formação de grupos de colaboração temporários – por exemplo, em situações de resgate em grandes áreas e na cooperação veicular em auto-estradas e no trânsito das grandes cidades, através de redes veiculares (*Veicular Area Networks* – VANs) – ou ao estabelecimento de redes de sensores – por exemplo, em regiões inóspitas e vastas, como florestas densas –, adequando-se a situações onde não existe uma infra-estrutura de comunicação ou a infra-estrutura existente não está disponível. Nesses cenários, tanto a demanda quanto a disponibilidade de recursos e serviços podem apresentar uma variabilidade sem par, em comparação aos cenários de redes fixas e redes sem fio *ad hoc* de salto único. Dentre algumas das principais propostas de protocolos de descoberta de serviços, da academia, para MANETs de saltos múltiplos, pode-se mencionar: GSD (*Group-based Service Discovery*) [Chakraborty et al. 2002; Chakraborty et al. 2005; Chakraborty et al. 2006], Allia (*Allia-nce*) [Ratsimor et al. 2002; Ratsimor et al. 2004], Konark [Lee et al. 2003; Helal et al. 2003], ORION (*Optimized Routing Independent Overlay Network*) [Klemm et al. 2003], a abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005] e a abordagem FTA (*Field Theoretic Approach*) que se baseia na teoria de campo eletrostático [Lenders et al. 2005]. Esses protocolos serão discutidos mais adiante, ilustrando a classificação proposta para os protocolos de descoberta de serviços apresentada na Seção 3.2.

### 3.2.

#### **Classificação dos Protocolos de Descoberta de Serviços**

Os protocolos de descoberta de serviços existentes geralmente empregam terminologias específicas com o propósito de ressaltar as características positivas dos mesmos, identificadas como aspectos singulares de cada proposta em relação ao estado da arte. A utilização de uma terminologia comum para a classificação auxilia na análise das vantagens e desvantagens das diferentes abordagens, revelando-se um mecanismo de comparação eficiente. A seguir, será apresentada uma classificação obtida a partir da avaliação de diferentes protocolos de descoberta de serviços encontrados na literatura, bem como da convergência das classificações propostas para esses trabalhos por diferentes autores [Marin-Perianu et al. 2005; Cho & Lee 2005; Zhu et al. 2005; Edwards 2006; Mian et al. 2006; Seno et al. 2007]. Essa classificação foi elaborada levando-se em consideração um conjunto de critérios que se constituem em uma base de comparação, a saber:

- ***A arquitetura de descoberta de serviços.*** Uma arquitetura especifica a organização de qualquer sistema e o modo como os seus principais componentes estão conectados entre si. As arquiteturas de descoberta de serviços podem adotar uma abordagem baseada no uso de diretórios de serviços *centralizados*, os quais são responsáveis pelo processamento de anúncios e consultas em nome de todos os dispositivos da rede, ou *distribuídos*, onde cada dispositivo é responsável por manter as informações sobre os serviços que disponibiliza ou conhece;
- ***O escopo da descoberta de serviços.*** O escopo da descoberta corresponde ao conjunto de serviços que podem ser descobertos por um dado cliente. A determinação do escopo de um protocolo de descoberta permite o controle dos mecanismos que são utilizados para obter informações sobre os serviços na rede. A definição do escopo da descoberta é feita com base em critérios, como a *topologia da rede*, as permissões de acesso embutidas nos diferentes *papéis de usuário em um domínio administrativo* e as *informações de contexto* de alto nível – tais como as informações temporais (como data, hora e fuso horário), espaciais (como latitude, longitude e posição relativa) e àquelas relacionadas às atividades

desempenhadas pelos usuários dos dispositivos no seu dia-a-dia. Em protocolos de descoberta de serviços distribuídos, cujo escopo é definido em função da topologia da rede, o alcance do mecanismo de descoberta é determinado, em parte, pelas regras de roteamento em vigência. Nesses protocolos, a requisição de serviço pode ser encaminhada apenas aos dispositivos que constituem a rede local do dispositivo que a originou, ou alcançar dispositivos em outras redes físicas, a vários saltos de distância de onde a requisição foi originada. Em protocolos de descoberta de serviços centralizados, baseados na estrutura de diretórios, o escopo pode ser expandido interconectando-se diretórios em diferentes domínios administrativos com relações de confiança previamente estabelecidas; nesses sistemas, pode-se empregar políticas de controle de acesso aos serviços com base na autenticação dos usuários dos dispositivos, segundo os seus papéis;

- **As técnicas de descrição de serviços.** Descrição de serviço é uma abstração das características e facilidades inerentes a um serviço. Essa abstração torna-se necessária em diferentes etapas do processo de descoberta: (i) quando um serviço, na arquitetura baseada no uso de diretórios centralizados, é registrado pelo seu provedor junto ao diretório; (ii) quando um provedor, na arquitetura baseada no uso de diretórios distribuídos, divulga na rede, através de mensagens de anúncios, a disponibilidade dos serviços que oferece; e (iii) quando o serviço é requisitado por outros dispositivos ou mesmo por outros serviços. Em um protocolo de descoberta, os clientes procuram por um serviço específico consultando as descrições de serviços anunciadas pelos provedores ou enviando uma requisição à rede contendo a descrição do serviço que desejam. Existem duas abordagens empregadas com maior frequência: os *pares atributo-valor* e as *linguagens de descrição*. Serviços descritos através de *pares atributo-valor*, que é o formato mais comumente utilizado em protocolos de descoberta, são representados através de um nome e de um conjunto de atributos. Serviços descritos através de

*linguagens de descrição* permitem uma representação do serviço através do uso de *ontologias*;<sup>2</sup>

- ***O mecanismo de consulta às informações de serviços.*** O método de consulta utilizado em um protocolo de descoberta de serviços pode ser entendido como um processo de busca atrelado a um casamento (*matching*) entre as requisições de descoberta (demandas) e as descrições de serviços locais e remotos (ofertas), estas últimas divulgadas através de anúncios ou registradas em diretórios. O algoritmo de *matching* utilizado pelo mecanismo de consulta representa uma função que aceita, como entrada, a demanda e um conjunto de descrições de ofertas, provendo, como resultado, o subconjunto das ofertas que satisfazem a demanda especificada. Segundo [Gonzalez-Castillo et al. 2001], pode-se alcançar uma melhoria do processo quando o algoritmo retorna uma lista ordenada das *k* melhores ofertas, para cada demanda. Uma vez que o processo de *matching* é baseado em comparações, linguagens que permitam, de forma natural, especificar tipos, restrições e relações entre conceitos agregam valor semântico ao protocolo de descoberta de serviços, como ocorre com as linguagens de descrição baseadas em XML [W3C 2001; W3C 2004];
- ***O armazenamento das informações de serviços.*** Informações de serviço são divulgadas pelo provedor do serviço (ou diretório) através de mecanismos de anúncio ou em resposta a mensagens de requisição. A informação de um serviço é utilizada para descrever, identificar e selecionar o serviço na rede. A informação pode incluir o nome do serviço, o seu identificador, o endereço do provedor do serviço, o protocolo que o cliente e o provedor devem utilizar para invocar o serviço, o período no qual a informação é válida, entre outros itens. As informações sobre os serviços devem ser armazenadas em repositórios, de modo que os demais dispositivos possam recuperá-las e contactar o provedor de um serviço particular. De acordo com o modo como esses

---

<sup>2</sup> Em ciência da computação, uma ontologia é um modelo de dados que representa um domínio específico. Ontologias permitem que se façam inferências sobre os objetos em um dado domínio e sobre as relações entre eles [Berners-Lee et al. 2001].

repositórios são organizados, eles são classificados como *centralizados* ou *distribuídos*. Na primeira abordagem, as informações sobre todos os serviços disponíveis na rede são armazenadas em diretórios compartilhados com acesso centralizado. Na segunda abordagem, os dispositivos da rede possuem o seu próprio repositório local, onde armazenam informações sobre os serviços que disponibilizam, assim como sobre os serviços divulgados na rede. A abordagem distribuída pode ainda ser subdividida em *cooperativa*, quando os nós mantêm informações parciais sobre os serviços da rede, que se complementam, e *não cooperativa*, quando os dispositivos armazenam as informações sobre todos os serviços da rede, mantendo uma visão global do sistema. O mecanismo utilizado para determinar a validade das informações sobre um serviço define se essas informações estão armazenadas como *soft state* ou *hard state*. Quando as informações sobre os serviços são mantidas na forma *soft state* – estratégia comumente empregada no armazenamento distribuído – a sua validade é especificada na mensagem de anúncio e precisa ser atualizada, periodicamente, pelo seu provedor, antes que expire, o que tornaria o serviço inalcançável. Quando as informações sobre os serviços são mantidas como *hard state*, elas só são removidas se o provedor do serviço solicitar, explicitamente, a sua remoção ou for constatada a indisponibilidade do serviço, ao se tentar utilizá-lo;

- ***Os mecanismos de descoberta de serviços.*** Os mecanismos de descoberta podem ser utilizados para localizar o dispositivo que hospeda o diretório responsável por armazenar as informações sobre os serviços da rede ou para localizar diretamente os dispositivos provedores de serviços. A abordagem adotada no processo de descoberta depende da arquitetura de descoberta e de como os serviços são registrados. Basicamente, existem duas formas para se consultar informações sobre os serviços disponíveis na rede: a *descoberta passiva*, onde os provedores anunciam periodicamente os seus serviços para toda a rede, e a *descoberta ativa*, onde o cliente envia requisições de descoberta para provedores ou

diretórios com o intuito de obter informações sobre um serviço específico ou sobre todos os serviços disponíveis;

- ***Os mecanismos de seleção de serviços.*** Embora o escopo do mecanismo de descoberta restrinja o número de respostas recebidas pelo cliente, o resultado de uma requisição a um determinado serviço pode conter não somente informações de um, mas de vários provedores do mesmo serviço. Neste caso, o ideal é que o melhor provedor seja selecionado, sem que haja a necessidade de interferência do usuário. Os protocolos de descoberta podem oferecer opções de seleção *manual*, com a intervenção direta do usuário da aplicação, ou *automática*, através de um algoritmo implementado no lado cliente, selecionando a melhor opção em função das características da aplicação. Nos protocolos de descoberta que utilizam repositórios centralizados, o algoritmo de seleção pode ser implementado no próprio diretório, que se encarrega de fazer a seleção do melhor serviço, em nome do cliente, de acordo com critérios especificados na requisição;
- ***O mecanismo de invocação de serviços.*** Embora seja um tópico à parte, muitos protocolos de descoberta de serviços tratam a questão da invocação do serviço. Depois que a seleção é processada, o protocolo de descoberta de serviços pode oferecer mecanismos para que o cliente utilize o serviço, a partir das informações contidas na resposta selecionada. Os protocolos de descoberta oferecem suporte à invocação de serviços em três níveis diferentes, que podem ser cumulativos. No primeiro nível, o cliente obtém a *localização do serviço*, através do mecanismo de descoberta, e se conecta diretamente ao provedor que o oferece através do seu endereço de rede; as aplicações que utilizam o protocolo de descoberta são responsáveis por definir o mecanismo de comunicação entre clientes e servidores e o conjunto de operações disponíveis no serviço. Em um segundo nível, o protocolo de descoberta especifica os *mecanismos de comunicação* entre os clientes e os serviços. Em um terceiro nível, o protocolo de descoberta pode definir um conjunto de *operações específicas* para um domínio de aplicação, em adição à localização do serviço e ao mecanismo de comunicação;

- ***Os mecanismos para oferecer suporte à mobilidade.*** O suporte à mobilidade implica que a informação sobre os serviços disponíveis na rede, quer seja armazenada em diretórios centralizados ou distribuídos, deva ser atualizada em função das modificações na topologia da rede, provocadas pela mobilidade dos dispositivos. Caso as informações mantidas por um dispositivo sobre os serviços da rede estejam obsoletas, há uma grande chance desse dispositivo responder a uma requisição de serviço com informações desatualizadas. Ao receber a resposta a sua solicitação, o cliente tentará acessar o serviço e, só então, irá detectar a sua indisponibilidade, pois o provedor do serviço pode ter se deslocado ou se tornado inalcançável;
- ***Os mecanismos de segurança.*** A questão da segurança apresenta vários desafios no projeto de protocolos de descoberta de serviços, especialmente em MANETs. A necessidade de se atender a requisitos de usabilidade, como configuração automática, implementação simplificada e redução do tráfego de mensagens de controle na rede, implica na adoção de esquemas de segurança muito simples. Uma grande parte dos protocolos de descoberta de serviços encontrados na literatura não tratam a questão da segurança ou apenas a embutem em suas propostas, utilizando as soluções implementadas nas tecnologias sobre as quais elas se baseiam. No projeto de alguns protocolos de descoberta de serviços, é possível constatar a tentativa de inserir um nível mínimo de controle com fins de segurança, como acontece no Bluetooth SDP, com a provisão de mecanismos opcionais de criptografia da comunicação no nível de enlace, e no Allia, com a especificação de políticas de segurança próprias, baseadas na percepção do usuário. Além de restringir a usabilidade, em MANETs, a implementação de mecanismos de segurança adiciona também um alto custo computacional ao projeto de um protocolo de descoberta de serviços. Entretanto, essa medida pode se mostrar necessária em ambientes onde usuários que não possuem uma relação de confiança pré-estabelecida se comunicam livremente, constituindo comunidades virtuais com potencial para colaboração.

Nas próximas seções, os protocolos de descoberta de serviços para redes sem fio *ad hoc*, mencionados na Seção 3.1, são revisitados em função da classificação aqui apresentada. É importante registrar que apenas os critérios relevantes ao projeto de um protocolo de descoberta e seleção de recursos para grades móveis *ad hoc* serão apresentados nas próximas seções, a saber: os mecanismos de descoberta de serviços, o mecanismo de seleção de serviços e os mecanismos para oferecer suporte à mobilidade. Os exemplos que serão utilizados restringem-se aos protocolos de descoberta de serviços projetados para as MANETs, por essa abordagem estar diretamente relacionada com o trabalho desenvolvido nesta tese: o projeto, a implementação e a avaliação de desempenho de um protocolo de descoberta e seleção de recursos para grades móveis organizadas através de redes sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos, denominado P2PDP (*Peer-to-Peer Discovery Protocol*), o qual é descrito em detalhes no Capítulo 4. Maiores informações sobre a classificação aqui apresentada e sobre as peculiaridades de cada protocolo de descoberta mencionado na Seção 3.1 podem ser encontradas em [Lima et al. 2007a].

### 3.2.1. Os Mecanismos de Descoberta de Serviços

Os mecanismos de descoberta podem ser utilizados para localizar o dispositivo que hospeda o diretório responsável por armazenar as informações sobre os serviços da rede ou para localizar diretamente os dispositivos provedores de serviços. A abordagem adotada no processo de descoberta depende da arquitetura de descoberta e de como os serviços são registrados. Basicamente, existem duas formas para se consultar informações sobre os serviços disponíveis na rede (Figura 7): a *descoberta passiva*, onde os provedores anunciam periodicamente os seus serviços para toda a rede, como ocorre no DEAPspace, e a *descoberta ativa*, onde o cliente envia mensagens de descoberta para provedores ou diretórios com o intuito de obter informações sobre um serviço específico ou sobre todos os serviços disponíveis, como no Bluetooth SDP e no ORION. Essas abordagens também são conhecidas, na literatura, como *proativa* e *reativa*, respectivamente, em uma alusão à classificação utilizada com os protocolos de roteamento planos para MANETs. Na maioria dos casos, os protocolos de descoberta de serviços implementam ambas as abordagens, como acontece com os protocolos GSD,

Allia, Konark, ORION, FTA e com a abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005].

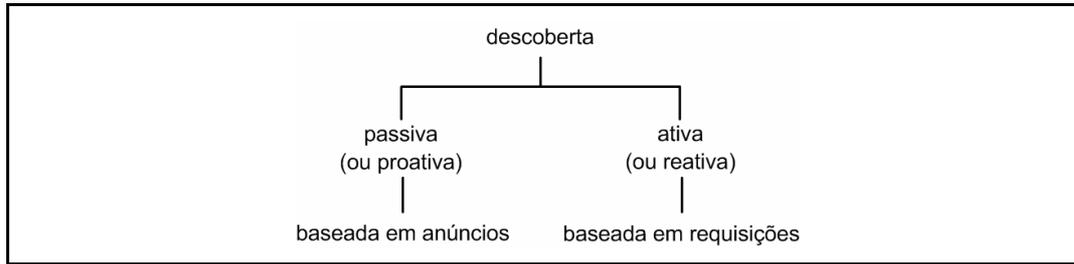


Figura 7 – Mecanismos de descoberta de serviços.

### 3.2.1.1. Descoberta Passiva

Nessa abordagem, quando um serviço anuncia as suas características e a sua disponibilidade, todas as partes envolvidas recebem essa informação. Na arquitetura baseada no uso de diretórios centralizados, os provedores registram as informações sobre os serviços que disponibilizam junto aos diretórios e esses fazem anúncios periódicos divulgando os serviços que gerenciam. Na arquitetura baseada no uso de diretórios distribuídos, os clientes mantêm atualizado o seu conhecimento sobre os serviços disponíveis através dos anúncios de serviços que são difundidos, periodicamente, na rede, pelos provedores de serviços. Um dispositivo pode emitir anúncios contendo apenas informações sobre os serviços que disponibiliza, ou incluir também informações sobre os serviços oferecidos por outros dispositivos do sistema a respeito dos quais tenha conhecimento, como acontece no DEAPspace, GSD, FTA e na a abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005]. Em alguns protocolos, as informações sobre os serviços remotos se restringem àquelas referentes aos dispositivos na vizinhança do receptor do anúncio. Entretanto, existem abordagens que defendem a replicação das informações sobre os serviços da rede em todos os dispositivos, criando uma visão global do sistema em cada dispositivo. Este é o caso do DEAPspace, onde os dispositivos anunciam, em janelas de tempo reservadas, a sua visão global do sistema. No Konark, é proposto o mecanismo de anúncio incremental, como uma melhoria à abordagem apresentada no DEAPspace, onde a consistência da visão global é obtida por um mecanismo de filtragem: cada anúncio corresponde à diferença (*delta*) entre o conhecimento adquirido pelo dispositivo e a visão global

divulgada pelos demais dispositivos da rede (Figura 8). Esse mecanismo caracteriza um “protocolo epidêmico”, também conhecido como protocolo de disseminação de “rumores” (*gossip*). O objetivo do mecanismo de disseminação é compartilhar o conhecimento da visão global de serviços disponíveis no sistema entre todos os nós da rede, com a máxima convergência, gerando a menor quantidade possível de tráfego de mensagens de anúncio. Como avaliado em [Lee et al. 2003], a extensão ao protocolo Konark baseada na disseminação de rumores (Konark *gossip*) obtém uma convergência tão rápida quanto a alcançada pelo DEAPspace-*plus*,<sup>3</sup> com um tráfego de dados bem menor, o que o torna mais eficiente. Entretanto, o funcionamento do protocolo de descoberta Konark é atrelado a pré-existência de um mecanismo que ofereça suporte ao roteamento *multicast* na MANET.

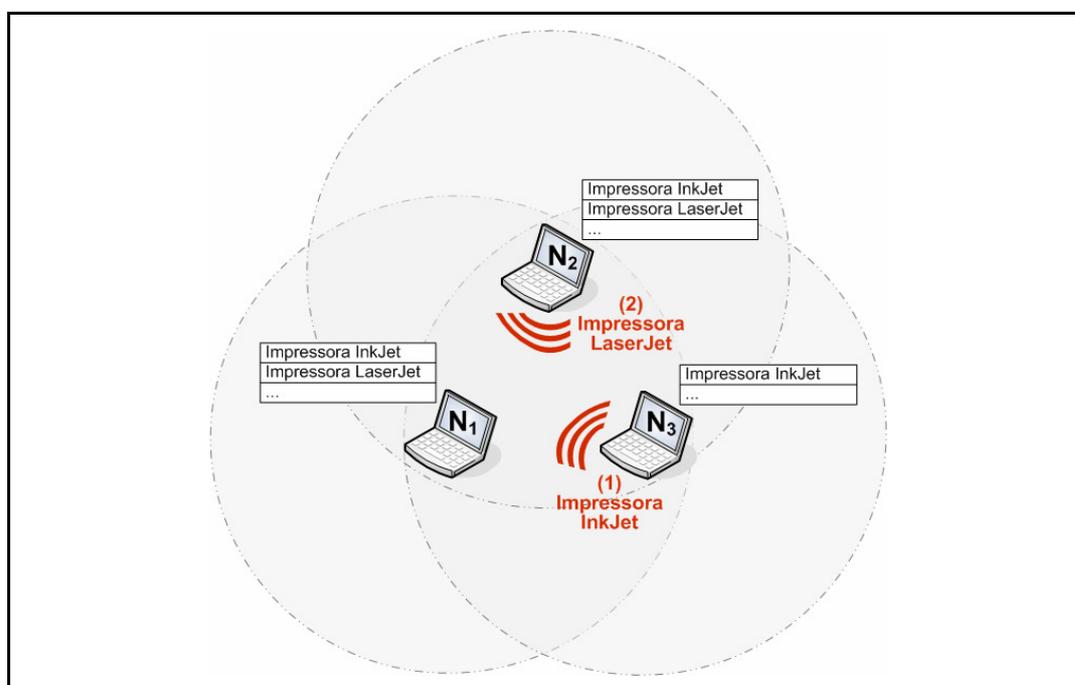


Figura 8 – Mecanismo de anúncio incremental do Konark.

Em muitas propostas, é definido um parâmetro configurável denominado “diâmetro do anúncio”, responsável por delimitar o alcance dos anúncios em termos do número de saltos que eles irão percorrer, como é o caso dos protocolos GSD, Allia e FTA. Em uma rede de salto único, o diâmetro corresponde a “0”,

<sup>3</sup> DEAPspace-*plus* corresponde a uma extensão ao protocolo DEAPspace que oferece suporte às redes sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos.

enquanto que, em redes de saltos múltiplos, esse valor é definido no intervalo fechado  $[1, n]$ , onde  $n$  representa o limite máximo.

No protocolo GSD, os nós efetuam anúncios periódicos para seus vizinhos, anúncios esses restritos a um número de saltos configurável. Ao receber uma mensagem de anúncio, as informações referentes aos serviços são extraídas e armazenadas localmente como *soft state*, até que a sua validade expire, quando elas são removidas do repositório de serviços do dispositivo. As mensagens de anúncio de serviços carregam, de carona, informações sobre os grupos de serviços anunciados na vizinhança do nó. As informações sobre grupos de serviço viabilizam o mecanismo de *matching* aproximado, oferecendo resultados aproximados a uma consulta. Por exemplo, se a requisição especifica uma impressora *InkJet*, o mecanismo de *matching* faz uma consulta considerando o grupo ao qual o serviço pertence (*Printer*). Dessa forma, é possível descobrir uma impressora *LaserJet* presente na vizinhança; a resposta a essa requisição trará informações sobre os dois serviços, impressora *InkJet* e impressora *LaserJet*.

No Allia, os anúncios podem ser de dois tipos: *anúncio de serviço* e *anúncio de plataforma* (ou dispositivo). Os anúncios de serviço transportam informações sobre os serviços disponibilizados pelo dispositivo anunciante. Esses anúncios podem ser emitidos periodicamente ou em função de eventos específicos, como quando um agente no dispositivo recebe um novo anúncio ou detecta a presença de um novo dispositivo na vizinhança. Os anúncios de plataforma servem para um dispositivo notificar seus vizinhos sobre a sua presença, e são emitidos periodicamente. Um anúncio de plataforma serve ainda para atualizar a validade das informações divulgadas pelos anúncios de serviços do dispositivo anunciante. No Allia, a periodicidade de envio do anúncio pode ser ajustada em função de políticas locais. Várias políticas podem ser utilizadas para ajustar as taxas de envio, como mencionado a seguir. Em redes estáveis, pode-se empregar uma taxa de frequência constante de anúncios. Nos cenários de topologia dinâmica, pode-se adotar o algoritmo MILD (*Multiplicative Increase Linear Decrease*) ou o BEB (*Binary Exponential Back-off*), para aumentar a frequência de envio dos anúncios de serviços. Uma terceira abordagem reduz a frequência com que os anúncios são gerados, restringindo o seu envio à detecção da presença de novos dispositivos,

caracterizando um aumento na taxa de mobilidade da MANET, o que se infere através do recebimento de novos anúncios de serviços. Uma característica particular do Allia é a formação de “alianças” (*Allia-nce*) de dispositivos. A aliança de um dado dispositivo consiste no conjunto de dispositivos dos quais ele armazena anúncios de serviço. Tanto o número de membros quanto o diâmetro de uma aliança são determinados pela política local do dispositivo. O número de membros está associado ao número de anúncios remotos que podem ser armazenados pelo nó, já o diâmetro, ao número de saltos que os anúncios podem percorrer. Em ambientes altamente dinâmicos, é recomendada a redução do diâmetro da aliança, para evitar que as informações armazenadas a partir dos anúncios de serviço tornem-se obsoletas muito rapidamente, devido ao constante deslocamento dos nós. No Allia, o uso de políticas locais garante a flexibilidade do protocolo e a sua adaptabilidade, em tempo de execução, às características do ambiente, à capacidade do dispositivo, às configurações específicas das aplicações hospedadas pelo dispositivo e às preferências do usuário.

A idéia central, em torno da qual a abordagem FTA foi desenvolvida, baseia-se na distribuição das informações sobre os serviços para toda a vizinhança da rede usando uma analogia com campos eletrostáticos: um serviço é visto como uma carga eletrostática (positiva), que gera um campo sobre a rede, e as requisições de descoberta são vistas como cargas de teste (negativas), que são atraídas para o serviço, em função do gradiente de campo gerado. Os anúncios de serviços são disseminados na rede sem fio através de um mecanismo de difusão por *broadcast*. Esses anúncios contêm informações sobre a capacidade do provedor em oferecer cada tipo de serviço e o gradiente de campo associado a cada serviço.

Em oposição aos trabalhos mencionados, o protocolo P2PDP não implementa o mecanismo de descoberta passiva. Como a sua especificação foi definida em função das especificidades das grades móveis, o mecanismo de anúncio mostrou-se proibitivo, visto que, nesses ambientes, a provisão do serviço está associada ao compartilhamento de recursos dinâmicos entre os dispositivos da grade. Esses recursos se caracterizam por apresentarem flutuações na sua disponibilidade em função do tempo, sendo influenciados por fatores como a qualidade do enlace sem fio e variações na topologia da rede. Considerando-se,

por exemplo, a conexão entre dois nós, ela pode deixar de existir em uma fração de segundo, quer seja em função de variações na qualidade do enlace sem fio, quer seja pelo deslocamento de um ou mais nós que constituem o caminho entre eles. Em uma rede sem fio, a manutenção da conectividade entre dois nós quaisquer – *A* e *B* – só é garantida com a colaboração dos nós vizinhos. A conexão entre os nós *A* e *B* pode sofrer interferências caso ocorram tentativas de comunicação entre os nós na sua vizinhança nesse período. Nesse caso, segundo [Yang & De Veciana 2005], o recurso de interesse não é o enlace entre os dois nós e sim o canal sem fio da região geográfica na qual eles se encontram.

Devido as características anteriormente mencionadas, a manutenção de um mecanismo periódico de anúncios contendo informações sobre os recursos disponíveis na grade móvel e o armazenamento dessas informações nos dispositivos, incorre no aumento do consumo de recursos como ciclos de processamento e espaço de armazenamento. As alterações frequentes na disponibilidade dos recursos dinâmicos implica na redução dos intervalos entre a transmissão de anúncios para garantir que as informações armazenadas sobre esses recursos, nos dispositivos da grade móvel, mantenham-se atualizadas e consistentes. Como foi verificado na análise de desempenho do protocolo Allia, realizada em [Ratsimor et al. 2004], um efeito colateral do aumento da frequência de envio dos anúncios é o crescimento do tráfego de dados no canal sem fio, aumentando a probabilidade de ocorrência de colisões e provocando uma redução na taxa de entrega de pacotes. Como consequência do aumento do número de transmissões, verifica-se a redução da carga residual da bateria dos dispositivos sem fio, o que reduz o tempo de vida dos dispositivos na grade móvel. De um modo geral, quando os recursos providos são altamente dinâmicos, o uso do mecanismo de anúncios em redes *ad hoc* torna-se proibitivo [Frank & Karl 2004].

### **3.2.1.2.**

#### **Descoberta Ativa**

Nessa abordagem, o cliente envia mensagens de descoberta para obter informações sobre os serviços ou diretórios da rede. Ao receber uma requisição originada localmente, o dispositivo a processa; se a descrição corresponder a um serviço que ele disponibiliza, uma resposta é gerada e entregue ao cliente; caso

contrário, a requisição é então encaminhada aos demais dispositivos da rede. Requisições para um mesmo serviço, provenientes de clientes diferentes, são tratadas e respondidas separadamente. Na arquitetura baseada no uso de diretórios centralizados, inicialmente, os clientes usam *multicast* UDP ou *broadcast* UDP para descobrir o diretório que gerencia as informações sobre os serviços. Feito isso, as requisições passam a ser enviadas em *unicast* ao diretório que responde, também em *unicast*, informando as características e a localização do serviço; posteriormente, o cliente se conecta diretamente ao provedor para ter acesso ao serviço. Na arquitetura baseada no uso de diretórios distribuídos, as mensagens de descoberta são transmitidas por difusão para todos os dispositivos na rede, através de *broadcast* ou *multicast* – Bluetooth SDP, GSD, Konark, ORION, FTA e a abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005]. Quando o encaminhamento de pacotes em saltos múltiplos é tratado, o alcance da mensagem (número de saltos pelos quais ela irá trafegar) é geralmente definido, assim como acontece com os anúncios de serviço na descoberta ativa, por um parâmetro configurável, denominado “diâmetro da requisição”. Alguns protocolos implementam mecanismos diferenciados de encaminhamento de requisições. Nessas propostas, as requisições são difundidas, de forma seletiva, na direção dos nós que têm a maior probabilidade de oferecer o serviço, o que é feito com base em critérios pré-definidos. No GSD, o critério utilizado diz respeito ao grupo ao qual o serviço pertence, no Allia às políticas definidas pelo usuário e no FTA ao potencial do dispositivo em prover o serviço. Cada um desses critérios é comentado a seguir.

No GSD, quando um dispositivo precisa utilizar um serviço, inicialmente é realizada uma consulta às informações de serviços armazenadas localmente, que correspondem às informações sobre os serviços disponibilizados pelos seus vizinhos a no máximo  $N$  saltos de distância. Caso não exista referência ao serviço em questão, o dispositivo gera uma mensagem de requisição e a encaminha, adotando uma abordagem seletiva, orientada aos grupos de serviços presentes na sua vizinhança. A Figura 9 ilustra a dinâmica do mecanismo de roteamento inteligente de requisições de serviços para uma rede sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos simplificada, com o diâmetro da requisição (parâmetro `HOP_COUNT`) igual a 4.

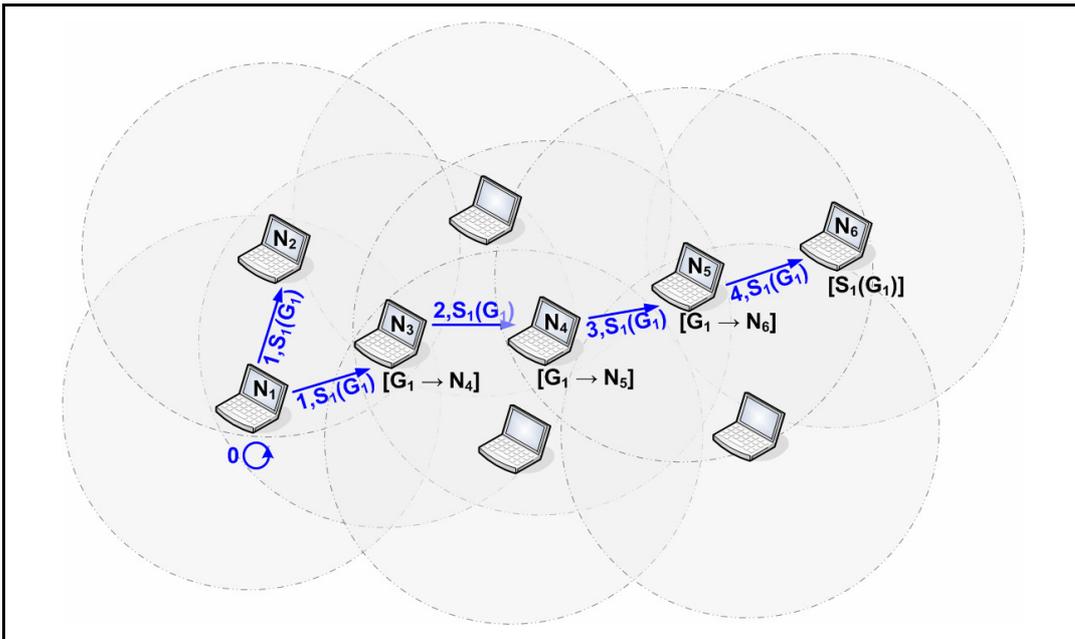


Figura 9 – Encaminhamento de requisições baseado em grupos de serviços (adaptada de [Strang 2005]).

A Figura 9 mostra uma seqüência de nós interconectados, onde os círculos tracejados delimitam a vizinhança dos nós. As legendas S e G representam, respectivamente, os serviços e os grupos aos quais eles pertencem. O dispositivo  $N_1$  corresponde ao nó que originou a requisição e o dispositivo  $N_6$  corresponde ao provedor do serviço requisitado ( $S_1$ ). Quando a requisição  $\{S_1(G_1)\}$ , solicitando o serviço  $S_1$  que pertence ao grupo  $G_1$ , é recebida pelos nós  $N_2$  e  $N_3$ , eles verificam, nas suas bases de informações de serviços, as entradas associadas ao grupo  $G_1$  na sua vizinhança. Como o nó  $N_2$  não possui nenhuma entrada associada ao grupo  $G_1$ , ele descarta a requisição. O nó  $N_3$  encontra uma entrada para o grupo  $G_1$  associada ao nó  $N_4$ ; a requisição é, então, seletivamente, encaminhada a esse nó. O procedimento descrito se repete em todos os outros nós, até que a requisição alcance o nó  $N_6$ , onde é descoberta uma entrada direta para o serviço requisitado ( $S_1$ ). Quando o GSD falha na identificação do conjunto de nós para efetuar o encaminhamento seletivo, a requisição é, então, transmitida através de *broadcast*. O desempenho do protocolo GSD decai especialmente quando as requisições não são especificadas em termos dos grupos de serviço, utilizando outros atributos, o que implica em um esquema de inundação da rede.

Com o intuito de prevenir a inundação da rede pela difusão das mensagens de requisição, causada pelo uso de *broadcast* [Ni et al. 1999; Tseng et al. 2003], o

Allia implementa um mecanismo de encaminhamento seletivo, através do uso de *multicast* baseado em políticas. Essa abordagem restringe a transmissão a um conjunto de vizinhos em particular – especificados nas políticas locais do dispositivo –, como, por exemplo, aqueles mais ativos. Ao receber uma requisição, o dispositivo decide se irá processá-la, ou não, com base na sua política local. Caso nenhuma referência ao serviço seja encontrada, a requisição é enviada para o agente de encaminhamento, que consulta a política local para decidir se a encaminha, ou não, para os outros dispositivos na sua aliança.

Na abordagem FTA, as requisições para uma instância de um dado tipo de serviço são encaminhadas seletivamente na direção do provedor que gerou o maior gradiente de campo, de forma similar ao roteamento de mensagens *anycast*. Para que as requisições possam ser encaminhadas de forma apropriada, os valores dos campos eletrostáticos, calculados por cada dispositivo, para os diferentes tipos de serviços, devem ser trocados periodicamente entre os nós vizinhos, o que é feito através dos anúncios periódicos de serviços disseminados por *broadcast*. Para amenizar os efeitos provocados pela inundação da rede com mensagens de anúncio, o FTA propõe uma estratégia para aumentar a escalabilidade dessa solução com o armazenamento das informações contidas nesses anúncios nos nós intermediários, entretanto essa estratégia só se mostra eficaz quando aplicada a múltiplas instâncias de um mesmo tipo de serviço, mostrando-se inepta quando na rede são disponibilizados diferentes tipos de serviços distintos.

No protocolo ORION, os dispositivos não fazem a divulgação das informações sobre os serviços os quais disponibilizam; as informações sobre os serviços são obtidas através de requisições sob demanda. Nesse protocolo, cada nó armazena as informações de serviços contidas nas respostas às requisições de serviços que trafegam na rede por seu intermédio, o que caracteriza um mecanismo de anúncio “implícito”.

Propostas adeptas da integração dos mecanismos de roteamento e descoberta de serviços, recomendam a utilização de protocolos de roteamento para redes sem fio *ad hoc*, como o protocolo reativo AODV (*Ad hoc On-demand Distance Vector*) [Perkins et al. 2003], caso falhas sejam detectadas no caminho utilizado para o encaminhamento da mensagem de resposta em direção ao nó que originou a requisição, como ocorre no GSD e no ORION. No caso dos protocolos

que adotam uma abordagem *cross-layer*, como em [Varshavsky et al. 2005], as mensagens de requisição e anúncio de serviços são encapsuladas nas mensagens de controle do protocolo de roteamento sobre o qual o mecanismo de descoberta foi implementado.

De forma similar aos trabalhos mencionados anteriormente, o protocolo P2PDP implementa o mecanismo de descoberta ativa e utiliza o conceito de diâmetro de requisição. Como contribuição da abordagem proposta no protocolo P2PDP, é introduzido o conceito de perfil de execução, que identifica os requisitos necessários, em termos de recursos dinâmicos, para a execução das tarefas pelos dispositivos da grade móvel. Essa informação é transmitida na requisição de serviço, o que permite que ao receber uma requisição o nó possa verificar a sua adequação ao perfil de execução antes de respondê-la. Esse conceito é comum aos ambientes de grade fixa, no qual os dispositivos são selecionados para executar tarefas em função de um conjunto de requerimentos associados a disponibilidade de recursos nos mesmos.

### **3.2.2. O Mecanismo de Seleção de Serviços**

Embora o escopo do mecanismo de descoberta restrinja o número de respostas recebidas pelo cliente, o resultado de uma requisição para um determinado serviço deve conter não só informações de um, mas de vários provedores do mesmo serviço. Neste caso, o ideal é que o melhor provedor seja selecionado, sem que haja a necessidade de interferência do usuário. Como ilustrado na Figura 10, os protocolos de descoberta de serviços podem oferecer opções de seleção *manual*, com a intervenção direta do usuário da aplicação – como ocorre nos protocolos Bluetooth SDP, DEAPspace, GSD, Allia, Konark e ORION –, ou *automática*, através de um algoritmo implementado no lado cliente, selecionando a melhor opção em função das características da aplicação, como ocorre no FTA e na abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005]. Quando a abordagem de seleção automática é implementada, deve-se considerar as métricas que irão definir qual é a melhor oferta. Na abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005], o critério de seleção utilizado é a menor distância, em número de saltos, entre o dispositivo que originou a requisição e o provedor do serviço. Os autores

mencionam a possibilidade de se utilizar métricas específicas associadas ao serviço, às condições do provedor – como, por exemplo, a sua carga de processamento, que está diretamente relacionada ao número de requisições sendo atendidas – ou mesmo às condições da rede. Na abordagem FTA, quando há mais de um provedor para o mesmo tipo de serviço, a seleção é feita de forma automática pelo sistema de descoberta, que escolhe, em prol do cliente, o provedor mais adequado, em função de duas métricas: a distância entre o cliente e a instância do serviço, calculada tendo como base o número de saltos entre eles, e a capacidade de serviço (*Capacity of Service* – CoS), que representa a carga do serviço, em uma analogia a cargas em um campo eletrostático. Nessa abordagem, cada tipo de serviço determina o CoS em função de características específicas do serviço que devem ser padronizadas em todos os dispositivos da rede. Por exemplo, o CoS de um serviço de provisão de acesso à Internet pode indicar a capacidade do enlace das suas conexões, já o CoS de um serviço de impressão pode indicar a sua velocidade. O CoS assume valores positivos em um intervalo  $[CoS_{min}, CoS_{max}]$  definido para cada tipo de serviço; esses intervalos devem ser representados de modo uniforme por todos os dispositivos na rede.

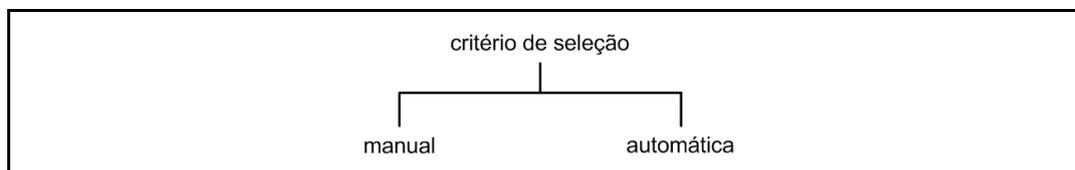


Figura 10 – Critérios de seleção de serviços.

Como mencionado, na maioria dos protocolos apresentados, a seleção dos serviços de interesse é feita manualmente pelo usuário ou pela aplicação que utiliza o sistema. As exceções ficam por conta da abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005] e do FTA nos quais, assim como no protocolo P2PDP, a seleção é implementada de forma automática. Um diferencial do protocolo P2PDP em relação a esses trabalhos diz respeito a forma como o critério de seleção é aplicado. Diferentemente do FTA, onde a seleção é feita no encaminhamento da requisição de serviço, no P2PDP a seleção ocorre durante o encaminhamento das respostas, permitindo que mais de uma resposta seja selecionada, o que não ocorre no FTA, onde uma única instância do serviço é retornada. Esse comportamento do protocolo P2PDP se deve ao fato da sua especificação ter sido determinada pelos requisitos do mecanismo de seleção das grades computacionais, onde uma

requisição deve receber como resposta, informações sobre múltiplas instâncias do mesmo serviço. A vantagem de se implementar a seleção no encaminhamento das respostas e não no das requisições se deve ao fato de não haver a necessidade de se manter informações atualizadas, armazenadas em cada dispositivo, sobre a disponibilidade de serviços nos outros nós da rede. A implementação do mecanismo de seleção durante o encaminhamento das requisições introduz a necessidade de se especificar um parâmetro de comparação – no caso do FTA, o CoS – que estabeleça um critério de seleção entre os diferentes tipos de serviço de cada provedor sobre os quais se tenha informações, de modo que as requisições sejam encaminhadas seletivamente na direção dos melhores provedores.

Em relação a abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005], na qual a seleção é feita somente quando as mensagens de resposta chegam ao dispositivo que originou a requisição, no P2PDP, como já foi mencionado, a seleção é feita no encaminhamento das respostas, de uma forma cooperativa, pelos dispositivos no diâmetro da requisição. A seleção no encaminhamento das mensagens de resposta no P2PDP é implementada pelo mecanismo de supressão, o que permite que as respostas menos aptas sejam removidas da rede antes de chegar ao seu destino, o que evita o desperdício de recursos como ciclos de CPU e energia no processamento e encaminhamento dessas mensagens pelos nós intermediários. Além disso, no P2PDP é permitido configurar, na requisição de serviço, o número de respostas esperado e o tempo máximo que o requisitante está disposto a esperar por essas respostas, opção não disponível nos trabalhos apresentados. Esses parâmetros são necessários em uma grade computacional, pois estão relacionados diretamente aos mecanismos de distribuição e execução de tarefas, determinando, respectivamente, o número de dispositivos necessários para a execução das tarefas que compõem uma requisição de serviço e uma fração do retardo máximo tolerado na iniciação do serviço, a qual diz respeito ao tempo de resposta do mecanismo de descoberta.

### 3.2.3.

#### **Mecanismos para oferecer suporte à Mobilidade**

Em uma rede sem fio, os dispositivos se movimentam constantemente, alterando a sua localização física, o que torna obsoletas as rotas através das quais eles eram

alcançáveis. Uma abordagem de armazenamento de informação de serviço é dita completamente distribuída, quando cada dispositivo mantém informações somente a respeito dos serviços que ele próprio disponibiliza, sem ter que gerenciar informações sobre os serviços disponibilizados pelos demais dispositivos. Nesse cenário, o problema de se manter, mediante a presença da mobilidade, as informações sobre os serviços atualizadas é contornado através da descoberta ativa. Nesse caso, pode-se verificar uma atualização implícita das informações sobre os serviços [Marin-Perianu et al. 2005]. São realizadas consultas aos serviços disponíveis na rede, sob demanda, através do envio de mensagens de requisição a endereços de *multicast* ou *broadcast* (ver Subseção 3.2.1).

O suporte à mobilidade implica que a informação sobre os serviços disponíveis na rede, quer seja armazenada nos diretórios (centralizada) ou nos dispositivos da rede (distribuída), deva ser atualizada em função das modificações na topologia da rede, provocadas pela mobilidade dos dispositivos. Se, em um dado grupo, um dispositivo armazena informações sobre os serviços dos demais dispositivos, espera-se que ele mantenha informações corretas, na medida do possível. Se o dispositivo altera a sua posição em relação ao grupo, ou se algum membro do grupo se desloca, as informações de serviços devem ser atualizadas o mais rapidamente possível. Somente dessa forma, pode-se esperar, com uma certa probabilidade, que um protocolo de descoberta de serviços consiga descobrir um dado serviço em tempo hábil. Caso as informações mantidas por um dispositivo sobre os serviços da rede estejam obsoletas, há uma grande chance desse dispositivo responder, a uma requisição de serviço, com informações desatualizadas; ao receber a resposta a sua solicitação, o cliente tentará acessar o serviço e, só então, irá detectar a sua indisponibilidade, pois o provedor do serviço pode ter se deslocado ou se tornado inalcançável. Existem dois métodos principais para solucionar esse problema (Figura 11): *proativo* e *reativo*. No método proativo, os dispositivos mantêm uma visão atualizada das informações sobre os serviços disponíveis na rede com a troca periódica de mensagens de anúncio contendo dados mais recentes sobre o serviço. No método reativo, a informação é atualizada em razão da ocorrência de eventos na rede, como, por exemplo, a indisponibilidade de uma rota para um provedor ou a detecção de mudanças de estado informadas pelo próprio serviço. Nesse método, a disponibilidade do

serviço pode ser consultada pelos clientes, junto a provedores (ou diretórios), de forma direta, sob demanda, ou através de notificações. Um terceiro método diz respeito à manutenção das informações sobre os serviços atualizadas mediante À mobilidade da rede de um modo *implícito*, em decorrência da adoção de um mecanismo de descoberta reativo, baseado puramente no envio de requisições de serviço sob demanda, como é o caso do Bluetooth SDP. Nesse protocolo, como a descoberta é feita em função do modelo requisição-resposta, não há manutenção das informações de serviços, o que caracteriza uma atualização “implícita”.



Figura 11 – Métodos de provisão de suporte à mobilidade.

Protocolos de descoberta que adotam a abordagem *cross-layer* podem implementar os dois métodos, como é o caso de [Varshavsky et al. 2005], que utiliza as informações de roteamento e aquelas contidas nas mensagens de controle do protocolo de descoberta para inferir a respeito da validade das informações mantidas sobre os serviços e, conseqüentemente, sobre a disponibilidade desses serviços. Em protocolos de descoberta baseados na manutenção da estrutura da rede sobreposta, como é o caso do ORION, a atualização das informações sobre os serviços da rede é associada à manutenção das informações de roteamento e, portanto, a indisponibilidade do caminho para um provedor indica a indisponibilidade de um serviço, seguindo uma abordagem de manutenção das informações sobre os serviços reativa. No ORION, o único tipo de serviço provido é a transferência de arquivos, o que o caracteriza como um protocolo de propósito específico.

Em alguns protocolos de descoberta de serviços, como é o caso do Konark e da abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005], o tráfego referente ao mecanismo de descoberta – mensagens de anúncios, requisições e respostas de serviços – é interceptado e processado, pelos nós intermediários, de modo que se obtenham informações sobre serviços adicionais.

Uma prática comum, é a manutenção das informações sobre os serviços na forma *soft state*: o período de validade da informação é especificado nas

mensagens de anúncio, o que caracteriza o método proativo de provisão de suporte à mobilidade. Antes que o período de validade associado ao serviço expire, o seu provedor deve encaminhar um novo anúncio para revalidar as informações sobre o serviço, o que se obtém através de um mecanismo de anúncios periódicos. A periodicidade com que esses anúncios são divulgados pode ser definida através de parâmetros configuráveis pelo usuário – como acontece nos protocolos GSD, Allia e FTA –, através do monitoramento das condições da rede – como no Allia e na abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005] – ou, ainda, uma combinação das duas abordagens, levando sempre em consideração a mobilidade dos dispositivos e de sua vizinhança. Alguns protocolos de descoberta de serviços que implementam o método proativo usam a limitação do número de saltos da propagação dos anúncios, para restringir o alcance da transmissão das informações sobre os serviços da rede, como é o caso dos protocolos GSD, Allia e FTA. Essa abordagem tem como intuito facilitar a manutenção das informações sobre os serviços, limitando a sua divulgação aos dispositivos mais próximos geograficamente, que constituem uma vizinhança física, aumentando, com isso, as chances de se localizar um serviço dentro da vizinhança do dispositivo.

O P2PDP foi projetado para um cenário dinâmico, sendo intrínseco ao seu funcionamento prover mecanismos que ofereçam suporte à mobilidade dos nós, mantendo as informações sobre os serviços atualizadas, o que é obtido de forma “implícita” pelo mecanismo de descoberta ativa, através de requisições de serviço sob demanda, em função da necessidade dos usuários. Os demais trabalhos apresentados, com exceção do Bluetooth SDP, implementam um mecanismo explícito de provisão de suporte à mobilidade para minimizar o problema de se manter as informações sobre os serviços atualizadas. Nesses protocolos, essas informações são obtidas através das mensagens de anúncio e das respostas às mensagens de requisição. No protocolo P2PDP cada dispositivo armazena exclusivamente informações sobre os serviços que ele disponibiliza; para obter informações sobre os serviços disponíveis na rede, são realizadas requisições sob demanda, as quais obtém como resposta informações atualizadas sobre os serviços. Dentre as suas vantagens, essa abordagem não introduz custos adicionais em função do armazenamento das informações de serviço – presente nas

abordagens que utilizam os métodos reativo e proativo – e do aumento da carga da rede em decorrência do envio periódico de anúncios de serviços [Engelstad et al. 2006], além do custo de comunicação ao se tentar contactar provedores de serviço que não estão mais disponíveis, em função da consulta a informações de serviços desatualizadas.

### 3.3.

#### Visão Geral dos Protocolos de Descoberta de Serviços

Como os protocolos para as redes fixas alcançaram a maturidade no seu desenvolvimento, é possível observar uma tendência crescente no sentido de desenvolver novas soluções com o intuito de oferecer suporte à descoberta de serviços para as redes sem fio, especialmente para as redes sem fio *ad hoc*. Os protocolos de descoberta de serviços desenvolvidos para as MANETs de saltos múltiplos são iniciativas recentes da área acadêmica e não existe, até o momento, uma especificação que possa ser adotada como padrão pela indústria. Nessas redes, a mobilidade introduz questões desafiadoras, como a manutenção das informações sobre os serviços mediante as freqüentes mudanças de topologia da rede – o que implica no controle da periodicidade e do alcance das mensagens de anúncio –, aspectos relacionados à escalabilidade, o gerenciamento dos recursos dos dispositivos sem fio – especialmente a energia, recurso constantemente solicitado nas transmissões geradas pelos protocolos de descoberta – e mecanismos para controlar o tráfego de mensagens de requisição e resposta, que são as responsáveis, respectivamente, pela inundação e implosão de mensagens no enlace sem fio, aumentando a probabilidade da ocorrência de colisões.

A seleção automática de serviços apresenta-se como um aspecto importante no desenvolvimento de um protocolo de descoberta de serviços para redes sem fio *ad hoc*, como destacado na proposta do protocolo FTA e na abordagem *cross-layer* de Varshavsky et al. [2005]. Devido à mobilidade dos dispositivos que constituem esse tipo de rede, a seleção do provedor de serviço mais adequado – dentre aqueles que disponibilizam o serviço – é fundamental para garantir que o serviço possa ser, de fato, utilizado após a sua descoberta. Critérios como a distância da rede e a capacidade do provedor são geralmente utilizados na implementação da escolha dos provedores mais adequados. Em [Varshavsky et al. 2005], é enfatizada a necessidade de um mecanismo de reavaliação do

serviço selecionado, que garanta a qualidade do serviço de descoberta oferecido, através do registro de rotinas de *callback*, para que o cliente seja notificado quando um servidor mais adequado for detectado na sua vizinhança. Mecanismos de seleção de serviços devem ser aprimorados no sentido de embutir algum nível de provisão de QoS nos protocolos de descoberta de serviços para as redes sem fio *ad hoc*.

As abordagens apresentadas até aqui, não atendem às necessidades originadas pelas grades móveis organizadas através de redes sem fio *ad hoc*, que necessitam de um mecanismo completamente descentralizado, onde cada dispositivo deve se responsabilizar pelo gerenciamento de seus serviços de forma autônoma. Isso se deve ao fato dos dispositivos sem fio e, conseqüentemente, os serviços que eles disponibilizam se deslocarem freqüentemente, alterando a topologia da rede, o que inviabiliza a manutenção das informações de serviço em um dispositivo central. Na grande maioria dos protocolos apresentados neste capítulo, os anúncios estão associados a recursos estáticos, ou seja, recursos que não apresentam flutuações na sua disponibilidade, como acontece, por exemplo, com impressoras multifuncionais, as quais estão disponíveis todo o tempo em que permanecerem ativas. A sua disponibilidade não é fracionada, como ocorre com os recursos dinâmicos, os quais estão associados aos serviços não-específicos que demandam, por exemplo, um alto consumo de processamento e energia.

Em se tratando de grades móveis *ad hoc*, a descoberta de serviços deve ser realizada, preferencialmente, sob demanda, através de consultas à vizinhança, evitando que o meio sem fio seja inundado com mensagens de divulgação periódica de informações de serviços, cujo tempo de validade deve ser reduzido, devido à instabilidade da topologia, provocada pelas altas taxas de *churn*. Nesse modelo, quando um dispositivo realiza uma requisição, os demais dispositivos o auxiliam a “espalhar” o pedido e a receber a(s) resposta(s), atuando de forma colaborativa. Além disso, de acordo com a revisão bibliográfica realizada, não há nenhum protocolo de descoberta de serviços que realize explicitamente a seleção simultânea de nós múltiplos como os provedores mais adequados de um serviço específico. Tal característica, de forma similar às técnicas de meta-escalonamento em grades fixas [Czajkowski et al. 2004], é particularmente importante em grades móveis para oferecer um ambiente de execução para aplicações de processamento intensivo.

A discussão anterior apenas reforça a necessidade de um novo protocolo de descoberta que contemple as peculiaridades das grades móveis *ad hoc*. Nesta tese, é proposto o protocolo P2PDP (*Peer-to-Peer Discovery Protocol*) com o intuito de suprir a carência de um mecanismo integrado de descoberta e seleção de recursos para as grades móveis *ad hoc* [Gomes et al. 2007; Lima et al. 2007b]. Por adotar uma abordagem reativa – baseada no envio de requisições de descoberta e de respostas a essas requisições, sob demanda, utilizando difusão por *broadcast* – o protocolo P2PDP trata os problemas de inundação [Ni et al. 1999; Tseng et al. 2003] e de implosão [Duffield et al. 1999], respectivamente das requisições e de suas respostas, comuns a esse tipo de abordagem. O protocolo P2PDP é descrito em detalhes no Capítulo 4.

### 3.4.

#### **Resumo Comparativo dos Protocolos de Descoberta de Serviços para MANETs**

Como foi mencionado na Seção 3.1, as soluções propostas para a descoberta de serviços em redes sem fio têm se concentrado em três cenários distintos: (i) as soluções projetadas para redes fixas adaptadas às redes sem fio, (ii) as soluções projetadas para as redes sem fio *ad hoc* de salto único e (iii) as soluções projetadas para as redes sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos. Na Tabela 2, a classificação apresentada na Seção 3.2 é utilizada como base de comparação entre as principais iniciativas de prover mecanismos de descoberta de serviços para as redes sem fio.

Tabela 2 – Resumo comparativo dos protocolos de descoberta de serviços para redes sem fio.

	Soluções para redes fixas adaptadas às redes sem fio				Soluções para redes sem fio <i>ad hoc</i> de salto único		Soluções para redes sem fio <i>ad hoc</i> de saltos múltiplos						
	Salutation	SLPv2	Jini	UPnP SSDP	Bluetooth SDP	DEAPspace	GSD	Allia	Konark Gossip	ORION	[Varshavsky et al. 2005]	FTA	P2PDP
<b>Arquitetura de Descoberta</b>	Diretório centralizado hierárquico ou plano	Diretório centralizado plano ou distribuído	Diretório centralizado	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído	Diretório distribuído
<b>Escopo</b>	Topologia da rede (PANs a WANs)	Topologia da rede e papéis de usuário (escopos)	Topologia da rede, papéis de usuário e contexto	Topologia da rede (PANs a WANs)	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede	Topologia da rede e contexto
<b>Descrição de Serviços</b>	Pares atributo-valor baseados em <i>templates</i> e elementos pré-definidos (unidades funcionais)	Pares atributo-valor baseados em <i>templates</i> de atributos	Descrição de pares atributo-valor utilizando linguagem de programação	Descrição em XML baseada em <i>templates</i> UPnP	Pares atributo-valor baseados em <i>templates</i> e elementos pré-definidos	Pares atributo-valor	Ontologia	Independente	Descrição em XML, com <i>templates</i> pré-definidos	Pares atributo-valor	Independente	Não tratada (considera-se o uso de ontologias)	Descrição de pares atributo-valor utilizando linguagem de programação
<b>Métodos de Busca (matching)</b>	Baseado na comparação de vários atributos	Comparação de vários atributos utilizando predicados lógicos	Dependente da linguagem de programação utilizada	Baseado na comparação de um único atributo	Baseado na comparação de vários atributos do tipo UUID	Baseado na comparação de vários atributos	Semântico	Compatível com o mecanismo de descrição adotado	Semântico e baseado na comparação de diferentes atributos	Baseado na comparação de diferentes atributos	Módulo de comparação adaptável	Não Tratado	Dependente da linguagem de programação utilizada
<b>Armazenagem da Informação de Serviço</b>	Centralizada, mantida como <i>hard state</i>	Centralizada ou distribuída não-cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Centralizada, mantida como <i>soft state</i> ( <i>leasing</i> )	Distribuída não cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa, mantida como <i>hard state</i>	Distribuída não cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Distribuída não cooperativa, mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa, mantida como <i>hard state</i> , (uso da política LRU)	Distribuída cooperativa: mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa: mantida como <i>soft state</i>	Distribuída cooperativa, mantida como <i>hard state</i>
<b>Anúncio de Serviços</b>	<i>Broadcast</i>	<i>Multicast</i>	<i>Multicast</i> e notificação por inscrição	<i>Multicast</i>	Não Tratado	<i>Broadcast</i>	<i>Broadcast</i> limitado ao diâmetro do anúncio	<i>Broadcast</i> limitado à aliança	Anúncios incrementais, através de <i>multicast</i>	Não Tratado	A difusão depende do protocolo de roteamento usado	<i>Broadcast</i> limitado pelo número de saltos	Não Tratado

Tabela 2 – Resumo comparativo dos protocolos de descoberta de serviços para redes sem fio (continuação).

	Soluções para redes fixas adaptadas às redes sem fio				Soluções para redes sem fio <i>ad hoc</i> de salto único		Soluções para redes sem fio <i>ad hoc</i> de saltos múltiplos						
	Salutation	SLPv2	Jini	UPnP SSDP	Bluetooth SDP	DEAPspace	GSD	Allia	Konark Gossip	ORION	[Varshavsky et al. 2005]	FTA	P2PDP
<b>Requisição de Serviços</b>	Requisições são enviadas ao <i>Salutation Manager</i> (SLM) via <i>unicast</i> ou através de <i>broadcast</i> quando se usa diretório distribuído	<i>User Agents</i> (UAs) enviam requisições em <i>unicast</i> para o <i>Directory Agent</i> (DA) ou através de <i>multicast</i> para os <i>Service Agents</i> (SAs)	Serviços, clientes e LUSs ( <i>LookUp Services</i> ) usam <i>multicast</i> ou fazem requisições aos LUSs via <i>unicast</i>	Requisições via <i>unicast</i> ou <i>multicast</i>	Requisições através de <i>broadcast</i>	Não Tratada	Encaminhada, em modo seletivo, com base no(s) grupo(s) do serviço	Encaminhada para as plataformas de agentes vizinhas, utilizando <i>broadcast</i> ou <i>multicast</i>	Encaminhada para o endereço de grupo do Konark ( <i>multicast</i> )	Encaminhada por <i>multicast</i> ou <i>broadcast</i>	Disseminadas através de <i>broadcast</i> (ex. DSR e AODV) ou <i>unicast</i> (ex. CBRP)	Encaminhada à instância do serviço mais próximo ou com maior gradiente do campo	Encaminhada por <i>broadcast</i> local, limitado pelo número de saltos
<b>Seleção de Serviços</b>	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Automática	Automática	Automática
<b>Invocação de Serviços</b>	Localização do serviço, mecanismo de comunicação	Localização do serviço (URLs)	Localização do serviço mecanismo de comunicação e operações	Localização do serviço, mecanismo de comunicação e operações	Localização do serviço	Não tratada	Não Tratada	Não Tratada	Localização do serviço, mecanismo de comunicação e operações específicas	Localização do serviço e mecanismo de comunicação	Não Tratada	Não Tratada	Localização do Serviço
<b>Provisão de Suporte à Mobilidade</b>	Reativa	Proativa e Reativa	Proativa e Reativa	Proativa e Reativa	Implícita	Proativa	Proativa	Proativa	Proativa e Reativa	Reativa	Proativa e Reativa	Proativa	Implícita
<b>Segurança</b>	Autenticação do usuário no RPC	Uso opcional de assinaturas digitais (autenticação)	Nível de segurança provido pela linguagem de programação (Java)	Extensões oferecem um <i>framework</i> para controle de acesso e autenticação de dispositivos	Estabelecida na fase de negociação da conexão; a comunicação pode ser criptografada no nível de enlace	Não Tratada	Não Tratada	Uso de políticas locais para definir restrições de segurança, como direito de acesso e verificação de credenciais	Não Tratada	Não Tratada	Não Tratada	Não Tratada	Não Tratada