

## 6 Avaliação de Desempenho

Um dos grandes desafios no desenvolvimento de soluções para grades móveis é a necessidade de se avaliar o desempenho destas soluções para um grande número de dispositivos sem fio que podem compor a grade móvel. Mesmo que essas soluções tenham sido validadas com uma implementação em pequena escala, é importante a sua avaliação em um ambiente de maior escala, devido à complexidade adicional introduzida pelo comportamento dinâmico de um grande número de dispositivos sem fio. Com base nestas considerações, a simulação apresenta-se como a única alternativa viável para a avaliação de desempenho em larga escala.

O objetivo deste capítulo é apresentar, em detalhes, os resultados obtidos através da simulação do protocolo de descoberta e seleção de recursos P2PDP com a utilização de diferentes cenários de simulação. Como foi mencionado nos capítulos anteriores, o P2PDP envolve a difusão de uma mensagem de requisição de descoberta para um recurso específico na grade móvel. A essa requisição, pode-se seguir um conjunto de mensagens de resposta, partindo de vários outros dispositivos na grade que possam oferecer o recurso solicitado. A idéia é que, para garantir a escalabilidade do protocolo, parte dessas mensagens de resposta possam ser suprimidas, ao longo do seu caminho de retorno, à medida que a requisição seja plenamente satisfeita por outras respostas [Gomes et al. 2007; Lima et al. 2007b].

### 6.1. Cenários de Simulação e Métricas de Avaliação

Nesta seção, são discutidos os cenários de simulação que refletem os casos de uso favoráveis e desfavoráveis do protocolo P2PDP. Dando continuidade a essa discussão, ao final desta seção são apresentados alguns fatores que influenciam o

desempenho do protocolo, o que irá auxiliar na identificação das métricas que melhor se adequam à avaliação de desempenho do protocolo proposto.

Nos cenários de simulação ilustrados pela Figura 39 e pela Figura 40, os círculos representam o alcance de transmissão dos dispositivos posicionados no seu centro. Nesses cenários, considera-se que a mensagem de requisição ( $I_{Req}$ ) é propagada para todos os dispositivos (colaboradores  $C_1$  a  $C_7$ ) e que esses dispositivos podem colaborar, enviando mensagens de resposta ( $C_{Rep}$ ), representadas pelas setas tracejadas, para o nó que originou a requisição (iniciador I), em função da sua disponibilidade de recursos. Para evitar que as figuras ficassem sobrecarregadas, foi omitida a representação da entrega de cada resposta para todos os nós no alcance de transmissão do colaborador que a originou. Por exemplo, na Figura 39, a resposta do nó  $C_2$  é recebida pelos nós I,  $C_1$  e  $C_5$ , os quais se encontram no alcance de transmissão de  $C_2$ , entretanto, apenas o caminho  $C_5 \rightarrow C_2$  foi representado.

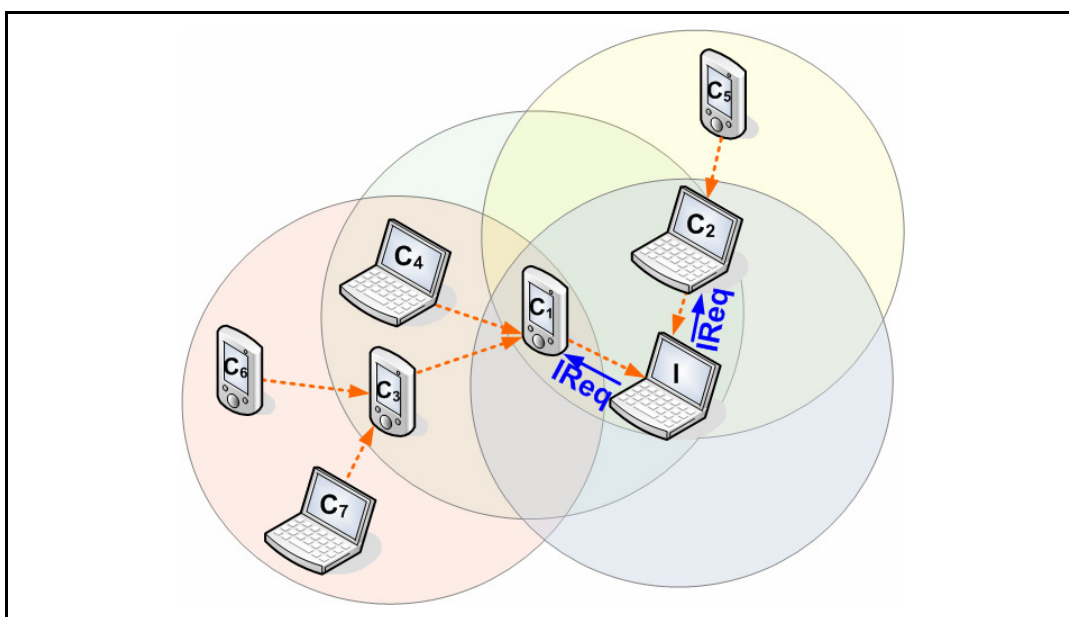


Figura 39 – P2PDP: cenário de uso favorável.

A Figura 39 ilustra um cenário de simulação favorável do protocolo P2PDP, onde os vizinhos diretos (colaboradores  $C_1$  e  $C_2$ ) do nó que originou a requisição (iniciador I) encontram-se no alcance de transmissão um do outro. Nessa situação, o mecanismo de supressão apresenta o seu melhor desempenho, pois as mensagens de resposta que chegam aos vizinhos diretos do iniciador, nós ( $C_1$  e  $C_2$ ), sobrevivendo às supressões realizadas nos nós intermediários, são escutadas

por ambos, que podem então suprimir as suas próprias respostas ou mesmo as mensagens provenientes dos outros nós da rede, caso elas sejam reconhecidas como excedentes pelo algoritmo SbV.

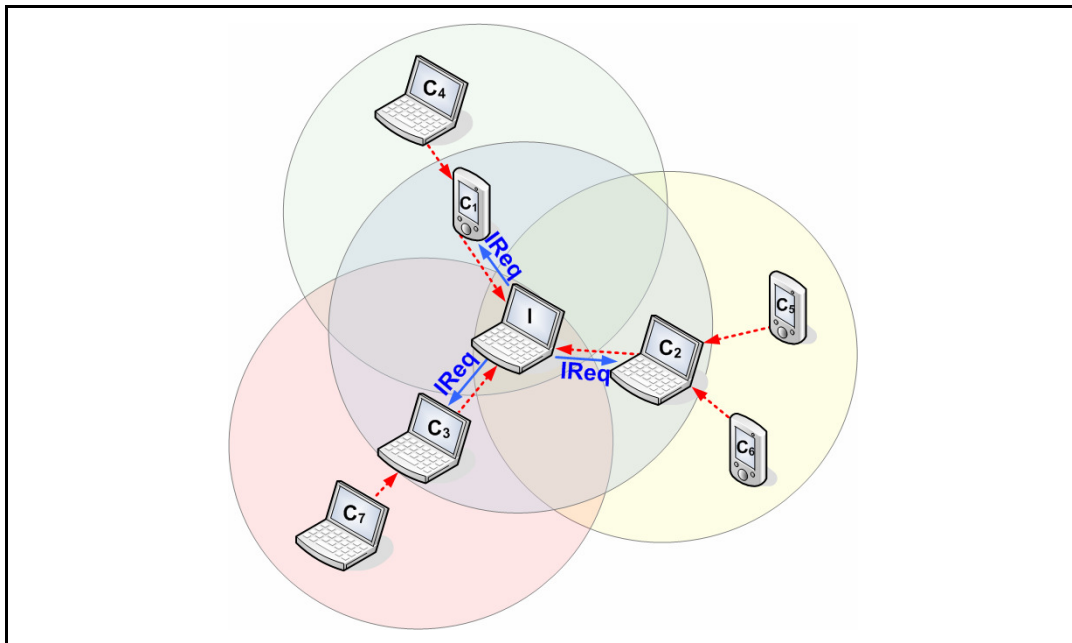


Figura 40 – P2PDP: cenário de uso desfavorável.

A Figura 40 ilustra um cenário de simulação desfavorável do protocolo P2PDP. Nesse cenário, todos os vizinhos diretos (colaboradores  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ) do nó que originou a requisição (iniciador  $I$ ) encontram-se fora do alcance de transmissão uns dos outros. Nesse caso, o mecanismo de supressão pode apresentar o seu pior desempenho, pois as mensagens de resposta que chegam a cada um desses nós ( $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$ ), não seriam “escutadas” pelos demais, o que inviabiliza a supressão de respostas entre esses nós. Nessa situação, o número de respostas recebidas pelo iniciador pode chegar, em um caso extremo, ao número de respostas solicitadas ( $numMaxReplies$ ), vezes o número de vizinhos diretos do iniciador ( $N$ ).

O desempenho do protocolo P2PDP, nos cenários de simulação apresentados, pode sofrer variações em função de parâmetros como o número de dispositivos na grade móvel, a densidade de dispositivos – parâmetro que determina o número de dispositivos na área de cobertura equivalente ao raio de transmissão –, a distância média entre os dispositivos, o percentual de dispositivos atuando no modo de colaboração ativa e o número máximo de respostas esperado.

Esses fatores influenciam o número de mensagens que trafegam pelo enlace sem fio e, conseqüentemente, a atuação do mecanismo de supressão de respostas. A seguir, são apresentadas as métricas que serão empregadas como medidas de avaliação de desempenho do protocolo P2PDP, levando em consideração a variação dos parâmetros acima mencionados:

- **Número total de transmissões.** Indica a carga média da MANET em termos do número total de mensagens de requisição e resposta do protocolo P2PDP, que varia em função do aumento do número de dispositivos na grade móvel;
- **Diâmetro de supressão.** O diâmetro de supressão das mensagens de resposta por vizinhança mede a distância – em número de saltos – dos dispositivos onde ocorrem as supressões até o dispositivo requisitante. O tamanho do diâmetro de supressão determina a distribuição do processamento gerado pelo algoritmo SbV entre os dispositivos da grade móvel;
- **Balanceamento de carga.** Essa métrica quantifica o nível de balanceamento de carga obtido, em função do mecanismo de seleção que promove uma distribuição uniforme das requisições de serviço, entre os dispositivos da rede mais aptos a atendê-las. A carga é medida em termos do percentual de CPU compartilhado por cada dispositivo da grade móvel durante o processamento das requisições.

Essas métricas foram escolhidas por representarem os requisitos definidos na Seção 1.2, que dizem respeito às características desejáveis a um protocolo de descoberta de serviços em uma grade móvel *ad hoc*, os quais são retomados na Seção 6.5. As métricas *número total de transmissões* e *diâmetro de supressão* estão relacionadas à avaliação do impacto do problema de implosões de respostas e de colisões; já a métrica *balanceamento de carga* diz respeito à avaliação da distribuição das requisições de serviço no protocolo P2PDP.

A discussão apresentada no início deste capítulo definiu a simulação como a única alternativa viável para a avaliação de desempenho do protocolo P2PDP em um ambiente de maior escala. Dadas as características do protocolo P2PDP e as medidas de desempenho que se pretende utilizar, o *ns-2* [ISI 1995] foi o simulador

escolhido. Outros aspectos que motivaram a escolha do simulador *ns-2* dizem respeito a sua utilização ser bastante difundida na comunidade científica, a grande quantidade de documentação disponível e listas de discussão ativas sobre o mesmo; a versão do simulador utilizada corresponde a 2.29.

## 6.2. Análise de Escalabilidade

O protocolo P2PDP teve a sua escalabilidade avaliada com simulações realizadas no *ns-2*, as quais foram modeladas sobre uma rede sem fio *ad hoc* de saltos múltiplos “fixa”, ou seja, sem especificar parâmetros referentes à mobilidade dos dispositivos, utilizando a camada MAC IEEE 802.11 com a sua configuração padrão. Portanto, esses experimentos correspondem a cenários com baixa mobilidade ou ausência de mobilidade. Nesses cenários, o tempo necessário para a descoberta equivale ao RTT (*round-trip time*) entre o envio da requisição e o recebimento das primeiras respostas, que correspondem as respostas de melhor qualidade, pelo nó requisitante. Uma baixa taxa de movimentação dos nós, nesse caso, garante uma relativa estabilidade da topologia da rede, de forma que o caminho seguido pelas primeiras respostas deverá ser o caminho inverso ao seguido pela requisição de descoberta.

Nos cenários apresentados, a topologia da rede sem fio foi definida como um conjunto de nós dispostos regularmente na forma de grade, como ilustrado na Figura 37 do Capítulo 5. Os *scripts* desenvolvidos para a simulação no *ns-2*, implementados em *OTcl* (*Object Tool Command Language*), reproduzem o comportamento do algoritmo SbV nas entidades de descoberta P2PDP em cada dispositivo. Esses *scripts* tiveram como objetivo avaliar os caminhos seguidos por diferentes mensagens de resposta do protocolo P2PDP e medir o grau médio de sobreposição desses caminhos. Esse parâmetro define em que altura do caminho seguido pela mensagem de resposta, entre o colaborador e o iniciador, ocorre a supressão da resposta; o grau médio de sobreposição é medido em termos do números de saltos. Essa abordagem permitiu que se medisse o nível de supressão de respostas P2PDP. Em cada *script*, é configurado o parâmetro  $N = m \times n$ , que especifica o número total de dispositivos da grade. Um segundo parâmetro de simulação,  $p$ , determina a porcentagem de colaboradores ativos, ou seja, o

percentual de dispositivos da grade que irão responder à requisição do nó requisitante, enviando uma resposta por *unicast* em sua direção. Um terceiro parâmetro,  $R$ , define quantas respostas são esperadas pelo nó requisitante. Assim, pôde ser avaliada a influência do número relativo de colaboradores ativos e respostas esperadas pelo requisitante sobre o desempenho do protocolo. Em função da topologia de grade utilizada, o uso de *unicast* na transmissão das respostas mostrou-se uma solução simples e eficiente para reproduzir o comportamento da transmissão das respostas através do caminho de retorno, sem a necessidade de se implementar o monitoramento (“escuta”) dessas mensagens pelos nós que não fazem parte do caminho. Após a definição do número de nós que atuarão como colaboradores ativos ( $p \times N$ ), é aplicada uma função que escolhe aleatoriamente a posição que esses nós irão ocupar na grade.

Um segundo *script*, em Lua [Jerusalimschy et al. 2006], é então aplicado ao resultado da simulação. Esse *script* processa (i) o arquivo textual gerado pelo *script ns-2*, que descreve a topologia em grade utilizada na simulação e (ii) o arquivo de *trace* dos pacotes da simulação no *ns-2*. A partir do processamento desses arquivos, o *script* extrai algumas informações, como o nó que corresponde ao destino final e todos os seus vizinhos diretos, os nós que correspondem às origens dos pacotes transmitidos e, por fim, o caminho, salto-a-salto, percorrido por cada pacote, reproduzido através de tuplas constituídas pelo nó-origem, nó-destino e pela identificação do pacote. Com isso, é montada uma tabela, através da qual são analisadas as supressões das mensagens de resposta ao longo da grade simulada. O objetivo de se utilizar esse *script* de pós-processamento, é identificar supressões por vizinhança em potencial e calcular quantas transmissões de pacotes e quantas supressões, por diâmetro de supressão, efetivamente ocorreriam se o algoritmo SbV fosse de fato implementado na simulação.

O motivo de se adotar um modelo em grade sem fio fixa para as simulações no *ns-2* foi gerar topologias com comportamento de encaminhamento de pacotes bem definido. Essa abordagem foi escolhida com o intuito de obter comportamentos regulares e previsíveis para assim poder efetuar uma análise mais precisa da escalabilidade do algoritmo, levando em consideração os cenários de uso do protocolo P2PDP mais e menos favoráveis descritos na Seção 6.1. A topologia adotada corresponde a uma fotografia instantânea de uma rede sem fio

com baixa taxa de movimentação, caracterizando um cenário bem específico. Esse cenário específico pode ser representado utilizando-se, por exemplo, o modelo de mobilidade RWP (*Random WayPoint*), a velocidade média de deslocamento dos nós de 2 m/s – velocidade que caracteriza o perfil de mobilidade de uma pessoa caminhando –, sem períodos de pausa entre os deslocamentos. Além disso, é necessário que se façam algumas considerações adicionais: (i) o período de tempo decorrido entre o envio de uma requisição e a recepção das respostas correspondentes transcorre em 10 s ( $\text{maxReplyDelay} = 10$ ), (ii) o alcance de transmissão de cada dispositivo é configurado para 250 m (padrão da camada MAC IEEE 802.11, implementada no *ns-2*) e (iii) as distâncias máxima e mínima entre os dispositivos vizinhos são configuradas para 200 m e 10 m, respectivamente, o que implica em um deslocamento coletivo, com os dispositivos não se afastando mais do que 200 m uns dos outros. Nesse cenário de baixa mobilidade, os nós continuarão alcançáveis com uma grande probabilidade – a menos que ocorra alguma falha com o próprio dispositivo ou no enlace sem fio, o que não foi considerado nesse exemplo. A baixa mobilidade dos dispositivos não interfere nos resultados de simulação obtidos pois a topologia da rede é mantida.

Foi realizada uma série de experimentos reproduzindo o comportamento do algoritmo SbV, considerando-se uma densidade fixa de dispositivos na MANET – usando topologias com número fixo de dispositivos em um mesmo raio de transmissão –, de modo a avaliar o efeito do aumento no número de dispositivos na MANET, sobre o mecanismo de supressão de respostas. Os resultados apresentados nesta seção correspondem às médias dos resultados coletados, em um total de cem rodadas por cenário de simulação, com um nível de confiança de 95%. Os experimentos visaram, primordialmente, a avaliação de duas métricas: o **número total de transmissões**, considerando-se a carga de mensagens de resposta na MANET, e o **diâmetro de supressão** dessas mensagens. A Tabela 6 apresenta os valores dos parâmetros de simulação usados na constituição das rodadas de simulação.

Tabela 6 – Parâmetros de simulação *ns-2*.

Parâmetro	Valores
Número de dispositivos ( $N$ )	25 a 240
Densidade de dispositivos	5 dispositivos
Distância média entre dispositivos	10 m
Percentual de dispositivos colaboradores ativos ( $p$ )	20% a 80%
Número máximo de respostas ( $R$ )	1 a 10

Na Tabela 6, o número de dispositivos ( $N$ ) varia de 25 até 240 nós, ou seja, os pares  $m \times n$  variam de  $5 \times 5$  até  $16 \times 15$ , formando uma seqüência do tipo  $\{5 \times 5, 5 \times 6, 6 \times 6, 6 \times 7 \dots 15 \times 16\}$ , com  $m$  e  $n$  variando em passos de 1. O valor de  $p$  varia no intervalo de 20% até 80% em passos de 20%, ou seja, são atribuídos a  $p$  os valores 20%, 40%, 60% e 80%, o valor de  $R$  varia de 1 a 10 em passos de 1.

### 6.2.1.

#### **Análise da Influência do P2PDP na Carga Média da MANET**

A carga média decorrente do tráfego de mensagens de resposta, foi medida calculando-se, para cada cenário, a média do *número total de transmissões* de pacotes relativos a essas mensagens. Para essa métrica, foi feita uma comparação entre dois protocolos de descoberta de serviços simples, os quais tiveram o seu comportamento reproduzido através de *scripts ns-2*, um baseado puramente em requisições por *broadcast* e respostas por *unicast* (chamado, aqui, de “*UCast*”) e o protocolo P2PDP, baseado em requisições e respostas por *broadcast*, incorporando o mecanismo SbV no encaminhamento de respostas. Em ambos os protocolos, não há o emprego de anúncios de serviços. Os gráficos das Figuras 41, 42, 43 e 44 ilustram os resultados das medições do volume de mensagens de resposta, em função do número de dispositivos na MANET, para diferentes percentuais de dispositivos respondentes; as barras verticais indicam os níveis de confiança. É possível observar, nesses gráficos, que através do mecanismo SbV obtém-se uma redução crescente no número total de transmissões, para um número crescente de dispositivos na MANET, quando comparado, nas mesmas condições, ao comportamento do protocolo *UCast*. Pode-se constatar resultados ainda mais acentuados de supressão quando se aumenta o percentual de dispositivos ( $p$ ) com interesse em colaborar na provisão de serviços.



Esses resultados indicam uma boa escalabilidade para protocolos que adotam o mecanismo SbV no tratamento de respostas, como no P2PDP.

Como esperado, a adoção do mecanismo de supressão por vizinhança reduz consideravelmente o número total de transmissões, se comparado ao protocolo *UCast*. Como é ilustrado na Tabela 7, para um número máximo de respostas ( $R$ ) igual a 10, o uso do mecanismo SbV reduz em média em até 2,77 vezes o número total de transmissões na rede; essa redução chega a 14,24 quando o número máximo de respostas ( $R$ ) é configurado para 1. Fazendo a mesma comparação em relação ao percentual de colaboradores ativos ( $p$ ), verifica-se que para  $p=20\%$  o uso do mecanismo SbV reduz em média em até 12,08 vezes o número total de transmissões na rede; essa redução chega a 24,60 quando o percentual de colaboradores ativos ( $p$ ) cresce para 80%. Através da observação direta desses resultados, constata-se que o aumento na densidade do número de colaboradores ativos ( $p$ ) influencia diretamente no aumento do volume de dados gerado na rede, em função da transmissão de respostas por *broadcast* na rede. Com a utilização do mecanismo SbV é possível verificar que quanto maior a densidade de colaboradores ativos, mais drasticamente esse volume de dados é reduzido.

Tabela 7 – Número total de transmissões de pacotes.

$p$ (%)	SbV $R=1$	SbV $R=2$	SbV $R=4$	SbV $R=6$	SbV $R=8$	SbV $R=10$	<i>UCast</i>
20	36	74	134	173	201	223	368
40	59	99	178	242	291	331	737
60	76	119	200	280	343	396	1093
80	93	135	217	308	382	439	1467

Considerando-se um cenário de grade móvel realista, o número de dispositivos pode variar da casa das dezenas – estudantes em uma sala de aula – a centenas – pessoas em um aeroporto aguardando os seus vôos ou mesmo participantes de uma conferência. De acordo com os resultados obtidos em pesquisas relacionadas à colaboração em sistemas P2P, uma parcela significativa dos usuários não contribui com recursos na comunidade. Segundo os resultados obtidos em [Saroiu et al. 2002], no Gnutella [Gnutella 2005] cerca de 25% dos dispositivos atuam exclusivamente como consumidores de recursos e serviços; no Napster [Napster 2005] esse número varia de 20% a 40%. Considerando-se a ocorrência de números similares em uma grade móvel para aplicações de compartilhamento de arquivos, infere-se que em média 72% dos dispositivos

atuarão como colaboradores ativos. Fazendo uma estimativa baseada nos resultados mostrados na Tabela 7, o uso do mecanismo SbV reduz em até 23,57 vezes o número total de transmissões na rede para  $p = 72\%$ .

Com relação ao número de dispositivos na rede ( $N$ ), é possível observar que, no mecanismo SbV, o aumento do número de transmissões acontece de forma suave, proporcionalmente ao aumento de colaboradores ativos ( $p$ ). O número total de transmissões de pacotes de dados na rede está diretamente relacionado aos valores de  $N$  e  $p$ , ou seja, quanto maior o número de colaboradores ativos ( $N \times p$ ) é natural que haja um aumento proporcional no número de respostas trafegando na rede. Ainda em relação ao mecanismo SbV, o crescimento do número de total de transmissões é controlado pela supressão de respostas desnecessárias, que são retiradas da rede antes de chegar ao seu destino. Como a supressão é feita levando-se em consideração o número máximo de respostas ( $R$ ) solicitadas na requisição de descoberta, quanto menor for o valor de  $R$  maior será o número de supressões, o que é atestado comparando-se os valores obtidos para  $R=1$  e  $R=9$  nos gráficos reproduzidos nas Figuras 41, 42, 43 e 44.

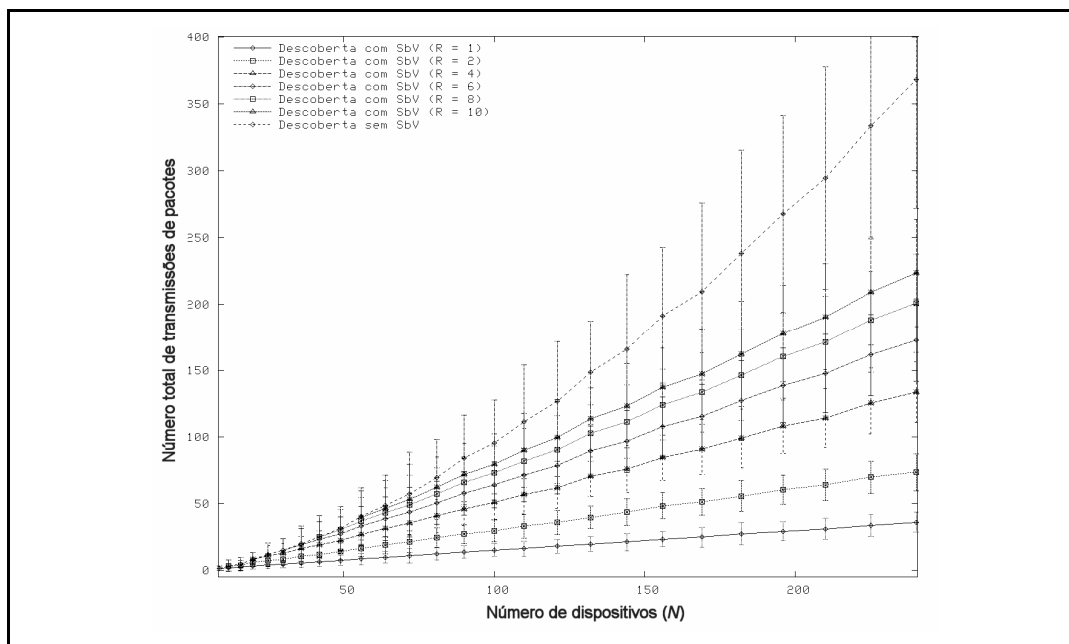


Figura 41 – Carga na MANET para 20% de colaboradores ativos ( $p$ ).

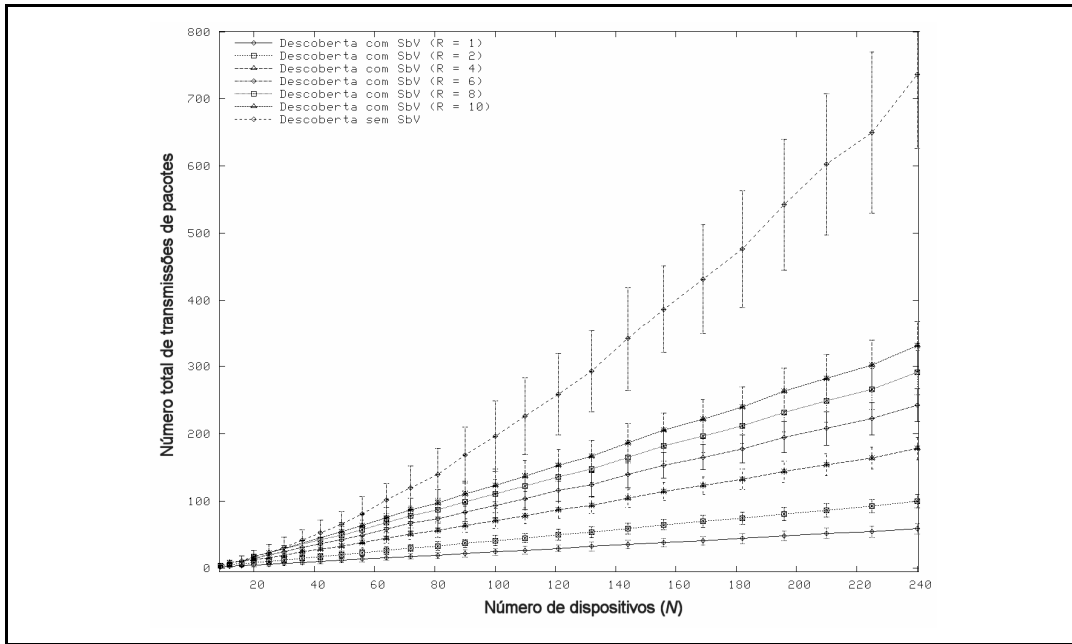


Figura 42 – Carga na MANET para 40% de colaboradores ativos ( $p$ ).

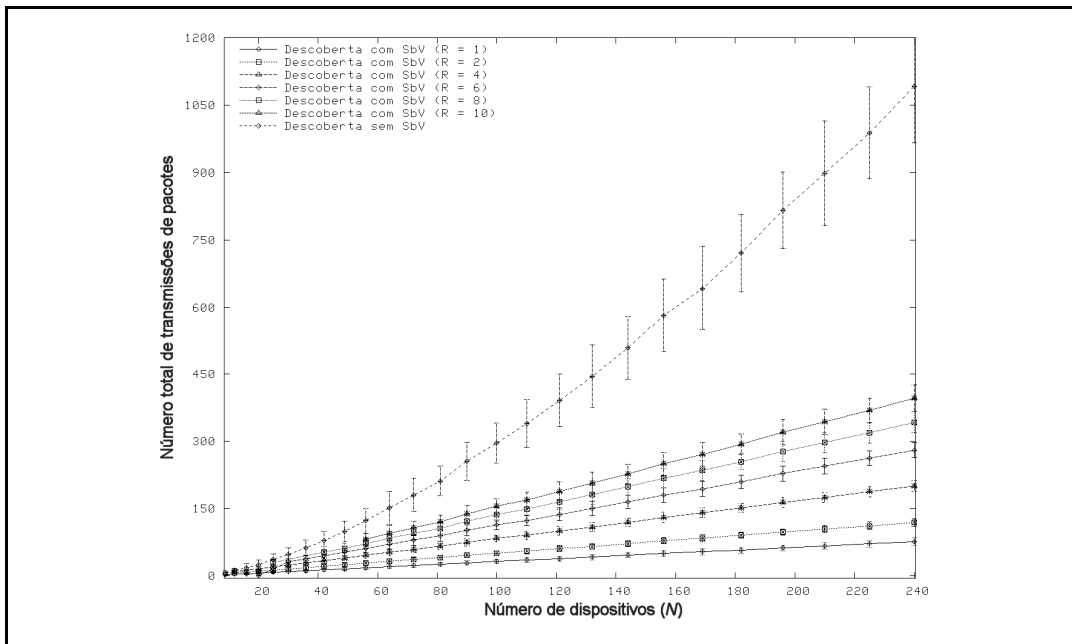


Figura 43 – Carga na MANET para 60% de colaboradores ativos ( $p$ ).

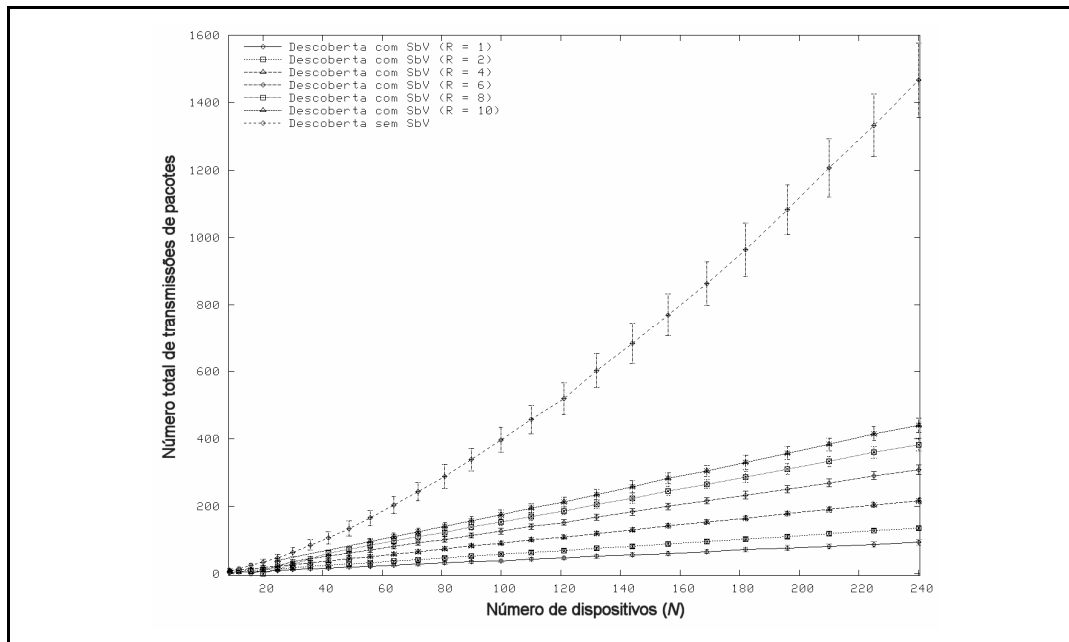


Figura 44 – Carga na MANET para 80% de colaboradores ativos ( $p$ ).

É importante ressaltar que a comparação do protocolo P2PDP com protocolos que adotam um mecanismo de descoberta baseado no encaminhamento de anúncios periódicos de serviços – quer seja exclusivamente proativa ou híbrida – não ofereceria um nível de comparação coerente. Isso se deve ao fato do protocolo P2PDP adotar uma abordagem de descoberta reativa – baseada no envio de requisições de serviço sob demanda –, tendo sido desenvolvido especificamente para oferecer suporte à descoberta de recursos dinâmicos em uma grade móvel *ad hoc*, em conformidade com os requisitos definidos na Seção 1.2. Neste trabalho, optou-se por colocar o desempenho do P2PDP sob perspectiva, comparando-o com um protocolo de descoberta de recursos reativo, baseado puramente no uso de *broadcast* para difusão das requisições e no encaminhamento das respostas em *unicast* até o nó que originou a requisição (*UCast*). Essa comparação se mostra válida tendo em vista os resultados apresentados na avaliação comparativa de desempenho dos protocolos proativos *Konark-gossip* [Lee et al. 2003] e *Allia* [Ratsimor et al. 2004] com um protocolo baseado no mecanismo de descoberta reativo. A especificação do protocolo *UCast* definida nesta tese é similar a do protocolo reativo utilizado como base de comparação nesses trabalhos.; esse protocolo será denominado genericamente como *UCast* desse ponto em diante. Os resultados obtidos mostram que o *UCast* apresenta desempenho satisfatório em comparação com as abordagens proativas. Os

gráficos apresentados em [Lee et al. 2003] mostram que o tempo de resposta do protocolo *UCast* é consideravelmente maior do que o das abordagens proativas, especialmente quando o diâmetro da requisição é configurado para menos de quatro saltos. Entretanto, o volume de tráfego gerado pelo protocolo *UCast* é bem menor do que a maioria dos protocolos reativos analisados, superando, inclusive, o protocolo que apresentou o melhor desempenho entre os proativos. No gráfico apresentado em [Lee et al. 2003], reproduzido aqui na Figura 45, a eficiência da descoberta de serviços é representada considerando como critério de avaliação o tempo de resposta da solicitação de descoberta pelo volume de tráfego de dados gerado pelas mensagens de descoberta – anúncio, requisição e resposta. Através da análise desse gráfico, pode-se observar que o protocolo *UCast* – identificado como “*broadcast*” na Figura 45 – apresentou o desempenho mais aproximado do protocolo *Konark-gossip*, que foi o que obteve a melhor avaliação. Considerando ainda a eficiência da descoberta de serviços, o protocolo *UCast* supera o desempenho do protocolo *Konark-gossip* quando o diâmetro da requisição é configurado para zero, ou seja, quando a requisição é entregue apenas aos vizinhos diretos do nó que a originou. No gráfico da Figura 45 o tempo de resposta é dado em segundos e o volume do tráfego de dados é dado em *bytes*; a legenda TTL (*Time-To-Live*) representa o número de saltos através do qual uma requisição de descoberta é encaminhada.

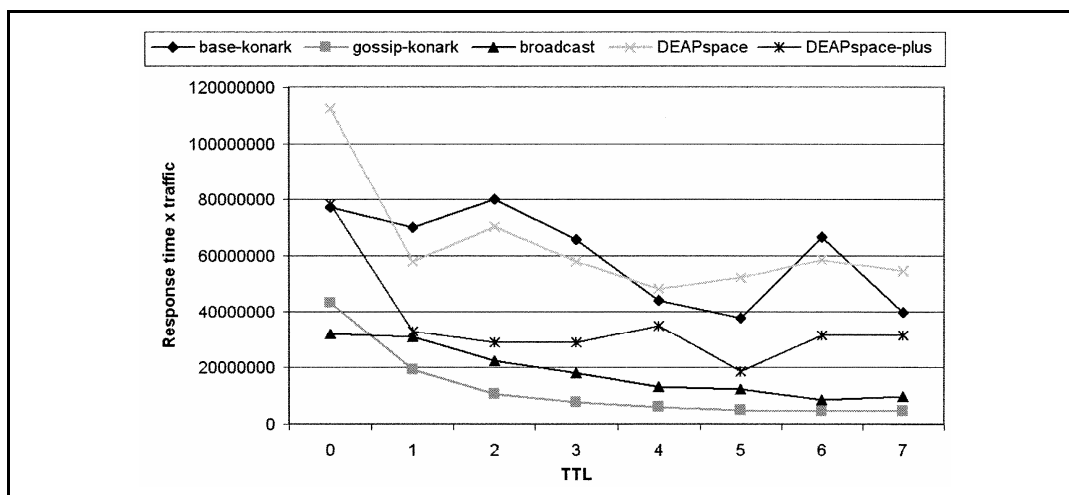


Figura 45 – Eficiência da descoberta de serviços (extraída de [Lee et al. 2003]).

Ao final dessa discussão, é possível concluir que como o uso do algoritmo SbV reduz consideravelmente o tráfego de dados gerado pelo protocolo *UCast*, o

protocolo P2PDP tem o potencial de apresentar um resultado superior, em relação a esse mesmo parâmetro, se comparado aos protocolos proativos Allia e Konark-gossip. Para a obtenção de um resultado mais preciso é necessário que, futuramente, seja realizada uma análise comparativa de desempenho do protocolo P2PDP com os protocolos proativos em questão.

### 6.2.2.

#### **Análise do Mecanismo de Supressão de Respostas do P2PDP**

O *diâmetro de supressão* das mensagens de resposta mede a distância – em número de saltos – dos dispositivos onde ocorrem as supressões até o dispositivo requisitante. Essa métrica permite avaliar a distribuição da ocorrência de supressões, nos dispositivos na MANET, propiciada pelo mecanismo SbV, graças ao não encaminhamento das mensagens de resposta excedentes na rede.

Como pode ser observado nos gráficos reproduzidos nas Figuras 46, 47 e 48, o número médio de supressões mantém uma taxa de crescimento proporcional em função do aumento do diâmetro de supressão para todos os percentuais de colaboradores ativos ( $p$ ). Por esse motivo, sem incorrer em prejuízo para a análise dos resultados relativos à métrica *diâmetro de supressão*, apenas os gráficos referentes aos valores  $p = 20\%$  e  $p = 60\%$  serão apresentados. É importante mencionar que nos gráficos reproduzidos abaixo, o número de respostas solicitadas ( $R$ ) é igual a 4, que corresponde a uma amostra representativa para os demais valores de  $R$ .

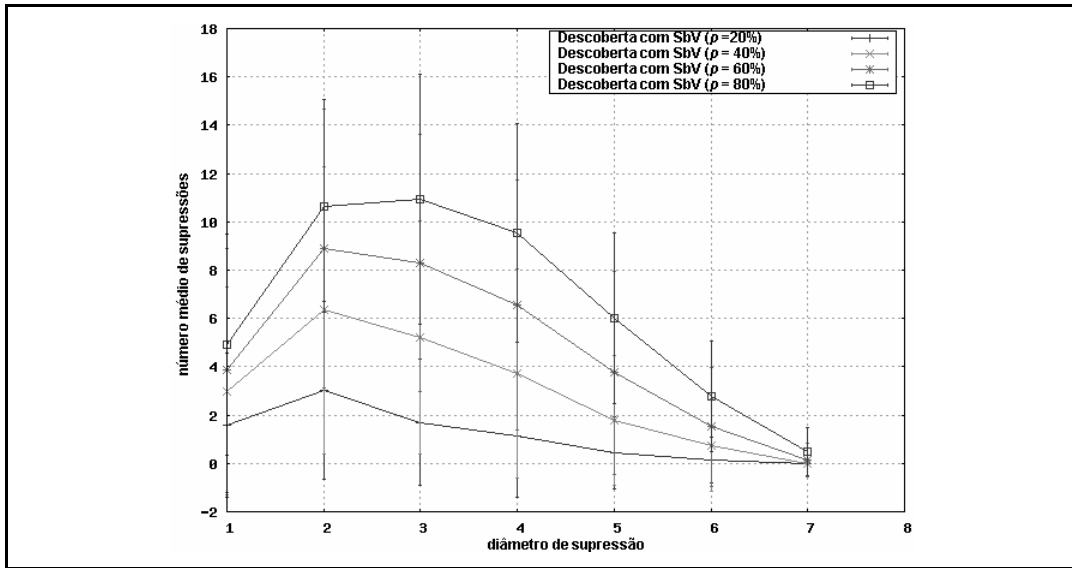


Figura 46 – Número médio de supressões para  $R=4$  e  $N=60$ .

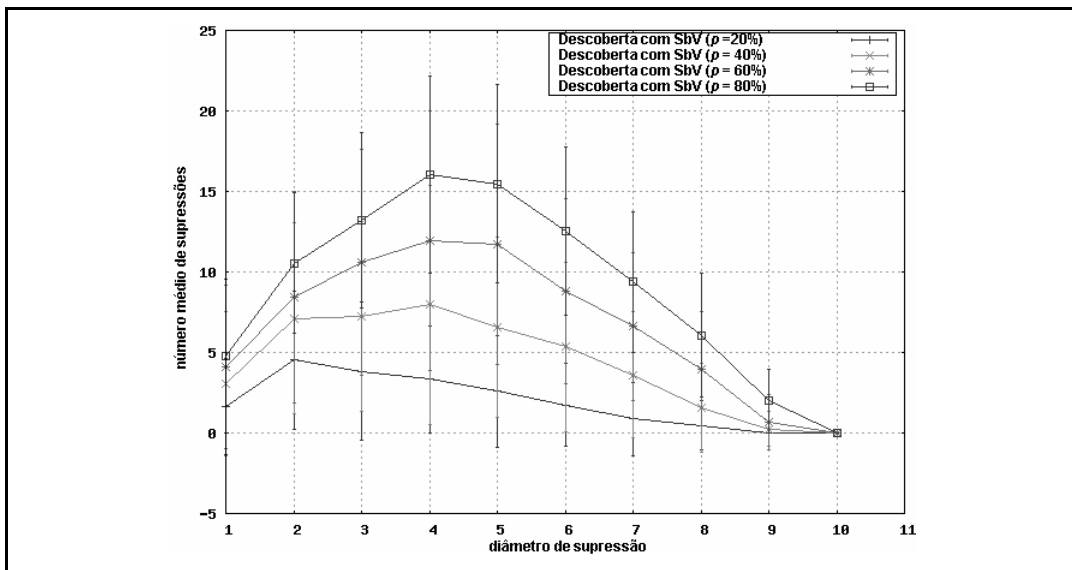


Figura 47 – Número médio de supressões para  $R=4$  e  $N=120$ .

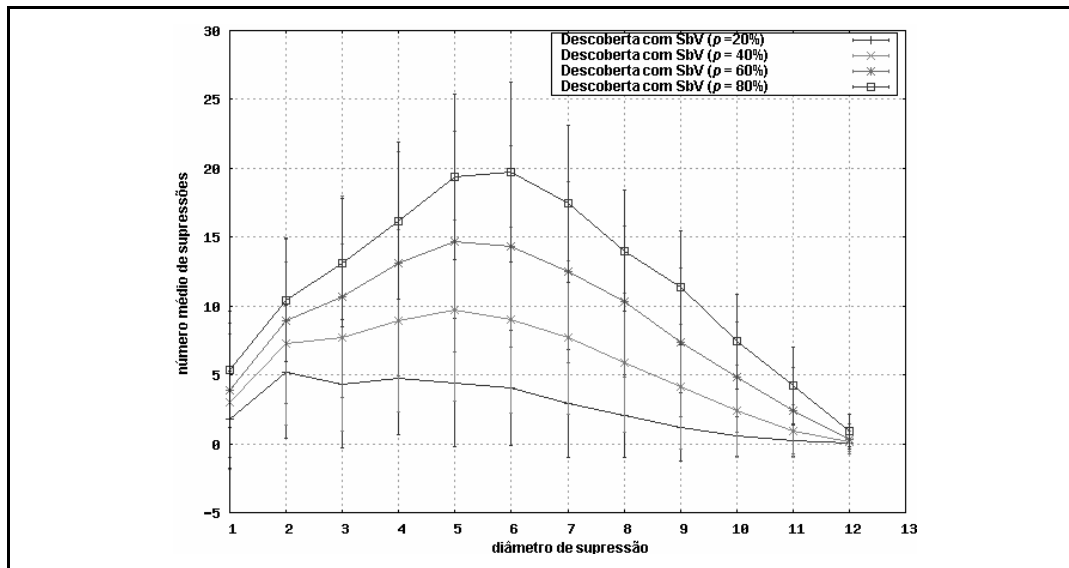


Figura 48 – Número médio de supressões para  $R=4$  e  $N=240$ .

Os gráficos reproduzidos nas Figuras 49, 50 e 51 ilustram os resultados das medições do diâmetro das supressões, para diferentes números de dispositivos e percentuais de dispositivos respondentes na MANET, sob a forma de uma distribuição cumulativa de probabilidades. Para ilustrar a distribuição das supressões pela MANET, os resultados das medições são contrastados com uma função de distribuição cumulativa uniforme (FDC), que é representada, no gráfico, pela linha contínua na diagonal. Essa abordagem se mostra como uma boa alternativa para apresentar os resultados obtidos pois permite verificar o quanto a função de distribuição relativa ao diâmetro de supressão se afasta da FDC uniforme. Quanto mais próxima a função de distribuição do diâmetro de supressão se apresenta da FDC uniforme, isso significa que, a responsabilidade pela supressão é espalhada pelos vários dispositivos da grade móvel, não provocando a sobrecarga de dispositivos específicos.

Nos gráficos apresentados, pode-se observar uma melhor distribuição das supressões com o aumento no número de dispositivos ( $N$ ) e percentuais de dispositivos respondentes ( $p$ ) na rede, o que novamente indica a escalabilidade da estratégia proposta. É possível observar também, que conforme o número de respostas esperadas ( $R$ ) aumenta, a função de distribuição do diâmetro de supressão se afasta proporcionalmente da FDC uniforme, o que é esperado, já que como o número de respostas que devem ser entregues ao iniciador aumenta é natural que a ocorrência de supressões diminua.



Tabela 8 – Número médio de supressões para  $p=20$  e  $p=60$  com  $N=60$ .

Diâmetro de Supressão	SbV R=1		SbV R=2		SbV R=4		SbV R=6		SbV R=8		SbV R=10	
	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%
1	1,50	4,00	1,50	3,90	1,60	3,91	1,44	4,00	1,00	4,16	0,75	3,90
2	1,90	5,80	2,70	7,20	3,10	8,89	2,60	9,72	2,20	10,28	1,65	10,85
3	3,10	8,70	2,80	8,20	1,69	8,32	1,20	8,08	0,84	7,48	0,50	6,40
4	2,40	7,50	1,90	8,00	1,15	6,61	0,60	4,96	0,32	4,00	0,25	2,80
5	1,90	6,40	1,40	5,10	0,49	3,82	0,24	2,40	0,16	1,44	0,10	0,85
6	1,00	3,10	0,70	3,10	0,19	1,60	0,08	0,64	0,08	0,24	0,00	0,15
7	0,50	1,80	0,10	0,60	0,04	0,22	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00

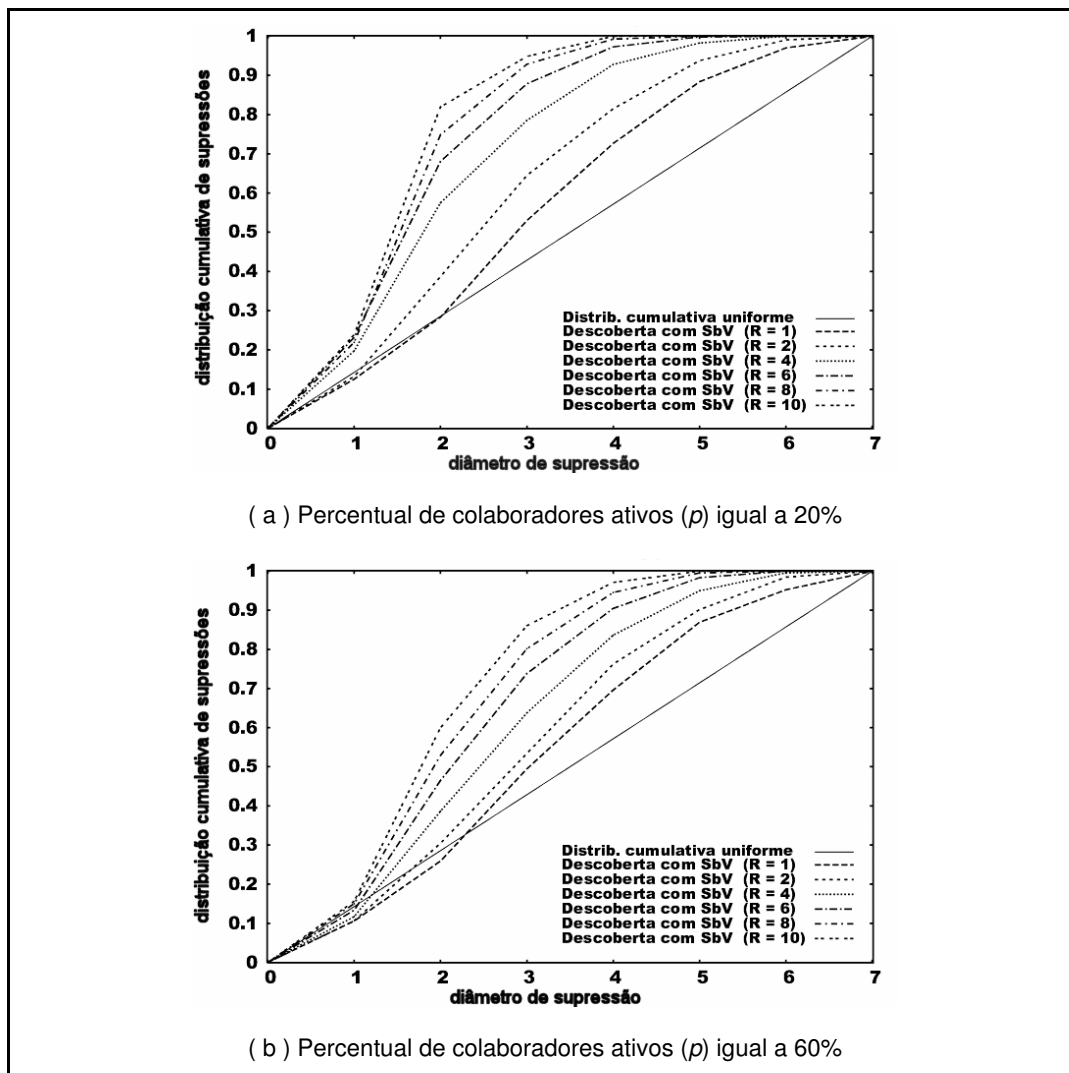


Figura 49 – Distribuição das supressões de mensagens de resposta para  $N=60$ .

Tabela 9 – Número médio de supressões para  $p=20$  e  $p=60$  com  $N=120$ .

Diâmetro de Supressão	SbV R=1		SbV R=2		SbV R=4		SbV R=6		SbV R=8		SbV R=10	
	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%	20%	60%
1	1,62	3,48	1,60	3,68	1,75	4,16	2,00	4,50	1,80	4,16	1,44	3,72
2	2,34	5,58	3,00	6,60	<b>4,60</b>	8,36	<b>5,30</b>	<b>10,85</b>	<b>5,40</b>	<b>12,52</b>	<b>5,44</b>	<b>14,28</b>
3	3,06	9,24	<b>3,72</b>	8,80	<b>3,90</b>	<b>10,48</b>	<b>3,65</b>	<b>11,00</b>	<b>3,28</b>	<b>11,64</b>	<b>2,72</b>	<b>11,60</b>
4	<b>3,78</b>	<b>9,72</b>	<b>3,76</b>	<b>12,08</b>	<b>3,45</b>	<b>11,8</b>	<b>3,05</b>	<b>12,30</b>	<b>2,20</b>	<b>11,32</b>	<b>1,48</b>	<b>10,52</b>
5	<b>4,02</b>	<b>13,14</b>	<b>3,68</b>	<b>11,60</b>	2,70	<b>11,64</b>	2,00	10,00	1,32	9,56	0,80	9,00
6	<b>3,54</b>	<b>10,00</b>	3,00	<b>10,68</b>	1,85	8,76	1,10	8,15	0,68	7,28	0,32	6,24
7	2,94	9,18	1,96	7,44	1,00	6,60	0,60	5,55	0,28	3,72	0,08	2,00
8	1,80	5,00	1,12	5,44	0,60	4,00	0,25	1,90	0,16	0,76	0,00	0,16
9	1,26	4,08	0,64	2,52	0,00	0,80	0,00	0,25	0,00	0,16	0,00	0,00
10	0,24	0,84	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

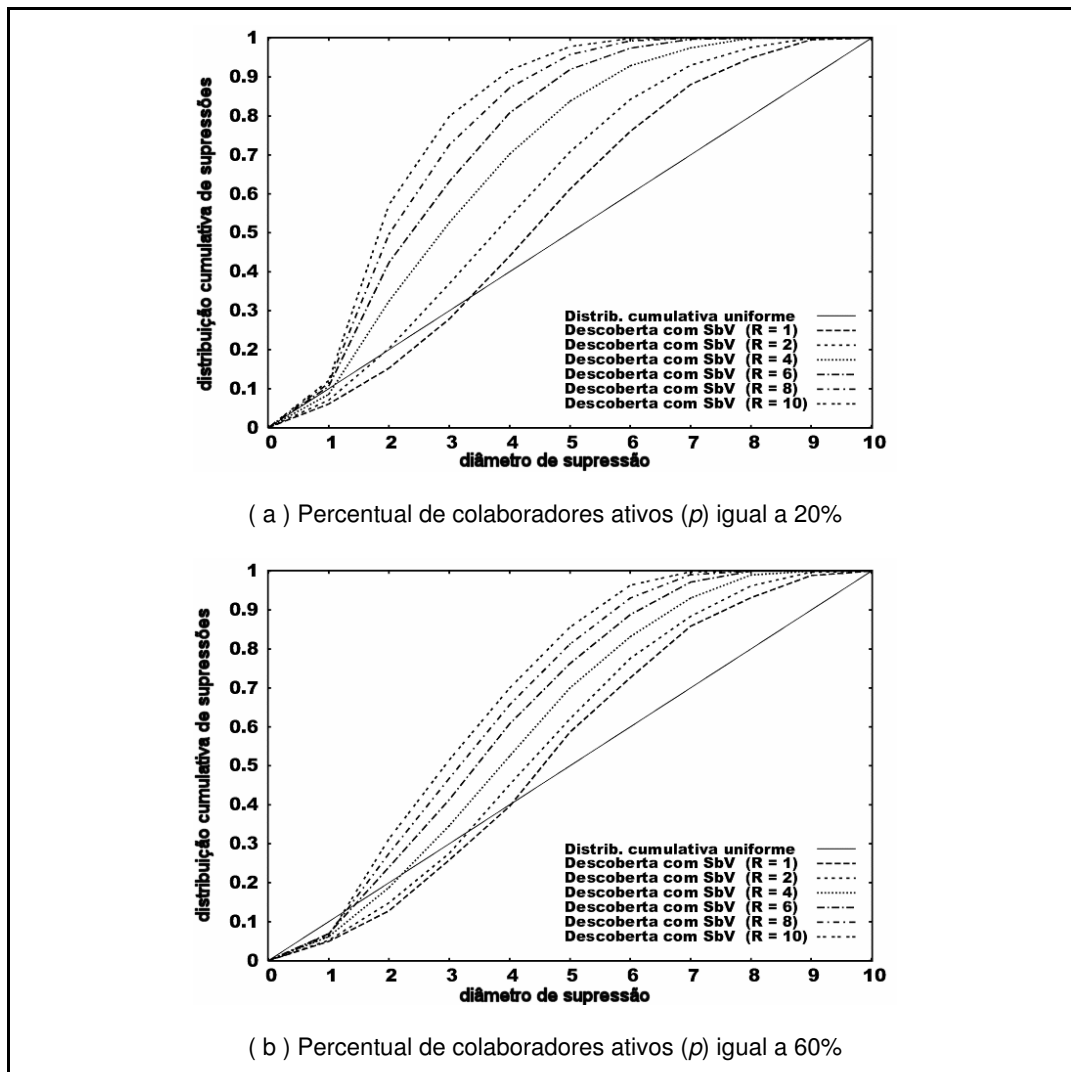
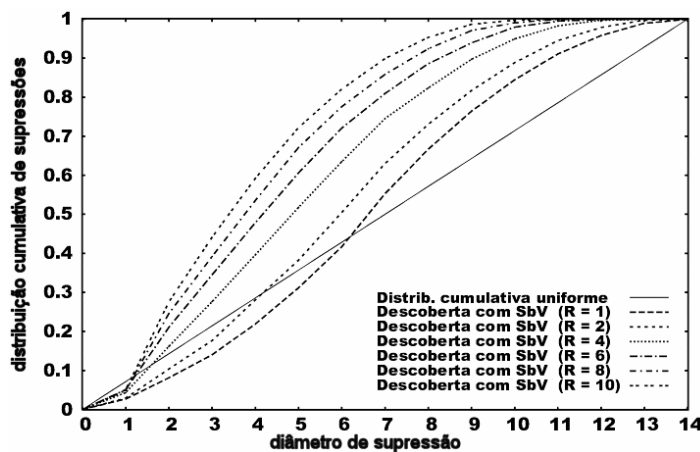


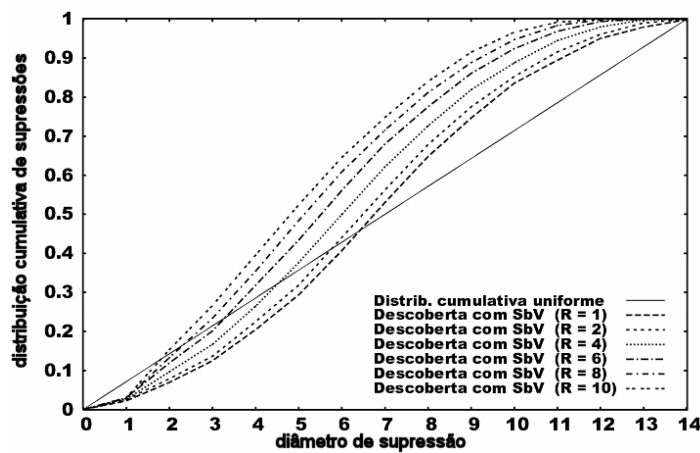
Figura 50 – Distribuição das supressões de mensagens de resposta para  $N=120$ .

Tabela 10 – Número médio de supressões para  $p=40$  e  $p=80$  com  $N=240$ .

Diâmetro de Supressão	SbV R=1		SbV R=2		SbV R=4		SbV R=6		SbV R=8		SbV R=10	
	40%	80%	40%	80%	40%	80%	40%	80%	40%	80%	40%	80%
1	1,68	2,88	1,50	3,65	1,90	4,00	2,10	4,50	2,00	4,15	2,00	3,90
2	2,40	7,20	3,35	7,25	<b>5,20</b>	8,90	<b>5,90</b>	11,00	<b>7,00</b>	13,10	<b>7,45</b>	<b>15,75</b>
3	2,96	7,36	3,90	9,00	4,40	10,55	<b>5,30</b>	12,00	<b>4,90</b>	<b>13,35</b>	<b>5,00</b>	13,60
4	4,16	12,40	<b>4,40</b>	11,7	<b>4,80</b>	<b>13,00</b>	<b>4,40</b>	<b>14,00</b>	<b>4,45</b>	<b>14,20</b>	<b>4,20</b>	<b>14,40</b>
5	<b>4,56</b>	11,92	<b>4,80</b>	<b>13,45</b>	<b>4,50</b>	<b>14,45</b>	4,15	<b>14,45</b>	3,50	<b>14,10</b>	3,15	<b>13,80</b>
6	<b>5,36</b>	<b>16,00</b>	<b>4,80</b>	<b>15,42</b>	4,10	<b>14,15</b>	3,20	<b>13,35</b>	2,40	12,70	1,80	11,50
7	<b>4,88</b>	<b>13,00</b>	4,25	<b>13,32</b>	3,00	12,40	2,15	10,70	1,75	10,25	1,30	9,95
8	3,60	<b>12,64</b>	3,25	11,34	2,15	10,25	1,35	8,90	0,85	7,70	0,55	6,80
9	3,12	8,72	2,35	11,28	1,30	7,40	0,60	6,10	0,35	4,95	0,25	3,70
10	2,64	7,84	1,60	8,46	0,70	4,85	0,30	3,40	0,20	2,05	0,20	1,10
11	1,36	4,16	0,90	6,42	0,35	2,50	0,20	0,95	0,10	0,35	0,20	0,30
12	0,88	2,80	0,40	4,02	0,20	0,45	0,10	0,15	0,00	0,15	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



( a ) Percentual de colaboradores ativos ( $p$ ) igual a 20%



( b ) Percentual de colaboradores ativos ( $p$ ) igual a 60%

Figura 51 – Distribuição das supressões de mensagens de resposta para  $N=240$ .

Através dos resultados obtidos, sumariados nas Tabelas 8, 9 e 10, podemos observar que conforme o número de respostas esperadas aumenta ( $R$ ), independentemente do número de dispositivos da rede ( $N$ ), verifica-se que a ocorrência de supressões se aproxima do dispositivo requisitante, apresentando uma frequência mais intensa nos dispositivos a uma distância de 2 a 4 saltos do iniciador. Esse comportamento é esperado pois dado que o número de respostas solicitadas aumenta, menor é a ocorrência de supressões nos dispositivos mais distantes, pois eles “escutam” um número menor de mensagens. Os dispositivos mais próximos do iniciador “escutam” mais mensagens, realizando um número maior de supressões, que ocorrem quando o número de respostas escutadas por esses dispositivos ultrapassam o número de respostas solicitadas na requisição.

### **6.2.3. Visão Geral da Análise de Escalabilidade**

Nesta seção, foram apresentados os resultados das simulações no *ns-2*, com o protocolo P2PDP, tendo, como foco, o mecanismo de supressão de mensagens de resposta por vizinhança (SbV), em uma topologia de grade sem fio fixa. Em particular, mostrou-se que o mecanismo de supressão por vizinhança, implementado no P2PDP, possibilita uma redução significativa na sobrecarga de tráfego de comunicação associado ao processo de descoberta. Além disso, o mecanismo SbV distribui a supressão de respostas entre os dispositivos da rede, reduzindo a ocorrência de supressões à medida que as respostas vão se aproximando do dispositivo requisitante. O uso do protocolo P2PDP, em conjunto com o mecanismo SbV, mostrou-se eficaz em controlar o volume de respostas recebidas pelo requisitante do serviço, sem comprometer a qualidade das respostas recebidas no protocolo P2PDP – isto é, favorecendo as respostas dos colaboradores mais aptos. É importante ressaltar que, no P2PDP, a seleção das mensagens de resposta de melhor qualidade é implementado de forma distribuída, nos nós colaboradores, através do retardo programado introduzido no envio dessas respostas. O retardo é calculado de modo a ser inversamente proporcional à qualidade das respostas, que é medida em função da disponibilidade dos recursos do dispositivo que são necessários para a provisão do serviço solicitado. Ou seja, as respostas de melhor qualidade são enviadas primeiro, favorecendo assim a supressão posterior das respostas de pior qualidade pelo mecanismo SbV,

consideradas excedentes. Pode-se observar, ainda, que o processamento adicional, gerado pelo mecanismo de supressão, é distribuído uniformemente entre os dispositivos da rede, evitando que os vizinhos diretos do dispositivo requisitante sejam sobrecarregados, promovendo um balanceamento indireto no consumo de bateria.

### 6.3. Controle da Ocorrência de Colisões

É importante ressaltar que, apesar do uso de comunicação por *broadcast* tanto no encaminhamento das requisições de descoberta quanto no encaminhamento das respostas a essas requisições, a ocorrência de colisões provocadas pelo tráfego de mensagens de descoberta do protocolo P2PDP manteve-se estável nos experimentos realizados. Esse resultado foi verificado empiricamente pela observação dos resultados obtidos nos ambientes de teste descritos na Seção 5.4. Nos ambientes de teste reais, descritos na Subseção 5.4.1, os resultados foram obtidos pela comparação entre o número de respostas solicitadas e o número de respostas que foram de fato entregues ao dispositivo que originou a requisição. Já no ambiente de teste simulado, descrito na Subseção 5.4.2, os resultados foram obtidos pela análise dos arquivos de *trace* das simulações realizadas no NCTUns. Nos primeiros experimentos com o protocolo P2PDP, foi possível verificar a ocorrência de um número considerável de colisões. A partir da utilização do parâmetro `requestDelay` (Seção 4.5) e do mecanismo de retardo programado (Seção 4.7), aplicados, respectivamente, no encaminhamento das requisições de descoberta e das mensagens de resposta a essas requisições, foi introduzido um assincronismo na transmissão das mensagens de descoberta do protocolo P2PDP. Como resultado, observou-se que o número de colisões foi reduzido consideravelmente, passando a não interferir no resultado dos experimentos realizados. Entretanto, deve-se deixar claro que, apesar da importância dos resultados obtidos empiricamente, esses resultados precisam ser investigados em mais detalhes através da realização de simulações.

Nos experimentos realizados, o retardo programado foi calculado através da Equação (2), utilizando-se o algoritmo DR. Por sua vez, o parâmetro

`requestDelay` foi configurado em cada retransmissão para um valor aleatório, em milisegundos, no intervalo [0, 30].

#### **6.4. Balanceamento de Carga**

Uma bateria de testes foi realizada com o intuito de estimar a capacidade de *balanceamento de carga* do protocolo P2PDP obtidas em função do mecanismo de seleção, que promove uma distribuição uniforme das requisições de serviço entre os dispositivos da rede mais aptos a atendê-las. Durante a execução de um serviço pode ocorrer uma redução na sua qualidade, que pode ser provocada por variações na disponibilidade dos recursos disponíveis no dispositivo executando o serviço, introduzindo tempos de resposta elevados. A implementação do balanceamento de carga no P2PDP foca na distribuição uniforme da responsabilidade de execução das tarefas da grade, o que se faz em função da disponibilidade de recursos dos nós. Ao receber uma requisição de descoberta, os dispositivos da grade apresentam níveis diferenciados de disponibilidade de recursos, o que faz com que os retardos no envio das respostas à requisição sejam configurados de forma distinta em cada nó. Esse comportamento do protocolo P2PDP oferece implicitamente um mecanismo de balanceamento de carga dinâmico, baseado na auto-avaliação da disponibilidade de recursos em cada dispositivo, e comparações com as respostas provenientes dos demais dispositivos da grade, que pode até mesmo provocar a supressão do envio da sua própria resposta.

Para ilustrar o comportamento do mecanismo de balanceamento de carga do protocolo P2PDP, considere um dispositivo atuando como iniciador e dois dispositivos ( $C_1$  e  $C_2$ ) atuando como colaboradores. O iniciador espera receber apenas uma resposta para cada requisição. Ao receber a primeira requisição, o nível de disponibilidade de recursos do colaborador  $C_1$  é superior ao de  $C_2$ , em função do mecanismo de retardo no envio das respostas, a resposta de  $C_1$  é privilegiada e esse dispositivo passa a executar o serviço. Enquanto  $C_1$  está executando o serviço, o iniciador envia uma nova requisição. Ao receber a nova requisição, os recursos disponíveis em  $C_1$  estão comprometidos com a execução da primeira requisição, nesse intervalo o colaborador  $C_2$  torna-se mais apto. Como

consequência,  $C_1$  gera um retardo de envio maior do que  $C_2$ , que tem a sua resposta privilegiada e é então encarregado de atender a segunda requisição. Essa situação se repete, o que faz com que a carga gerada pelo processamento das requisições seja distribuída uniformemente entre os colaboradores mais aptos, com os dispositivos se revezando na execução de serviços na grade móvel.

Os experimentos foram realizados em uma rede de teste constituída por três máquinas Linux e uma máquina Windows, todas executando a aplicação M3 (*Matrix-Matrix Multiplication*). Para quantificar o nível de balanceamento de carga obtido com a utilização do protocolo P2PDP, o consumo dos recursos CPU e memória foram monitorados durante as baterias de execução realizadas na rede de teste. As variações no consumo de memória durante as baterias de execução não foram significativas, por esse motivo, a análise dos resultados aqui apresentados contempla apenas o recurso CPU. Para produzir uma carga cumulativa nos nós colaboradores, foi adicionada uma espera ocupada ao código original da aplicação M3 que foi descrita na Seção 5.4. Em função dessa modificação, a aplicação processa um laço vazio de um milhão de iterações após o cálculo da matriz-linha resultado. Essa carga cumulativa foi criada para forçar os colaboradores a atingirem níveis próximos a indisponibilidade devido ao alto percentual de CPU sendo utilizada, chegando a picos de 100% de utilização. Quando um dado colaborador executa a aplicação M3 ele gera um retardo de envio de resposta bem maior em relação aos colaboradores que não estão executando a mesma aplicação, o que fará com que a sua resposta seja preterida em favor das respostas geradas pelos outros colaboradores. As requisições são geradas, pela aplicação M3, em intervalos regulares de 30 s e o tempo máximo de espera (`maxReplyDelay`), por cada resposta, é configurado para 10 s. Esses valores foram escolhidos pois o tempo de execução média de cada tarefa gerada pela aplicação M3 é de 20s e o tempo no qual o processo de descoberta deve ser concluído considerado mínimo é de 10s [Hermann et al. 2001]. Em função desses valores, espera-se no intervalo de 30s a requisição de descoberta seja respondida e a aplicação M3 executada no colaborador selecionado. Para esses experimentos foram realizadas trinta baterias de teste, com cada uma gerando trinta requisições de serviço M3. Os resultados obtidos são ilustrados através do gráfico na Figura 52.

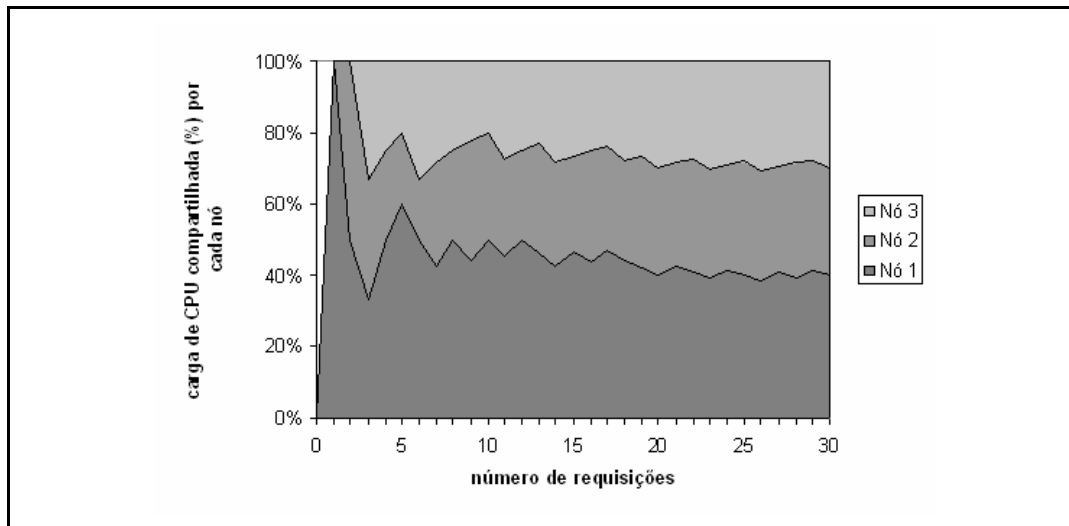


Figura 52 – Carga cumulativa do uso da CPU nos nós colaboradores.

O gráfico reproduzido na Figura 52 mostra o compartilhamento da carga de CPU para cada nó, durante um experimento específico, que reflete o comportamento obtido em todas as baterias de teste executadas. O compartilhamento de CPU diz respeito a distribuição percentual de utilização da CPU em cada um dos dispositivos durante o processamento das requisições, que inclui as etapas de descoberta e utilização de recursos. É possível observar no gráfico da Figura 52 que os nós colaboradores têm a sua carga de CPU balanceada após um estado inicial de calibragem do mecanismo de seleção que corresponde ao período em que as três primeiras requisições são atendidas; o protocolo P2PDP proporciona o balanceamento de carga, entre os nós colaboradores, a medida que o número de requisições cresce. Como era de se esperar, a utilização de CPU é distribuída de modo uniforme entre os três dispositivos colaboradores, que se alternam na execução das requisições de serviço M3. A análise dos arquivos de *log* de cada dispositivo, nos quais foram registradas as variações na disponibilidade de CPU, reforça os estudos feitos em [Bolosky et al. 2000], onde a distribuição da utilização da carga de CPU é caracterizada como bimodal, ou seja, os seus valores alternam entre períodos de utilização total e outros próximos à inatividade.



## 6.5. Visão Geral dos Resultados Obtidos

O desempenho do protocolo de descoberta P2PDP foi avaliado em cenários estáticos, utilizando-se duas estratégias distintas: simulações em uma grade sem fio fixa no *ns-2* e baterias de execução de aplicações MoGrid em uma rede de teste. Para a avaliação dos experimentos, algumas métricas foram definidas: número total de transmissões de mensagens de resposta do protocolo P2PDP, diâmetro de supressão de mensagens de resposta por vizinhança e balanceamento de carga em função do mecanismo de seleção de respostas que, conseqüentemente, privilegia as respostas dos colaboradores mais aptos. Para medir a escalabilidade do protocolo, foram gerados cenários de simulação em função da variação de diferentes parâmetros, como o número de dispositivos na rede, a densidade de dispositivos, a distância média entre os dispositivos, o alcance de transmissão, o percentual de dispositivos atuando no modo de colaboração ativa e o número máximo de respostas esperado.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, atestando a adequabilidade do protocolo P2PDP frente às exigências apontadas no Capítulo 1 como requisitos necessários a um protocolo de descoberta de recursos para grades móveis *ad hoc*, a saber: (i) reduzir o impacto do problema da implosão de mensagens de resposta a uma requisição, (ii) minimizar a ocorrência de colisões provocadas pelo aumento do tráfego de dados no enlace sem fio – em virtude da transmissão de mensagens do protocolo de descoberta – e (iii) realizar uma distribuição uniforme das requisições de serviço, promovendo um balanceamento de carga implícito através da seleção dos dispositivos mais aptos.

## 6.6. Avaliação do P2PDP na Presença de Mobilidade

Para avaliar a implementação do protocolo de descoberta P2PDP na presença de mobilidade, foram definidos cenários dinâmicos, garantindo uma topologia conexa no instante “0” da simulação.

### 6.6.1. Composição dos Cenários

Os cenários móveis foram compostos por 40 nós dispostos em uma área de  $500 \times 500 \text{ m}^2$ , onde a posição de cada nó é definida por um *script*, criado especificamente para esse propósito. O primeiro nó é inserido na coordenada central da área de simulação. O nó seguinte é inserido em uma coordenada compreendida dentro do raio de transmissão do primeiro nó. No processo de criação dos nós subseqüentes, um nó é escolhido aleatoriamente entre os nós já existentes de modo a servir como referência para o posicionamento do novo nó, esse nó é denominado “nó base”. A aleatoriedade na escolha do nó base é influenciada pelo parâmetro de seleção, que indica quantas vezes um mesmo nó pode ser escolhido como nó base. O valor desse parâmetro foi deduzido empiricamente, sendo configurado como 3, por ser esse o valor que apresentou a melhor distribuição espacial dos nós.

Um novo nó é inserido na vizinhança do nó base escolhido a uma distância compreendida entre 0,5 e 0,9 do raio de transmissão desse nó. O valor do raio de transmissão é configurado como 100 m para todos os nós. É importante destacar que com a utilização do *script* para o posicionamento inicial dos nós, o parâmetro densidade não é mais configurável, sendo determinado de forma variável em função da escolha do nó base.

A Figura 53 ilustra a topologia inicial de um dos cenários de simulação gerados para a avaliação do protocolo P2PDP.

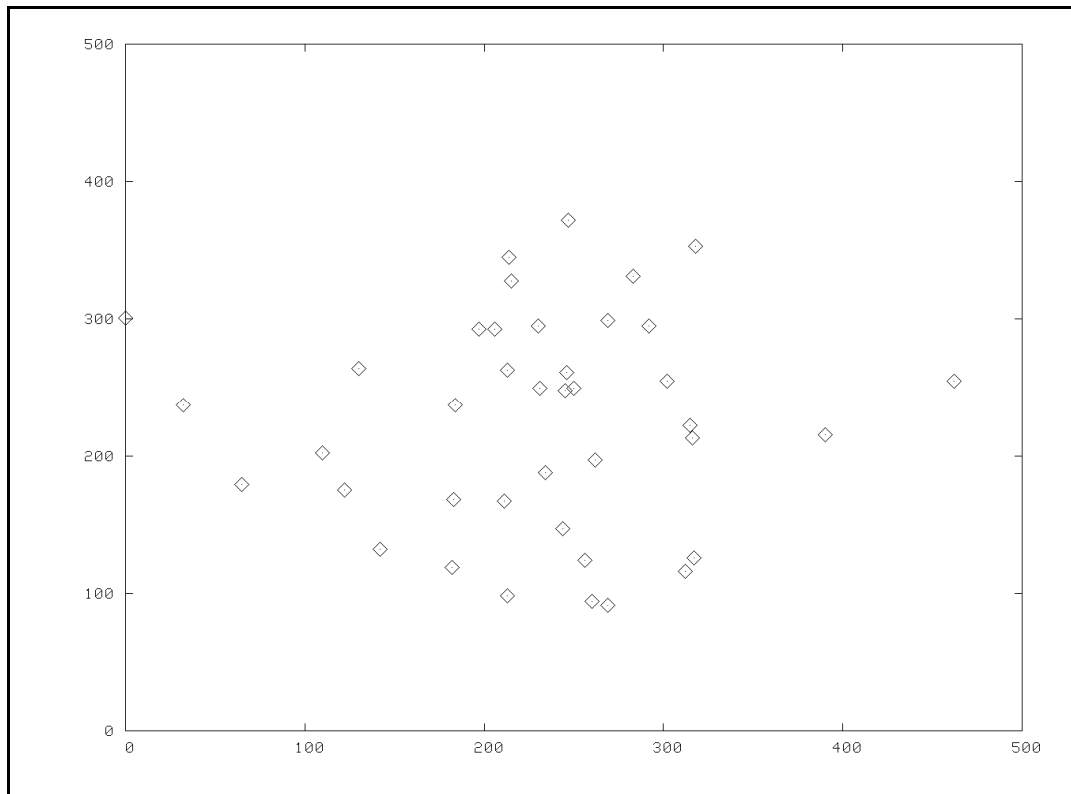


Figura 53 – Exemplo de distribuição inicial dos dispositivos em um cenário móvel.

### 6.6.2. Métrica de Avaliação

Os experimentos com mobilidade visaram, primordialmente, a avaliação da métrica *eficiência da descoberta*, que consiste no percentual de vezes, em cada rodada, em que o iniciador obteve exatamente o número desejado de respostas à requisição de descoberta. Esses resultados foram obtidos utilizando-se proporção amostral. A Tabela 11 apresenta os valores dos parâmetros de simulação usados na constituição das rodadas.

Tabela 11 – Parâmetros de simulação dos cenários com mobilidade.

Parâmetro	Valores
Número de dispositivos ( $N$ )	40
Distância média inicial entre dispositivos	50 m ou 90 m
Alcance da transmissão	100 m
Velocidade de deslocamento	0 m/s a 8 m/s
Pausa entre deslocamentos	0 s
Percentual de dispositivos colaboradores ativos ( $p$ )	25%
Número de requisições	1
Número máximo de respostas ( $R$ )	4

Para avaliar a eficiência da descoberta utilizando-se o protocolo P2PDP em cenários que contemplam a mobilidade, a aplicação M3 (vide Seção 5.4) foi utilizada, sendo executada no simulador NCTUns, de modo similar ao que foi descrito na Subseção 5.4.2. Nos cenários de simulação, os dispositivos se deslocam de acordo com o modelo de mobilidade RWP (*Random WayPoint*), assumindo velocidades uniformes no intervalo de [0, 8] m/s, variando em passos de 1, sem pausas entre os deslocamentos. Cada cenário de simulação foi executado em cem rodadas, totalizando novecentas execuções. Em cada rodada um único iniciador foi criado, com 25% dos dispositivos móveis atuando como colaboradores ativos, ou seja, aptos a responder à requisição de descoberta. Esse percentual foi escolhido pois, segundo estudos realizados com redes P2P – as quais, de forma similar às grades móveis, baseiam-se no conceito de colaboração através do compartilhamento de recursos –, apesar de cerca de 75% dos dispositivos atuarem como colaboradores ativos, apenas 25% dos dispositivos são responsáveis por responder a 98% das requisições de descoberta [Hughes et al. 2005].

### 6.6.3. Resultados Obtidos

Os resultados apresentados nesta seção correspondem a proporção amostral dos resultados coletados, em um total de cem rodadas por cenário de simulação, com um nível de confiança de 95%. Em nossas simulações, apenas um dispositivo atuava como iniciador, efetuando uma única requisição de serviço em cada rodada. A Tabela 12 ilustra os resultados obtidos considerando-se a métrica eficiência da descoberta.

Tabela 12 – Eficiência da descoberta em função da velocidade de deslocamento.

Velocidade	Eficiência da descoberta (%)	Intervalo de confiança (%)
0	92	± 4,13
1	79	± 7,98
2	58	± 9,67
3	44	± 9,73
4	31	± 9,06
5	24	± 8,37
6	28	± 8,80
7	26	± 8,60
8	15	± 7,00

Com relação aos resultados obtidos, de uma forma geral, é verificada uma redução da eficiência do protocolo de descoberta inversamente proporcional ao aumento da velocidade de deslocamento dos dispositivos. O protocolo P2PDP apresenta um bom desempenho para as velocidades de 0, 1 e 2 m/s, podendo ainda ser utilizado com as velocidades de 3 e 4 m/s. Com o aumento da velocidade de deslocamento dos dispositivos, a eficiência do protocolo é consideravelmente prejudicada. É possível observar um comportamento estatisticamente equivalente do protocolo P2PDP para as velocidades de 5, 6 e 7 m/s, onde o resultado se estabiliza em aproximadamente 20-30%, apresentando uma queda mais acentuada na eficiência da descoberta a partir da velocidade de 8 m/s. Uma hipótese possível é a de que esse comportamento ocorra em função da área utilizada pelos cenários de simulação (500 x 500 m<sup>2</sup>). Em uma área restrita, como a utilizada nesses experimentos, mesmo com o deslocamento contínuo dos dispositivos, é esperado que a partir de uma dada velocidade, ao encontrar um obstáculo, os dispositivos sigam o caminho oposto, o que faz com que eles se cruzem com uma frequência maior do que o esperado, apresentando um comportamento semelhante. Em uma área maior, os dispositivos tendem a se distanciar mais uns dos outros. Entretanto, para se fazer qualquer afirmação nesse sentido é necessário a realização de novas rodadas de simulação variando a área utilizada.

O gráfico reproduzido na Figura 54 ilustra os resultados apresentados na Tabela 12. É importante destacar que o protocolo P2PDP foi concebido tendo como foco a mobilidade humana. Considerando a eficiência do protocolo de descoberta P2PDP, a sua utilização é recomendada para o perfil de mobilidade que se enquadra no intervalo entre as velocidades de [1, 4] m/s, cujos extremos caracterizam, respectivamente, uma pessoa caminhando lentamente e uma pessoa correndo.

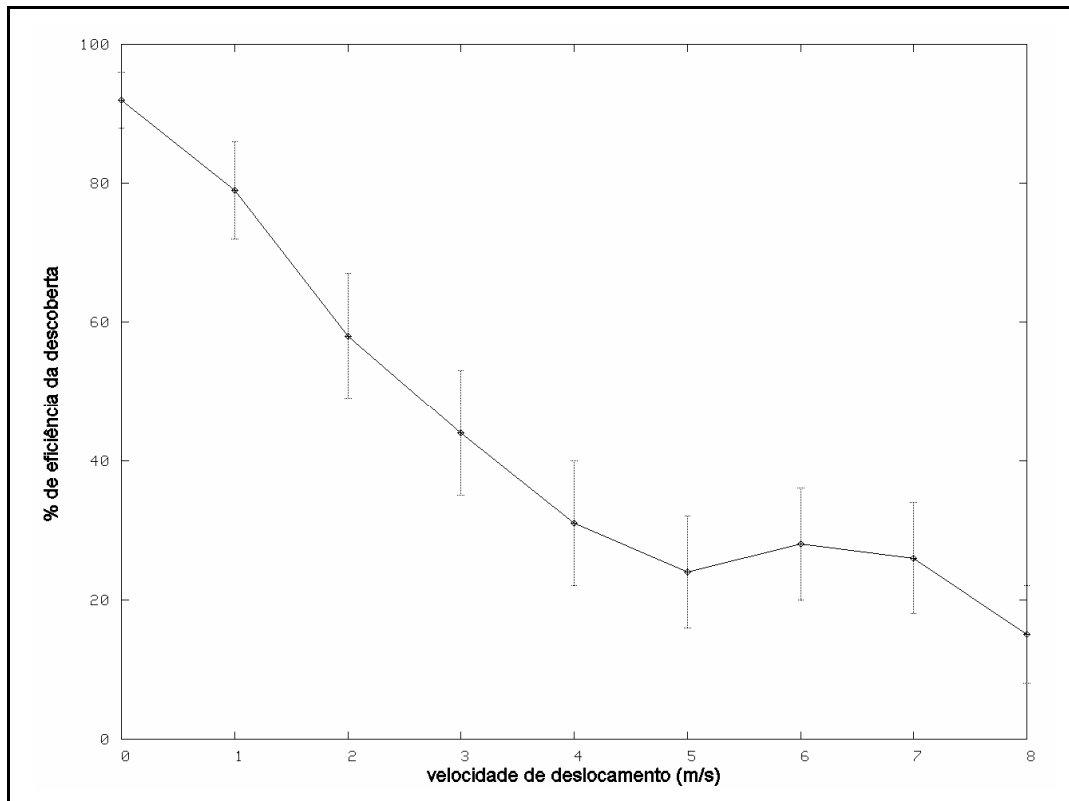


Figura 54 – Eficiência da descoberta: percentual de respostas recebidas em função do número de respostas solicitadas.

Como se pode observar, para a velocidade de 0 m/s, ou seja, em cenários estáticos, o protocolo P2PDP não apresenta um percentual de eficiência da descoberta de 100%, isso se deve a fatores como a ocorrência de colisões, o retardo máximo tolerado na recepção das mensagens de resposta e a forma como os dispositivos estão distribuídos. Dependendo do nível de dispersão dos dispositivos, é normal que, em alguns casos, o posicionamento do iniciador no cenário de teste, que é definido de forma aleatória, influencie de forma negativa os resultados obtidos. Caso o iniciador se posicione em algum extremo da área utilizada na simulação ( $500 \times 500 \text{ m}^2$ ), é possível que o tempo máximo de espera por respostas definido na requisição de serviço não seja atendido pelos colaboradores que se encontram nos extremos opostos da área de simulação, o que provocaria o descarte das mensagens desses colaboradores por atraso.