

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**IMPACTO DA MOBILIDADE NO
ESCOAMENTO DE TRÁFEGO D2D VIA
LEILÕES RECURSIVOS E ESTRATÉGIA DO APERTO**

Marina Maia Herejk

Brasília, Julho de 2016

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**IMPACTO DA MOBILIDADE NO
ESCOAMENTO DE TRÁFEGO D2D VIA
LEILÕES RECURSIVOS E ESTRATÉGIA DO APERTO**

Marina Maia Herejk

*Relatório submetido ao Departamento de Engenharia
Elétrica como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Redes de Comunicação*

Banca Examinadora

Prof. Marcelo Menezes de Carvalho, ENE/UnB _____
Orientador

Prof. Paulo Lira Gondim, ENE/UnB _____
Examinador interno

Prof. Marcos Fagundes Caetano, CIC/UnB _____
Examinador interno

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter permitido que eu chegasse até aqui. Sem sua bondade e ajuda, certamente nada disso teria sido possível. Agradeço também aos meus pais, Jorge e Lucia, que sempre me apoiaram e me ensinaram a importância dos estudos. Agradeço aos professores da Universidade que compartilharam de alguma forma o seu conhecimento e experiência. Também, ao meu orientador Marcelo, por sempre ser tão prestativo e paciente ao me guiar neste trabalho, se tornando uma das minhas referências na Universidade, pela sua dedicação e esforço e, principalmente, pelos seus valores. Agradeço ao Lucas, autor da implementação no simulador utilizado, por toda a ajuda. A sua ajuda foi fundamental para que este trabalho acontecesse. Agradeço aos meus colegas de curso e amigos que encontrei na Universidade e também no intercâmbio, Erick, Ludimila, Thayane e Vívian. Eles, de uma forma ou de outra, me ajudaram e tornaram esta caminhada mais fácil e, mesmo de longe, se fizeram presentes e me apoiaram.

Marina Maia Herejk

RESUMO

Diante do crescimento exponencial do tráfego de dados móveis visto hoje, o escoamento de tráfego tem se mostrado como uma alternativa para aliviar a sobrecarga da rede das operadoras celulares. Assim, vários estudos têm sido realizados em busca de novas técnicas para o escoamento destes dados. Uma dessas técnicas envolve o uso de dispositivos móveis dos usuários como parte da infraestrutura, que participam ativamente no encaminhamento de pacotes, através de redes dispositivo-a-dispositivo. Para que exista essa colaboração entre operadoras e usuários, é necessário que haja vantagens para ambas as partes. Pensando nisto, foi proposta uma estratégia para leilões recursivos, onde, para cada pacote que é escoado pela infraestrutura da rede *Ad Hoc*, é associado um valor de recompensa, de forma que, se o pacote for entregue com sucesso ao seu destino final, dentro do prazo estipulado, todos os nós que participaram do seu encaminhamento receberão uma recompensa.

A estratégia avaliada neste trabalho, nomeada Estratégia do Aperto, foi desenvolvida durante a competição MANIAC Challenge em 2013. De maneira breve, esta estratégia define o modo como os nós na rede anunciam seus leilões, ou seja, qual a penalidade e a recompensa que os nós subjacentes receberão pela entrega ou perda de um pacote, como são gerados os lances em leilões que participam e como escolhem os vencedores dos leilões anunciados. Sabendo que a análise de desempenho de novos protocolos através de simulações é importante, principalmente em redes móveis, este trabalho busca fazer, então, a análise do impacto da mobilidade sobre a Estratégia do Aperto, via emulador de rede de eventos discretos, o NS-3. Foram feitas simulações usando diferentes modelos de mobilidades do simulador, dentre elas o modelo de mobilidade *Gauss-Markov*, *Random WayPoint* e o modelo *Random Walk2D* e além de outros parâmetros para avaliar como a mobilidade dos nós afeta o desempenho de redes dispositivo-a-dispositivo D2D que implementam esta estratégia.

ABSTRACT

Given the exponential growing traffic seen currently, traffic offloading has appeared as an alternative to alleviate the infrastructure of network operators. Thus, many studies have been made on new techniques for data offloading. One of these techniques involves the use of mobile devices which participate actively in the forwarding of packets in the network device-to-device (D2D), through D2D networks. In order to achieve some cooperation and operators, it is necessary to exist some advantage for both sides. Thinking about this, it was proposed a strategy for recursive auctions, where, for each packet that is offloaded to the Ad Hoc network, a budget is associated, so that, if the packet is successfully delivered to its final destination, within the stipulated deadline, every node who participated in the forwarding will receive this budget.

The strategy evaluated in this work, named Tightness Strategy, was developed during the challenge MANIAC, in 2013. Briefly, this strategy defines how all nodes in a network announce their auctions, i.e., the fine and budgets associated to its packets, when a packet is delivered or not, within the stipulated deadline, how these nodes make a bid, when it hears an auction announce and finally how they choose a winner for its auction. Knowing that performance analysis of new protocols through simulations is important, mostly in mobile networks, this work seeks to evaluate the impact of mobility on the Tightness Strategy using a discret-event network simulator, the simulator NS-3. Simulations were made using different mobility models available in the simulator, such as Gauss-Markov, Random WayPoint and Random Walk2D. In addition, a number of mobility, besides other parameters that were used to evaluate in others ways how the mobility and its nature can affect the network performance.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	4
1.2	CONTRIBUIÇÕES	4
1.3	ESTRUTURA DA MONOGRAFIA	4
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1	MOBILIDADE EM REDES <i>Ad Hoc</i>	6
2.2	ESCOAMENTO DE DADOS MÓVEIS	6
2.2.1	ESCOAMENTO DE DADOS VIA WI-FI	7
2.2.2	ESCOAMENTO VIA COMUNICAÇÃO D2D	7
2.3	OLSR NA “ESTRATÉGIA DO APERTO”	9
2.3.1	ALGORITMOS DE VETOR DE DISTÂNCIA E DE ESTADO DE ENLACE	9
2.3.2	PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO PROATIVOS E REATIVOS	9
2.3.3	VISÃO GERAL DO OLSR	10
2.3.4	SENSORIAMENTO DOS NÓS VIZINHOS	10
2.3.5	DIVULGAÇÃO DOS NÓS <i>MPRs</i>	12
2.3.6	CÁLCULO DA TABELA DE ROTEAMENTO	12
2.4	MODELOS DE MOBILIDADE	13
2.4.1	MODELO DE MOBILIDADE <i>Random Walk2D</i>	13
2.4.2	MODELO DE MOBILIDADE <i>Random WayPoint</i>	14
2.4.3	MODELO DE MOBILIDADE <i>Gauss-Markov</i>	15
3	LEILÕES RECURSIVOS EM REDES D2D	18
3.1	ESTRATÉGIA DO APERTO	22
3.1.1	ESTRATÉGIAS DE LANCES	24
3.1.2	ESTRATÉGIA PARA DEFINIÇÃO DO ORÇAMENTO E MULTA	26
3.1.3	ESTRATÉGIA PARA DEFINIR O VENCEDOR DE UM LEILÃO	27
4	ESCOAMENTO DE TRÁFEGO VIA REDES <i>Ad Hoc</i>	29
4.1	O SIMULADOR NS-3	29
4.2	CENÁRIO DE SIMULAÇÃO	30
4.2.1	CAMADA FÍSICA	30
4.2.2	CAMADA DE ENLACE	30

4.2.3	CAMADA DE REDE.....	31
4.3	DESCRIÇÃO DO CENÁRIO.....	31
5	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO	36
5.1	MEDIDAS DE DESEMPENHO	36
5.2	MODELO DE MOBILIDADE <i>Gauss-Markov</i>	37
5.3	MODELO DE MOBILIDADE <i>Random WayPoint</i>	39
5.4	COMPARAÇÃO DOS MODELOS DE MOBILIDADE	41
6	CONCLUSÕES	51
6.1	TRABALHOS FUTUROS	52

LISTA DE FIGURAS

1.1	Previsão de crescimento de tráfego, para o período de 2015 a 2020, de acordo com a Cisco [1].	1
1.2	Previsão de crescimento do número de dispositivos para o período de 2015 a 2020, de acordo com a Cisco [1].	2
2.1	Duas principais abordagens para escoamento de dados móveis, comparadas ao sistema tradicional (a). Escoamento através de APs (b). Escoamento através de transmissões D2D (c).	8
2.2	Principais etapas do funcionamento do OLSR	11
2.3	Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade <i>Random Walk</i> [11].	13
2.4	Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade <i>Random Way-Point</i> . [11]	15
2.5	Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade Gauss-Markov [11].	16
3.1	Escoamento de dados através de comunicações D2D e leilões recursivos [2].	19
3.2	Exemplo de um AP que leiloa um pacote, para que seja entregue a um outro AP de destino.	21
3.3	Exemplo de dispositivos oferecendo lances em resposta ao anúncio de um leilão.	21
3.4	Exemplo de um pacote sendo entregue a um dispositivo após ser escolhido o vencedor de um leilão.	22
3.5	Exemplo de um dispositivo que anuncia um leilão para um dado pacote, após vencer um leilão e ganhar o direito de transmitir este pacote.	22
3.6	Exemplo de curvas de lances $O(cn)$ para diferentes valores de a_n , quando $B_u = 200$ e $F_u = 80$. [2].	26
3.7	Exemplo de função de preferência para os valores $B_n = 20$, $c_{max} = 3$, $k_1 = 2$, e $k_2 = 3$ [2].	28
4.1	Exemplo de uma topologia aleatória usada nas simulações. As linhas verdes indicam a conectividade entre os nós, baseado no alcance de transmissão. Para cada nó da topologia é atribuído um número. Os nós que se encontram na borda, constituem a infraestrutura de <i>backbone</i> e estão numerados de 1 a 32. O restante dos nós constituem a rede D2D e estão numerados de 33 a 132. [2]	32

5.1	Taxa de entrega de pacotes para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .	38
5.2	Trajectoria de um nó segundo o modelo de mobilidade <i>Gauss-Markov</i> (a) com $\alpha = 1$, (b) com $\alpha = 0$.	39
5.3	Valor médio de saltos por pacote para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .	40
5.4	Índice de Justiça para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .	41
5.5	Lucro médio relativo por nó para cada valor de α , para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.	42
5.6	Lucro médio relativo por nó para diferentes tempos de pausa, com o modelo <i>Random WayPoint</i> e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.	43
5.7	Taxa de entrega de pacotes para diferentes tempos de pausa, com o modelo <i>Random WayPoint</i> e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.	44
5.8	Índice de Justiça de Jain para diferentes tempos de pausa, com o modelo <i>Random WayPoint</i> e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 metro por segundo.	45
5.9	Valor médio de saltos por pacote para diferentes tempos de pausa, com o modelo <i>Random WayPoint</i> e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.	46
5.10	Lucro médio relativo por nó para os diferentes modelos de mobilidade.	47
5.11	Taxa de entrega de pacotes para os diferentes modelos de mobilidade.	48
5.12	Valor médio de saltos por pacote para os diferentes modelos de mobilidade.	49
5.13	Índice de Justiça de Jain para os diferentes modelos de mobilidade.	50

LISTA DE TABELAS

4.1	Valores dos parâmetros utilizados na camada PHY do NS-3	31
4.2	Valores dos parâmetros utilizados no modelo de mobilidade Gauss-Markov	33

LISTA DE ABREVIATURAS

Acrônimos

AP	Access Point
D2D	Device-to-device
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
HSPA	High Speed Packet Access
LTE	Longe Term Evolution
MANET	Mobile Ad hoc Network
MANIAC	Mobile Ad Hoc Networking Interoperability and Cooperation
MPR	Multipoint Relay
OLSR	Optimized Link State Routing
RIP	Routing Information Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
WIFI	Wireless fidelity

Capítulo 1

Introdução

Uma das últimas previsões divulgadas recentemente pela indústria [1] constatou que o tráfego de dados irá ultrapassar a casa dos *zettabyte* (ZB; 1000 *exabytes*) em 2016, com previsões de atingir o valor de 2,3 ZB até 2020, isto é, cerca de 2,5 vezes o tráfego do ano de 2016. A Figura 1.1 mostra a previsão feita [1], para os próximos cinco anos.

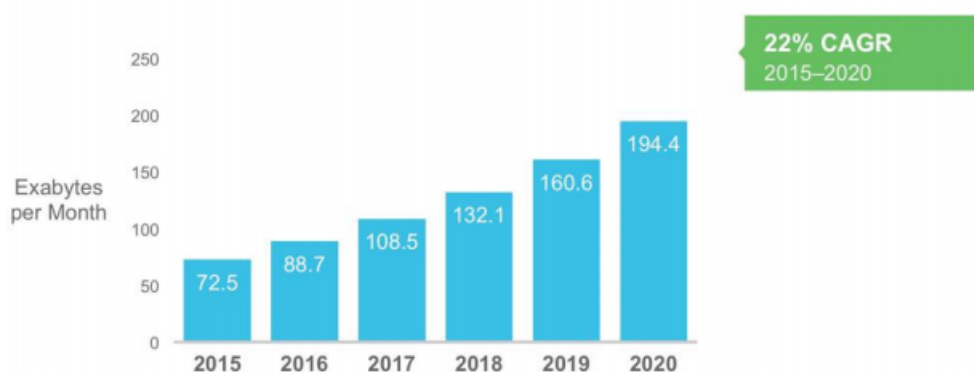


Figura 1.1: Previsão de crescimento de tráfego, para o período de 2015 a 2020, de acordo com a Cisco [1].

Outra informação divulgada, é que, até 2020, o tráfego gerado por *smartphones* ultrapassará o tráfego gerado por computadores, com uma taxa de crescimento três vezes mais rápida. O tráfego de dados móveis representará, até 2020, dois terços do tráfego global.

Este mesmo relatório [1] ainda ressalta que, o número de dispositivos por usuário hoje é de cerca de 2,2 e em 2020 chegará a 3,4 dispositivos *per capita*, isto é, 26,3 bilhões de dispositivos. Isto mostra que alguns dos fatores que contribuem para este crescimento são o aumento do número de usuários e também do número de dispositivos por usuário, como mostra a Figura 1.2. Além disso, é importante observar também que as aplicações que vêm se popularizando hoje requerem um consumo muito maior de dados, principalmente aquelas que utilizam recursos de transmissão de vídeo e áudio. Diante de todos estes fatores, fica evidente que o tráfego de dados hoje cresce de maneira nunca vista antes.

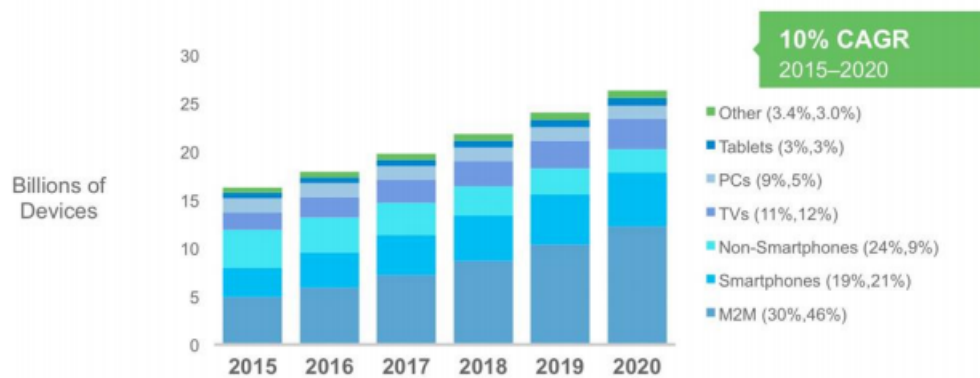


Figura 1.2: Previsão de crescimento do número de dispositivos para o período de 2015 a 2020, de acordo com a Cisco [1].

Neste cenário, se por um lado as operadoras se beneficiam do fato de que a demanda por serviço irá aumentar de forma quase que exponencial, por outro, existe também a preocupação de como suportar todo este tráfego gerado. Assim, os provedores de serviço têm buscado alternativas que aumentem o alcance das suas redes sem fio e a sua capacidade de transmissão, para que seja possível atender todos os seus usuários de forma eficiente e barata.

Uma das alternativas encontradas para aliviar a carga sobre as operadoras foi o desvio de parte do tráfego para outras redes. Esta técnica, denominada escoamento de dados móveis, surge como uma solução não apenas para aliviar a sobrecarga da infraestrutura central da rede das operadoras mas também aumentar a vazão do tráfego, reduzir o tempo de entrega de dados e expandir a cobertura e disponibilidade da rede. De maneira sucinta, o escoamento de dados móveis é definido como o uso de uma tecnologia de rede sem fio complementar para transferência de dados originalmente destinados a fluir através de uma rede celular.

Em busca de soluções que favoreçam operadoras e usuários, várias pesquisas tem sido realizadas e, dentre as soluções propostas, estão técnicas que envolvem uso de pontos de acesso (AP, do inglês “access points”) para o escoamento do tráfego ou até mesmo o uso dos dispositivos móveis dos usuários finais. Dentre estas técnicas, o escoamento do tráfego da rede do *backbone* das operadoras utilizando redes dispositivo-a-dispositivo (D2D, do inglês “*device-to-device*”) tem se mostrado bastante eficiente e financeiramente viável. No escoamento de parte do tráfego para redes D2D, o repasse seria feito de forma que o conteúdo seria transmitido para um ou mais dispositivos, em um determinado local, e estes, por sua vez, fariam a retransmissão destes dados para os outros dispositivos na rede que precisam ter acesso a este mesmo conteúdo. As redes D2D também poderiam ser utilizadas como infraestrutura intermediária, que participam da retransmissão de pacotes até o seu destino final.

Uma vez que estas técnicas exigem algum nível de cooperação por parte dos usuários finais, o uso de redes D2D levanta uma outra importante questão: como incentivar estes usuários a participar proativamente da rede, fornecendo recursos próprios como energia e largura de banda? Pensando nisto, em 2013, durante o evento *MANIAC (Mobile Ad Hoc Networking Interoperability and Cooperation)*, foi proposto um desafio onde os participantes deveriam desenvolver estratégias,

baseadas em leilões recursivos, para o escoamento do tráfego dos pontos de acesso para os dispositivos dos usuários, como *tablets* e *smartphones*. Durante a realização destes leilões, são estipulados valores para recompensas e para multas que são associados a cada pacote. Se este dado pacote fosse entregue dentro de um prazo aceitável, os nós envolvidos no repasse deste pacote receberiam uma recompensa. Se não o fizessem, deveriam pagar uma multa. Estas simulações de leilões e destas taxas associadas aos pacotes poderiam servir de base para as operadoras elaborarem suas estratégias para incentivo dos usuários finais, em um contexto real.

O cenário proposto era baseado em pontos de acesso, que representavam o *backbone* da rede e *tablets* que formavam a rede *Ad Hoc* utilizada para escoar o tráfego dos pontos de acesso. O tráfego deveria escoar pelos dispositivos de forma que, à medida que um pacote passasse de um nó para outro na rede *Ad Hoc*, e também de um ponto de acesso para um nó, deveria ser realizado um leilão, de acordo com as regras impostas pelo nó que detinha o pacote. Este leilão é realizado para que seja eleito o próximo nó responsável por retransmitir o pacote, até que este pacote chegue ao ponto de acesso de destino. Neste desafio, as equipes deveriam desenvolver algoritmos para estes leilões a fim de que houvesse garantia de entrega destes pacotes e o desempenho da rede fosse máximo, dentro das circunstâncias propostas.

A equipe da Universidade de Brasília propôs uma estratégia para os leilões recursivos, nomeada “Estratégia do Aperto”, cujo principal parâmetro é o quão apertado um nó está para entregar um pacote, ou seja, se é possível a entrega do pacote dentro de um dado limite de tempo [2]. Esta estratégia, além de levar em consideração a taxa de entrega de pacotes, escolhendo nós que possuem maior “folga” para entregar um pacote, considera também a justiça na rede, isto é, se todos os nós que compõe a rede *Ad Hoc* participam ativamente nas retransmissões dos pacotes. A partir do trabalho desenvolvido nesta competição, pesquisas foram feitas na Universidade de Brasília, com base na estratégia desenvolvida. Recentemente, em sua tese de mestrado, Lucas S. Brito propôs a implementação desta técnica de escoamento, a Estratégia do Aperto, em um módulo do NS-3, um simulador de rede de eventos discretos, para que fosse avaliado o desempenho desta estratégia [3].

Para o desenvolvimento de novos protocolos, é essencial que seja feita a avaliação do seu desempenho. Especialmente em MANETs, os resultados de simulações que utilizam modelos de mobilidade são fatores importantes para o desenvolvimento de um protocolo, uma vez que permitem que comportamentos mais realistas sejam analisados. Neste sentido, utilizando este módulo, esta monografia investiga o efeito da mobilidade dos nós no desempenho da “estratégia do aperto” para escoamento do tráfego, quanto à entrega de pacotes, justiça na distribuição dos ganhos, número médio de saltos até destino e saldo médio relativo dos nós. Este estudo leva em consideração três modelos de mobilidade: *RandomWayPoint*, *Random Walk* e *Gauss-Markov* para dar mobilidade aos usuários da rede. O cenário estático também é investigado para fins de comparação. Adicionalmente, investiga-se o efeito de alguns parâmetros dos modelos de mobilidade, como o grau de aleatoriedade do movimento e períodos de pausa durante a trajetória de um nó.

Ao final deste estudo, os resultados mostraram que, como esperado, quanto menor é a velocidade com que os nós se movem, melhor o desempenho da rede. Além disso, alguns modelos de mobilidade, como o *Gauss-Markov* e *Random WayPoint* geraram resultados abaixo do esperado,

uma vez que os nós estagnavam durante um certo período de tempo, relativamente longo. em posições que desfavoreciam o encaminhamento de pacotes. Com isto, conclui-se que o posicionamento do nós também é de extrema importância para o desempenho da rede.

1.1 Objetivos

Os principais objetivos deste estudo são os seguintes:

- Investigar o impacto do padrão de mobilidade no desempenho do escoamento de tráfego via leilões recursivos utilizando a estratégia do aperto em comunicações dispositivo-a-dispositivo;
- Estudar o efeito de parâmetros dos modelos de mobilidade considerados no desempenho da rede;
- Entender que características dos padrões de mobilidade favorecem o escoamento de tráfego via leilões recursivos baseados na estratégia do aperto em comunicações dispositivo-a-dispositivo.

1.2 Contribuições

- Implementação no NS-3 do cenário de escoamento de tráfego proposto no MANIAC Challenge, para fins de estudo do impacto da mobilidade em leilões recursivos via comunicações máquina-a-máquina.
- Coleta de resultados como *taxa de entrega de pacotes*, *o orçamento médio dos nós da rede*, *o número médio de saltos* até o destino final e *índice de justiça* através das simulações feitas;
- Comparação do desempenho da “estratégia do aperto” no escoamento de tráfego para os seguintes modelos de mobilidade: *Random WayPoint*, *Gauss-Markov*, *Random Walk* e também para cenários onde os nós são estáticos.

1.3 Estrutura da Monografia

Esta monografia segue dividida da seguinte forma: no Capítulo 2, onde é exposta a Fundamentação Teórica, são explanados os principais conceitos envolvidos neste estudo. Primeiramente, são apresentadas as técnicas para o escoamento de tráfego mais conhecidas atualmente, destacando-se o escoamento do tráfego para redes sem fio e para redes D2D. Em seguida, os principais mecanismos do protocolo de roteamento OLSR utilizados como recurso nos leilões realizados em redes D2D são detalhados. As regras e o funcionamento dos leilões recursivos, isto é, como devem ser anunciados, como os nós devem oferecer os lances e como escolhem os vencedores de seus leilões, são também aprofundados. Ainda neste mesmo Capítulo, os modelos de mobilidade utilizados nas simulações no NS-3 [10], sendo eles os modelos *RandomWayPoint*, *Random Walk* e *Gauss-Markov* [9], são

apresentados, incluindo a descrição dos padrões de movimento gerados por eles e os principais parâmetros estudados em cada um destes modelos.

No Capítulo 3 é feita uma descrição mais detalhada da Estratégia do Aperto e das sub-estratégias que a compõe, utilizada nas simulações. No Capítulo 4, os cenários utilizados na simulação são descritos, as medidas de desempenho utilizadas para avaliação e, em seguida, será feita a análise dos resultados obtidos. Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as conclusões e considerações sobre o estudo realizado e sugestões para pesquisas futuras.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Este capítulo aborda os principais fundamentos teóricos utilizados neste estudo. Aqui serão apresentados os conceitos envolvidos na construção deste estudo para que seja possível o entendimento da formação do cenário proposto, do seu funcionamento e das análises e conclusões feitas ao final.

2.1 Mobilidade em redes *Ad Hoc*

O conceito de mobilidade em redes formadas por dispositivos móveis é de extrema importância. Em [3], é comparado o desempenho de redes estáticas com redes onde os nós são móveis e é constatado que o desempenho da rede cai nos cenários com mobilidade. Além disso, como já citado no Capítulo anterior, é esperado que o número de dispositivos cresça de forma exponencial nos próximos anos, ultrapassando inclusive o número de dispositivos fixos. Da mesma forma, também é esperado que o tráfego gerado por dispositivos móveis ultrapasse o tráfego gerado por dispositivos fixos. Assim, é importante estudar o tráfego gerado por dispositivos móveis, e também consumido por estes dispositivos para que técnicas sejam desenvolvidas para melhorar o desempenho destas redes.

2.2 Escoamento de Dados Móveis

As técnicas de escoamento de dados de redes móveis surgiram como uma alternativa para desafogar a infraestrutura das operadoras que provêm acesso às redes celulares sem fio, dado o crescimento evidente do tráfego de dados. Uma abordagem intuitiva para o desvio do tráfego é a utilização de partes do espectro que não são utilizadas pela infraestrutura de *backbone* para a transmissão dos dados. Desta abordagem, nasceu a técnica chamada Escoamento de Dados Móveis.

O seu conceito resume-se, basicamente, no uso de uma tecnologia de rede sem fio complementar para transmissão de dados que antes eram orientados para fluir através de uma rede celular. Além de se valer do benefício de aliviar a infraestrutura das operadoras, o escoamento de tráfego também

possibilita o aumento da vazão da rede, a redução do tempo de entrega dos dados, a extensão da cobertura da rede e o aumento da disponibilidade da rede. Várias abordagens para o escoamento foram apresentadas até hoje e muitas pesquisas têm sido feitas em busca de novas alternativas. Destacam-se o escoamento de dados via redes Wi-Fi e também o desvio dos dados para redes D2D.

2.2.1 Escoamento de dados via Wi-Fi

O termo Wi-Fi vem das iniciais da expressão em inglês *wireless fidelity* e é uma solução para conectividade sem fio, baseada no padrão IEEE 802.11. Originalmente, esta solução foi concebida para fornecer acesso à rede para os usuários em ambientes *indoor*. Quando comparado às tecnologias de comunicação móveis, como o UMTS (do inglês *Universal Mobile Telecommunications System*), HSPA (do inglês *High-speed packet access*) e o LTE (do inglês *Long Term Evolution*), o Wi-Fi é capaz de oferecer conectividade com taxas de transmissão superiores. No entanto, é importante observar que o seu alcance é mais limitado.

Dada a sua alta taxa de transmissão, o escoamento de tráfego utilizando a infraestrutura de APs, utilizados em redes Wi-Fi, se mostra como uma alternativa interessante. O escoamento seria feito de maneira que, a instalação de APs seriam feita pelas operadoras, geralmente em locais onde há grande fluxo de pessoas como *shoppings centers* e aeroportos, para prover o acesso à Internet aos usuários. Existe ainda a comodidade de não ser necessário migrar da rede celular para a rede Wi-Fi manualmente nos dispositivos, visto que a maioria dos aparelhos hoje fazem esta migração de forma automática, com a possibilidade de dar preferência ao tipo de rede desejado. Além disso, ambas as redes, celular e Wi-Fi, podem coexistir num mesmo ambiente, pois não operam na mesma faixa do espectro.

Esta solução, embora seja mais barata que a instalação de uma nova estação base celular pelas operadoras, ainda requer algum investimento para instalação e manutenção dos pontos de acesso. Além disso, a conectividade fica restrita ao alcance destes pontos de acesso. As técnicas de escoamento para redes Wi-Fi não são objetivo deste trabalho e não serão aprofundadas.

2.2.2 Escoamento via Comunicação D2D

Levando em consideração que grande parte da informação entregue pelas redes móveis se trata de conteúdos *online*, como pequenos jogos de computador, acesso a páginas de redes sociais, jornais multimídia, entre outras aplicações do gênero, é possível se beneficiar do fato que, aplicações deste tipo são tolerantes a atrasos, diferentemente de aplicações que utilizam recursos de *streaming* de voz ou vídeo, por exemplo. O escoamento dos dados móveis para grupos que utilizam aplicações como estas, que são tolerantes a atrasos, seria então facilitado.

Considerando ainda que os usuários, em um dado local, compartilham do mesmo espaço e acessam o mesmo tipo de conteúdo, uma abordagem interessante para o escoamento dos dados móveis seria utilizar os dispositivos destes usuários como infraestrutura para a rede. O desvio do tráfego poderia ser feito de forma que, os conteúdos mais acessados seriam repassados para um ou mais nós da rede, e estes nós, por sua vez, disseminariam estes dados para o restante da rede.

Este tipo de comunicação, denominada oportunista, se adequa ao cenário em questão mas possui alguns desafios para ser implantada de fato. Seria necessário levar em conta a heterogeneidade dos dispositivos, da capacidade de encaminhamento de tráfego de cada um deles e que seja feita uma análise dos tipos de conteúdo acessados pelos usuários na rede.

Outra forma de utilizar os recursos dos dispositivos móveis, seria através do uso de redes D2D. As redes D2D são redes formadas por dispositivos finais, como por exemplo *tablets*, *smartphones* ou *laptops* pessoais, que são capazes de se conectar, através das chamadas redes *Ad Hoc*. Cada nó da rede pode agir como um roteador ou como um *host* e não depende de nenhuma outra infraestrutura centralizada, ou seja, toda a inteligência é distribuída entre os nós que compõem a rede. Assim, o repasse é feito dispositivo a dispositivo, salto a salto. Daí utiliza-se o termo D2D (do inglês *Device to Device*).

Assim, a rede operaria de forma que, os dados seriam desviados para uma rede D2D onde seriam repassados de nó em nó, até chegar ao seu destino final, ou seja, todos nós da rede participariam ativamente no encaminhamento dos pacotes. Esta solução não requer investimentos adicionais para aquisição ou manutenção da infraestrutura. O alcance também não seria limitado à área de cobertura de um ponto de acesso. A Figura 2.1 ilustra o funcionamento destas duas técnicas de escoamento, comparadas à infraestrutura tradicional de uma rede celular.

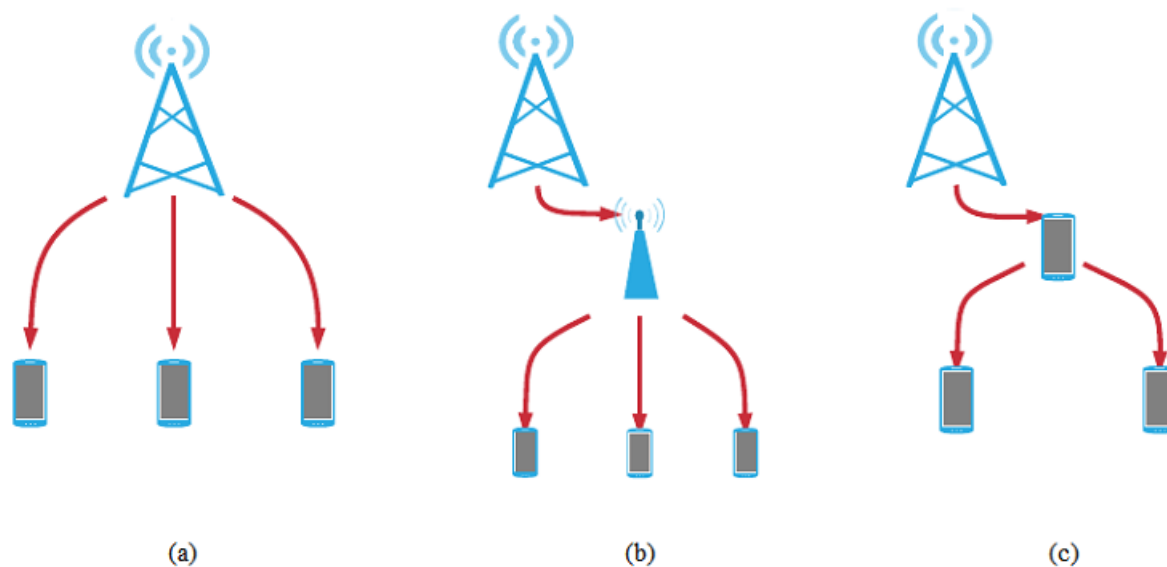


Figura 2.1: Duas principais abordagens para escoamento de dados móveis, comparadas ao sistema tradicional (a). Escoamento através de APs (b). Escoamento através de transmissões D2D (c).

A Estratégia do Aperto, aprofundada na Seção 3.1, descreve uma estratégia para que seja feito o desvio do tráfego, de uma rede celular por exemplo, para uma rede D2D, formada por alguns dispositivos móveis. O repasse é feito através de leilões recursivos, feitos nó a nó. Esta estratégia de escoamento de tráfego é o foco deste trabalho e o seu desempenho será analisado com base no resultado das simulações feitas.

2.3 OLSR na “Estratégia do Aperto”

A Estratégia do Aperto, usada nos leilões recursivos durante o escoamento dos dados, utiliza as informações providas pelo OLSR (*Optimized Link State Routing*), que é o protocolo de roteamento empregado em redes *Ad Hoc* [4]. Através deste protocolo, os nós da rede podem ter conhecimento de toda a topologia da rede. Esta informação é imprescindível para que sejam escolhidos os vencedores dos leilões, pois esta escolha é feita baseando-se em quem está “mais próximo” do destino final.

Além disso, em redes *Ad Hoc*, o OLSR é o protocolo responsável por criar e disponibilizar para os nós da rede, a partir da topologia, uma tabela de roteamento para que os dispositivos façam o encaminhamento dos pacotes até o seu destino final, pelo melhor caminho e evitar que sejam criados *loops* na rede e os pacotes não se percam. No entanto, é importante ressaltar que nos cenários analisados, onde a “Estratégia do Aperto” é utilizada para o encaminhamento dos pacotes, apenas as informações relativas à topologia da rede providas pelo OLSR são utilizadas e os caminhos que os pacotes devem seguir não são definidos pelo OLSR. Desta forma, parte do funcionamento dos leilões está baseado neste protocolo de roteamento e, por isso, é importante entender como ele opera para que a análise do impacto da mobilidade sobre a rede seja melhor compreendida. O OLSR é classificado como sendo um protocolo de roteamento de estado de enlace e como um protocolo proativo. Estes conceitos serão explicados a seguir.

2.3.1 Algoritmos de Vetor de Distância e de Estado de Enlace

Os protocolos de roteamento podem ser classificados quanto à sua operação como “Estado de Enlace” ou como “Vetor de Distância”. Os protocolos baseados em vetores distância operam de forma que, cada nó da rede mantém uma tabela com as menores distâncias até cada destino na rede. As informações desta tabela são trocadas apenas entre os nós que estão diretamente conectados. Com os protocolos de Vetor de Distância, os nós não possuem conhecimento de toda a topologia da rede, nem do caminho completo até o destino, apenas da menor distância até o destino.

Já com o algoritmo de Estado de Enlace, todos os nós possuem conhecimento de toda a topologia e dos custos de cada enlace. Isto é feito através de mensagens do tipo *broadcasts* enviados pelos nós, que propagam os estados de seus enlaces para todos os outros nós da rede. A partir dessas informações trocadas entre os nós, cada nó reúne essas informações e monta sua própria tabela de topologia e de roteamento.

2.3.2 Protocolos de roteamento Proativos e Reativos

Um aspecto importantíssimo a ser observado em protocolos de roteamento utilizados em redes D2D é como eles respondem às mudanças ocorridas na rede, dado que estas redes tendem a ser muito mais dinâmicas. Sob este aspecto, então, os protocolos de roteamento também podem ser classificados quanto à maneira com que reagem às alterações que ocorrem na topologia de uma rede.

Um protocolo é dito reativo se ele disponibiliza uma rota apenas quando ela é necessária para

algum nó. Ou seja, a troca de informações entre os nós para que uma rota seja encontrada é feita somente quando um nó deseja enviar um pacote até este destino desconhecido. Caso ocorra alguma alteração na topologia, esta alteração não será propagada a todos os outros nós. A principal vantagem destes tipo de protocolo é que ele reduz consideravelmente a quantidade de informações trocadas entre os nós, diminuindo a sobrecarga sobre a largura de banda disponível na rede. Os protocolos conhecidos que utilizam este tipo de abordagem são AODV, DSR e TORA.

Por outro lado, quando um protocolo troca constantemente informações sobre a topologia e rotas da rede ele é dito proativo. A troca de mensagens entre os nós é feita periodicamente fazendo com que as tabelas de topologia e roteamento, mantidas pelos nós, sejam atualizadas de tempos em tempos e não apenas quando for necessário. Desta forma, as rotas para os destinos da topologia estarão sempre disponíveis para todos os nós da rede. Este grau de proatividade requer um maior processamento dos nós e também ocupa mais o enlace, que fica ocupado, em parte, para a troca de mensagens de controle. Alguns dos protocolos que utilizam esta abordagem são o DSDV, STAR, TBRF e o OLSR.

2.3.3 Visão geral do OLSR

Como citado anteriormente, o protocolo OLSR é baseado no algoritmo de Estado de Enlace. No entanto, algumas mudanças foram introduzidas para que o seu desempenho fosse otimizado. Em sua implementação original, um protocolo de estado de enlace faz com que todos os nós da rede enviem mensagens *broadcasts* periodicamente, informando aos outros nós da rede sobre os estados dos seus enlaces com todos os seus vizinhos. Já com o OLSR, os nós anunciam os *links* formados com apenas alguns de seus vizinhos, aqueles que são escolhidos como MPRs (do inglês *Multipoint relay*). Além disso, quando uma mensagem *broadcast* é enviada por um nó para o restante da rede, apenas os nós selecionados como MPRs fazem a retransmissão destas mensagens de controle na rede. Com isto, o número de retransmissões e de mensagens de controle enviadas na rede diminui significativamente.

O OLSR também foi projetado para operar de maneira distribuída, sem depender de uma entidade central. Além disso, ele não precisa de enlaces confiáveis para a troca de mensagens, uma vez que elas são enviadas periodicamente. Nas próximas subseções, as principais etapas que ocorrem durante o funcionamento do protocolo são explicadas. A Figura 2.2 resume o seu funcionamento e as tabelas resultantes de cada etapa: primeiramente, quando é feito o sensoriamento dos nós, ao final é gerada a tabela de vizinhos para cada nó; na segunda etapa, após serem escolhidos os *MPRs* é gerada a tabela com os *MPR Selectors*; depois, na terceira etapa, é gerada a tabela de topologia e, por fim, é gerada a tabela de roteamento.

2.3.4 Sensoriamento dos nós vizinhos

O OLSR mantém quatro principais tabelas para cada nó: uma tabela de vizinhos, uma tabela com os *MPR Selectors*, uma de topologia e, é claro, uma de roteamento. A primeira delas, para cada nó, mantém uma relação dos vizinhos que estão a um salto de distância, o estado do enlace

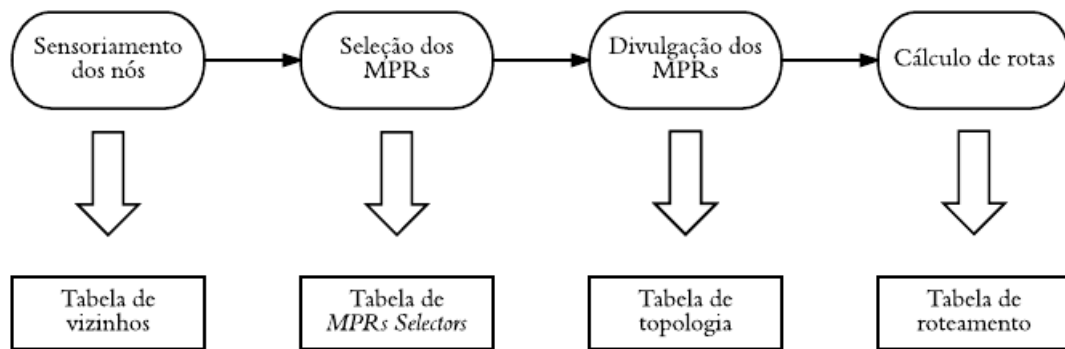


Figura 2.2: Principais etapas do funcionamento do OLSR

com estes vizinhos e também uma lista com os vizinhos que estão a dois saltos de distância. A tabela com os *MPR Selectors* de um nó N , por exemplo, lista todos os nós que selecionaram N como um *MPR*. A tabela de topologia mantém informações sobre a topologia da rede, obtida através das mensagens *TC*, (do inglês *Topology Control*). Estes tipos de mensagens são explicadas na sessão 2.2.6. Já a tabela de roteamento lista as rotas calculadas a partir das informações contidas nas outras duas tabelas.

A tabela de vizinhos é montada a partir das informações obtidas através da troca de mensagens *HELLO*. Estas mensagens são trocadas periodicamente pelos nós, e enviadas como mensagens *broadcasts*. Utilizadas para controle e atualização da rede, estas mensagens contêm informações sobre os vizinhos de um nó e o estado dos enlaces com estes vizinhos. O estado de uma enlace pode ser bidirecional, unidirecional, ou *MPR* (quando um enlace é bidirecional e o nó foi escolhido como um *MPR*).

As mensagens *HELLO*, que são enviadas como mensagens *broadcasts*, são emitidas por um nó e são diretamente transmitidas para todos os seus vizinhos que estão a um salto de distância. Por sua vez, deste conjunto de vizinhos que estão a um salto de distância, apenas os que foram selecionados como *MPR* retransmitirão estas mensagens para os vizinhos que estão a dois saltos de distância do nó que emitiu esta mensagem. Assim, cada nó poderá ter ciência de todos os nós que estão a um salto de distância e dos nós que estão a dois saltos de distâncias. Com essas informações, cada nó monta, então, a sua própria tabela de vizinhos.

2.3.4.1 Escolha dos nós *multipoint relays*

A otimização do protocolo é baseada na seleção de um subconjunto de nós, denominados *multipoint relays*. Como o repasse das mensagens de *broadcast* de controle emitida pelos nós é feita apenas por este subconjunto, o número de retransmissões desnecessárias na rede diminui.

Para ser escolhido como um *MPR*, um nó precisa atender a dois requisitos. O primeiro deles é que deve existir um enlace bidirecional entre o nó que seleciona e o nó candidato a ser escolhido como *MPR*. O segundo deles é que, em conjunto com os outros *MPRs* escolhidos, todos os nós que estão a dois saltos de distância (no caso, do nó que está selecionado os seus *MPRs*) devem estar

ao alcance deste conjunto de nós *MPR*.

Assim, após as constantes trocas de mensagens *HELLO* entre os nós, cada nó terá informações suficientes para saber quem são os nós aptos a serem escolhidos como *MPR*, selecionar seus *MPR* e montar as tabelas de *MPR Selectors*.

2.3.5 Divulgação dos nós *MPRs*

Além das mensagens *HELLO*, os nós também trocam outras mensagens de controle, chamadas de mensagens *TC* (do inglês *Topology Control*). Estas mensagens também são enviadas como mensagens *broadcasts*, de tempos em tempos, ou quando existe uma atualização na rede. Estas mensagens são enviadas para informar outros nós sobre o conjunto de *MPR Selectors* de um dado nó, ou seja, quais nós escolheram outros nós como *MPRs*.

As informações contidas nestas mensagens serão utilizadas para construir a tabela de topologia de cada nó. Nesta tabela, cada nó da rede registra quem são os *MPRs* dos outros nós. Esta informação é extremamente importante para a definição das rotas, uma vez que os nós *MPRs* são responsáveis pelo repasse de pacotes na rede.

2.3.6 Cálculo da tabela de roteamento

Baseado nas informações da tabela de topologia, cada nó pode agora calcular a sua própria tabela de roteamento. Esta tabela é utilizada para determinar o melhor caminho, ou seja, o mais curto, para as transmissões dos pacotes. Para cada destino, é armazenado na tabela de roteamento de cada nó as seguintes entradas: o endereço de destino, o endereço de próximo salto e a distância estimada até o destino. É importante lembrar que, apesar de o protocolo OLSR ser capaz de fornecer estas informações, a “Estratégia do Aperto” utiliza apenas as informações relativas à topologia da rede e não utiliza o OLSR para roteamento.

A partir das mensagens de controle *TC*, cada nó armazena entradas na forma [último salto, nó], onde o elemento *nó* corresponde aos endereços repassados pelas mensagens de controle de topologia. Desta forma, supondo que o nó X deseja enviar um pacote ao nó remoto R, o processo para encontrar uma rota para que o pacote seja encaminhado será: primeiro, é necessário que seja encontrada um enlace que conecte este nó remoto R a um nó X, por exemplo, da forma $[X, R]$. Em seguida, é necessário encontrar um outro par $[Y, X]$ e assim recursivamente até que seja encontrado um nó Y na vizinhança do nó de origem. Para que sejam encontrados os caminhos ótimos, os nós encaminhados selecionam apenas os nós que estão conectados através dos caminhos mais curtos, fazendo com que as rotas selecionadas sejam os menores caminhos.

2.4 Modelos de mobilidade

2.4.1 Modelo de mobilidade *Random Walk2D*

O padrão de movimento *Random Walk*, também conhecido como movimento *Browniano*, foi desenvolvido originalmente por Einstein em 1926 para descrever o movimento aleatório e imprevisível de partículas na Física, e é também disponibilizado no simulador e permite que os nós móveis da rede se movimentem de forma totalmente aleatória. A Figura 2.3 ilustra um padrão de movimento deste modelo de mobilidade.

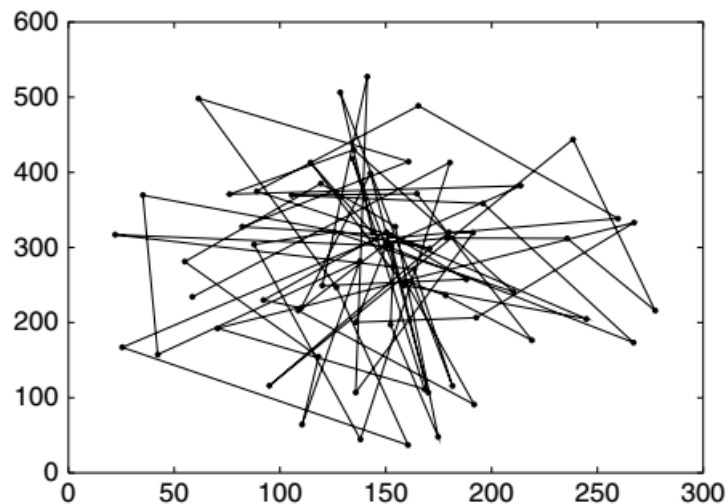


Figura 2.3: Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade *Random Walk* [11].

O padrão de movimento dos nós é construído escolhendo-se aleatoriamente uma velocidade e uma direção, a partir de intervalos pré-definidos. Cada movimento pode ocorrer em intervalos de tempo ou em intervalos de distância, ambos pré-definidos. Assim, ao final de cada movimento, uma nova direção e uma nova velocidade são calculadas para o próximo movimento. A partir deste modelo, diversos outros modelos de mobilidade foram desenvolvidos, entre eles, o modelo *Random Walk2D* e o modelo *Random WayPoint*.

O modelo *Random Walk2D* é de interesse especial, uma vez que, os movimentos ocorrem em duas dimensões, é possível modelar o movimento sob superfícies e, neste aspecto, adequa-se para simulações de movimentos de nós que se deslocam em um espaço delimitado. Porém, nota-se que este modelo é um modelo de mobilidade sem memória, ou seja, o movimento de um nó no instante presente não possui relação com o seu movimento no instante anterior. Além disso, ocorrem mudanças bruscas na direção dos nós e mudanças de velocidade repentinas. Apesar da sua simplicidade, estas características do modelo podem não ser tão adequadas para representar, por exemplo, movimentos típicos de pessoas ou movimentos de veículos em situação de trânsito nas cidades.

2.4.2 Modelo de mobilidade *Random WayPoint*

Um dos modelos mais utilizados para avaliação do desempenho de protocolos em redes *Ad Hoc* é o modelo *Random WayPoint*. Este é um modelo relativamente simples de se implementar e possui poucos parâmetros a serem avaliados. Basicamente, um nó que utiliza este padrão de mobilidade se move em uma direção, escolhida de forma aleatória, com velocidades constantes, também escolhidas aleatoriamente, e com um tempo de pausa (pré-definido) entre os movimentos.

O seu funcionamento consiste basicamente nas seguintes etapas: no início da simulação, cada nó móvel da rede escolhe um ponto aleatório, dentro do campo delimitado para a simulação. O nó começa a se mover então em direção a este ponto, com uma velocidade constante, escolhida de forma aleatória e uniforme em um intervalo $[V_{min}, V_{max}]$, onde os parâmetros V_{min} e V_{max} são a maior e a menor velocidade permitida para cada nó da rede. A velocidade e a direção de cada nó são escolhidas de forma independente, fazendo com que cada nó se mova de forma autônoma, não existindo relação alguma entre os movimentos de nós diferentes. Ao atingir seu destino, cada nó aguarda estaticamente um período de tempo T_{pausa} , e depois, com uma nova velocidade aleatória constante, e uma nova direção aleatória, cada nó segue para o seu próximo destino.

Neste modelo, então, os valores de V_{max} e de T_{pausa} são os parâmetros principais que determinam o comportamento da mobilidade dos nós. Se o valor de V_{max} for alto e o valor de T_{pausa} for baixo, os nós podem atingir velocidades altas e a topologia de uma rede *Ad Hoc* se tornaria altamente dinâmica. Por outro lado, caso V_{max} seja baixo e o valor de T_{pausa} seja alto, os nós tendem a se mover com velocidade menor e a topologia se torna mais estável. Note que, quando T_{pausa} é zero, o modelo se torna o modelo *Random Walk*, descrito na sessão anterior.

Por ser um modelo simples e intuitivo, e que confere mobilidade aos nós de forma prática, o *Random WayPoint* tem sido muito utilizado em simulações para avaliar o impacto da mobilidade no desempenho de redes. No entanto, o padrão dos movimentos apresentados pelos nós utilizando este modelo de mobilidade não é muito realista e não poderia representar o movimento real de pessoas circulando em um local, por exemplo. As duas principais causas que tornam o comportamento tão artificial são as paradas repentinas dos nós e a mudança de direção acentuada. Além disso, diferente do padrão proposto pelo modelo, os usuários, de maneira geral, não se movem em linha reta e com velocidade constante, aguardam algum tempo, e depois se movem novamente, com outra velocidade constante, até outro destino. Na realidade, os usuários se movem com velocidades baixas, se estiverem caminhando, que variam constantemente, com tempos de pausa diferentes e indefinidos. Os deslocamentos também não costumam ser em linhas retas e pode haver uma tendência dos usuários de se agruparem em determinados locais da topologia. Estes aspectos dos padrões reais de movimento são importantíssimos na avaliação do desempenho de protocolos de roteamento para MANETs e interferem nos resultados do desempenho de um protocolo. A Figura 2.4 representa os movimentos de um nó que se move segundo o *Random WayPoint*.

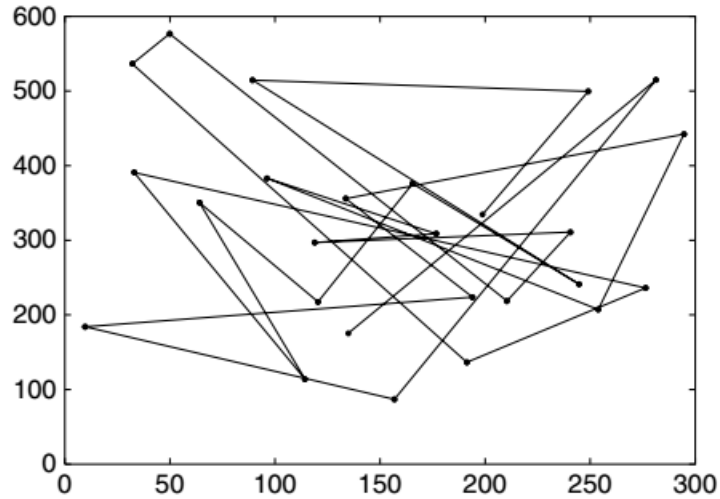


Figura 2.4: Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade *Random WayPoint*. [11]

2.4.3 Modelo de mobilidade *Gauss-Markov*

Diferente do *Random WayPoint*, o modelo de mobilidade *Gauss-Markov* apresenta padrões de movimentos menos artificiais e que se aproximam mais de um modelo realista. Por esta razão, o modelo *Gauss-Markov* é bastante utilizado em simulações de protocolos para redes *Ad Hoc*. De maneira breve, este modelo calcula os próximos valores da direção e da velocidade de um nó móvel, em intervalos de tempo constantes, baseando-se nos valores anteriores. É possível ainda definir através do parâmetro α o grau de aleatoriedade dos movimentos durante as simulações. Aqui, o sentido de aleatório está relacionado a quão imprevisível é o movimento de um nó, isto é, se ele mantém ou não o padrão atual de movimento, e se escolhe aleatoriamente novos valores para a direção e a velocidade.

A Figura 2.5 ilustra o movimento de um nó que se move segundo o modelo *Gauss-Markov* em uma dada topologia. É importante citar que, se o nó se aproxima da fronteira da região de simulação, a sua direção é forçada a girar 180° . O algoritmo utilizado por este modelo calcula os próximos valores da direção e da velocidade do nó baseando-se nas Equações 2.1 e 2.2. Na Equação 2.1, o termo s_n representa o valor da velocidade (*speed*) atual, s_{n-1} representa o valor da velocidade do movimento anterior e $s_{x_{n-1}}$ representa um número aleatório de uma distribuição normal Gaussiana para cálculo da velocidade e \bar{s} representa a velocidade média atual. De maneira similar, d_n representa o valor atual da direção do nó (*direction*), d_{n-1} o valor anterior da direção do nó e $d_{x_{n-1}}$ um número aleatório de uma distribuição normal Gaussiana para cálculo da direção e \bar{d} representa o valor médio da direção no instante presente. Assim, a velocidade e a direção do movimento de um nó móvel estão correlacionadas com o tempo e são modeladas por um processo estocástico de Gauss-Markov. Observando as Equações 2.1 e 2.2, é possível notar que a velocidade e a direção do nó, num dado instante de tempo t , dependem do valor da velocidade e da direção no instante de tempo anterior $t - 1$. Este modelo é dito, então, ter memória, uma vez que considera

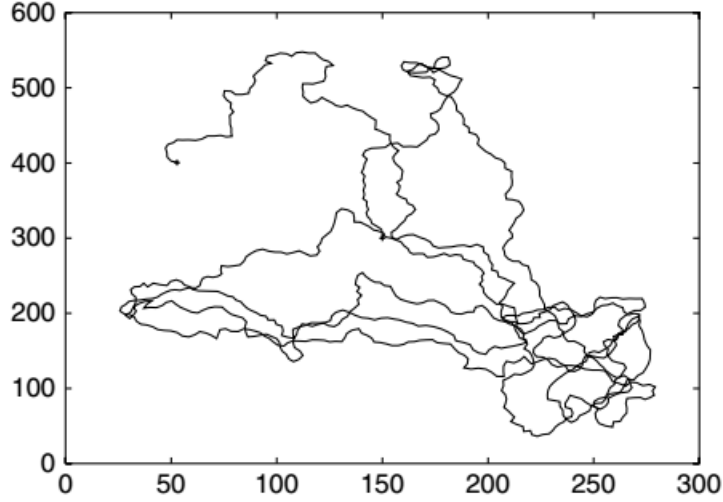


Figura 2.5: Padrão de movimento de um nó utilizando o modelo de mobilidade Gauss-Markov [11].

os valores anteriores de velocidade e direção para o cálculo dos próximos valores.

$$s_n = \alpha s_{n-1} + (1 - \alpha)\bar{s} + \sqrt{(1 - \alpha^2)}s_{x_{n-1}} \quad (2.1)$$

$$d_n = \alpha d_{n-1} + (1 - \alpha)\bar{d} + \sqrt{(1 - \alpha^2)}d_{x_{n-1}} \quad (2.2)$$

No entanto, este grau de dependência entre o próximo valor calculado para a velocidade e o valor atual, bem como os valores da direção, são ajustados através de um parâmetro α , que define o grau de aleatoriedade dos movimentos, ou seja, o nível de memória do processo de *Gauss-Markov*. Analisando os casos extremos, nas Equações 2.1 e 2.2, quando o valor de α é nulo, o novo valor a ser calculado não levará em conta o valor anterior, fazendo com que o grau de aleatoriedade do valor calculado seja maior. Por outro lado, quando o valor de α é 1, o próximo valor a ser calculado será igual ao anterior e o grau de aleatoriedade neste caso será mínimo. Outra maneira de analisar este modelo é através das Equações 3.3 e 3.4. Estas equações representam as coordenadas do próximo destino do nó. Novamente, é possível notar a relação de dependência entre a posição atual do nó e a próxima posição a ser definida. O cálculo destes valores, x_n e y_n , é feito periodicamente, em intervalos de tempo constantes e pré-definidos.

$$x_n = x_{n-1} + s_{n-1} \cos d_{n-1} \quad (2.3)$$

$$y_n = y_{n-1} + s_{n-1} d_{n-1} \quad (2.4)$$

Observando a Figura 2.3, é possível ver que paradas repentinas e mudanças bruscas na direção do movimento de um nó, encontradas no modelo *Random WayPoint*, são eliminadas tornando o

movimento mais natural e realista, quando comparado ao movimento de pessoas que caminham. Este modelo, dependendo da configuração dos valores dos seus parâmetros, se aproxima mais do padrão de movimentos de usuários móveis que estão caminhando, por exemplo, e é mais adequado para simulações em redes *Ad Hoc*.

Ao final deste Capítulo, é esperado que o leitor tenha entendido como é feito o escoamento de dados móveis em redes D2D, e como o protocolo de roteamento de redes *Ad Hoc*, o OLSR, auxilia no funcionamento da Estratégia do Aperto. Além disso, também foram explicados os conceitos e o padrão de movimento gerados por cada um dos modelos de mobilidade utilizados nas simulações dos cenários. No próximo Capítulo, o funcionamento dos leilões recursivos será aprofundado, sendo explicado como funcionam os mecanismos envolvidos nos leilões salto-a-salto. Também será detalhada a Estratégia do Aperto e as suas sub-estratégias.

Capítulo 3

Leilões Recursivos em Redes D2D

Neste capítulo, é feita uma apresentação mais detalhada do cenário de escoamento de dados feito através de leilões e sob quais regras estes leilões ocorrem. Também serão detalhadas a Estratégia do Aperto e as sub-estratégias que a compõem.

Levando em conta o aumento explosivo do tráfego de dados em redes móveis, várias pesquisas por técnicas para escoamento de tráfego de dados móveis têm sido feitas na tentativa de encontrar uma solução, ainda que parcial, para suportar esta demanda crescente. Ciente deste cenário, em 2013, durante o *MANIAC (Mobile Ad Hoc Interoperability and Cooperation)*, foi proposto um desafio onde as equipes competidoras deveriam propor estratégias para leilões recursivos, para que fosse feito o escoamento de pacotes para uma rede *Ad Hoc*. Como a estratégia do aperto foi desenvolvida durante o *MANIAC*, muitas das regras utilizadas no cenário da competição foram utilizadas na implementação da estratégia no simulador.

No cenário em questão, fora disponibilizado uma quantidade de pontos de acesso e uma quantidade de *tablets* para a infraestrutura da rede. Os *tablets* formavam entre si uma rede D2D, enquanto os pontos de acesso simulavam a *backbone* da rede. Os pontos de acesso eram responsáveis por gerar pacotes, que deveriam ser entregues a outros pontos de acesso, localizados na outra extremidade da topologia, mas que deveriam ser escoados pela rede D2D, formada pelos *tablets*. Os dispositivos, por sua vez, deveriam fazer o encaminhamento destes pacotes para outros dispositivos por meio de leilões recursivos, até o ponto de acesso de destino.

A Figura 3.1 mostra a representação do cenário utilizado. Para aliviar a carga sobre o *backbone* da rede, o tráfego originado nos APs é encaminhado até o seu destino através da rede D2D formada pelos dispositivos móveis. Os traços na figura simbolizam a conexão entre os componentes da rede e as setas verdes indicam um possível caminho que um pacote poderia tomar para chegar a outro AP.

Um leilão é feito toda vez que o pacote precisa ser repassado de um nó para outro, enquanto percorre a sua rota até o seu destino final. Por exemplo, se um pacote precisa ser enviado de um AP para outro, localizado na outra extremidade da topologia, através da rede D2D, o processo ocorrerá da seguinte maneira: o AP que deseja inicialmente transmitir um pacote para o outro AP anunciará um leilão para este pacote. Os dispositivos da rede D2D que ouvirem este anúncio

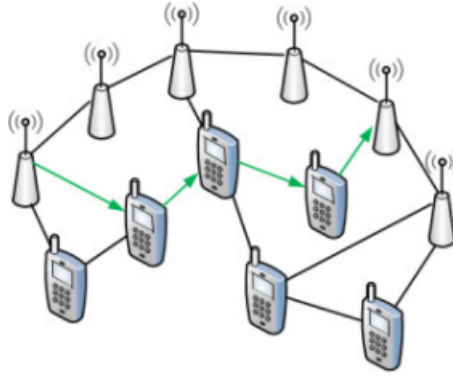


Figura 3.1: Escoamento de dados através de comunicações D2D e leilões recursivos [2].

farão lances e o AP escolherá o dispositivo que ofertar o maior lance. Então, o dispositivo vencedor do leilão ganhará o direito de retransmitir este pacote e, por sua vez, anunciará um outro leilão para que este pacote seja repassado. É importante frisar que apenas nos leilões anunciados pelos APs o vencedor será necessariamente o nó que ofertar o maior lance. Já os dispositivos podem possuir diferentes regras para escolher os ganhadores dos seus leilões. Este processo ocorre, então, várias vezes até que o pacote chegue ao seu destino final. Se, durante o seu trajeto, algum dos dispositivos decidir não fazer o repasse pela rede D2D, ele poderá encaminhar o pacote para um AP, que se encarregará da transmissão até o seu destino final. Caso um pacote seja encaminhado para um AP para ser entregue ao seu destino final, a probabilidade que este pacote seja entregue é de 100%.

Durante os leilões, cada pacote possuirá três valores associados: um valor referente à recompensa, caso o pacote seja entregue dentro do prazo estipulado, denotado por B_0 (do inglês *budget*); um valor referente à multa, caso o pacote não seja entregue, ou entregue após o prazo, denotado por F_0 (do inglês *Fine*); e um valor referente ao prazo limite para que o pacote seja entregue, medido em termos de número de saltos e denotado por H_0 (do inglês *Hops*).

Estes valores foram criados para que exista o controle da entrega dos pacotes e para incentivar os dispositivos da rede a auxiliarem no encaminhamentos dos dados. Cada nó que participa da entrega de um pacote ao seu destino dentro do prazo H_0 , recebe uma recompensa B_0 . Se a entrega não for realizada dentro do prazo, o nó é penalizado com uma multa F_0 . Em um cenário real, estas recompensas poderiam ser traduzidas em descontos mensais oferecidos pela operadora aos clientes que aceitassem participar colaborativamente do escoamento de tráfego. Por sua vez, as operadoras se beneficiariam da redução dos custos necessários para implementação e manutenção de novas infraestruturas que suportem o crescimento da demanda.

O leilão para um pacote acontece da seguinte forma: inicialmente, quando um AP deseja leiloar um pacote, ele envia uma mensagem de *broadcast*, denotada por RFB (do inglês *Request for bid*) e, todos os nós vizinhos que escutam esta mensagem, devem obrigatoriamente participar deste leilão. A mensagem RFB contém os valores de B_0 , F_0 e de H_0 do pacote. O AP espera por um determinado período de tempo t_0 para que todos os nós enviem seus lances e, após este período,

encaminha o pacote para o nó vencedor. Os lances b_i feitos pelos nós devem possuir valor máximo igual a B_0 , ou seja $b_i \leq B_0$. Os vencedores dos leilões feitos pelo *backbone* da rede são sempre os nós que ofertam os maiores lances. Os nós, por sua vez, podem usar outros critérios para escolherem os vencedores dos seus leilões. Caso um dispositivo devolva um pacote para um AP do *backbone*, que não seja o de destino final, deverá pagar o valor igual a B_0 , que foi o valor pelo qual o pacote foi leiloado pelo AP de origem.

Então, após o pacote ser repassado para a rede D2D por um AP, cada nó vencedor poderá anunciar um leilão segundo suas próprias regras. No entanto, existem algumas restrições as quais todos os nós estão sujeitos. A primeira delas é que a multa associada a um pacote nunca poderá ser maior que do que a recompensa associada a este pacote. Por exemplo, para o n -ésimo leilão anunciado, a multa F_n não poderá ser maior que B_n , ou seja, $F_n \leq B_n$. A segunda restrição é que um nó que anuncia um leilão, não pode propor uma multa maior do que a multa proposta pelo nó anterior. Assim, para o n -ésimo leilão para um dado pacote, a multa F_n não pode ser superior a multa F_{n-1} do leilão anterior, isto é, $F_{n-1} \leq F_n$. Outra limitação importante é que os nós não podem definir novos prazos para que o pacote seja entregue. O valor H_0 proposto no início deverá ser apenas decrementado a cada salto e não poderá ser aumentado durante a trajetória do pacote.

Após anunciar o *RFB* para o seu pacote, um nó espera até que os nós vizinhos enviem os seus lances. Quando todos os lances forem recebidos, o nó escolherá o vencedor segundo a estratégia adotada. Caso um nó vença um leilão mas não considere vantajoso repassar o pacote, é permitido que ele descarte-o e pague a multa associada a ele. Além disso, para que evitar que um pacote caia em um *loop*, não é permitido que os nós que já participaram do seu encaminhamento participem de outros leilões anunciados para este mesmo pacote.

Finalmente, caso um pacote seja entregue com sucesso pelo nó subjacente escolhido dentro do prazo H_0 estabelecido, o nó superior deverá pagar o valor da recompensa, acordado durante o leilão, ao nó escolhido. Caso o pacote não seja entregue, ou não seja entregue dentro do prazo, o nó subjacente deverá pagar ao nó superior o valor da multa acordado previamente. Por isto, o saldo de um nó poderá ser temporariamente negativo.

Para melhor entendimento do funcionamento dos leilões recursivos, o processo foi ilustrado nas Figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5. A Figura 3.2 ilustra a primeira etapa do funcionamento dos leilões recursivos em redes D2D. Primeiramente, para que um pacote seja escoado para a rede formada pelos dispositivos, o AP de origem anuncia o leilão para este pacote, com os valores de recompensa, ou seja, o valor a ser pago caso o pacote seja entregue dentro do prazo, o valor da multa, que será o valor pago caso o pacote não seja entregue do prazo estipulado e o prazo, em números de salto, para que este pacote seja entregue. A Figura 3.3 mostra os dispositivos da rede D2D, que estão dentro do raio de alcance do AP de origem e que ouviram o anúncio do leilão, ofertando os seus lances para este pacote. É importante ressaltar que o dispositivo que oferecer o menor lance será o vencedor de um leilão. Portanto, o dispositivo que oferece o valor de 90 pelo pacote, que é o menor valor dentre os valores ofertados neste caso, será o nó vencedor. Na Figura 3.4 é ilustrado o próximo passo. O dispositivo que ofereceu o menor lance vence o leilão e ganha então o direito de retransmitir o pacote leiloado. Por fim, na Figura 3.5, é mostrado o início do próximo leilão, que

será anunciado pelo dispositivo que venceu o leilão anterior. O nó vencedor anunciará o leilão para este mesmo pacote, mas desta vez com os valores diferentes, determinados segundo a sua própria estratégia de leilão. Note que o prazo anunciado pelo nó vencedor é decrementado em um e este valor não pode ser alterado.

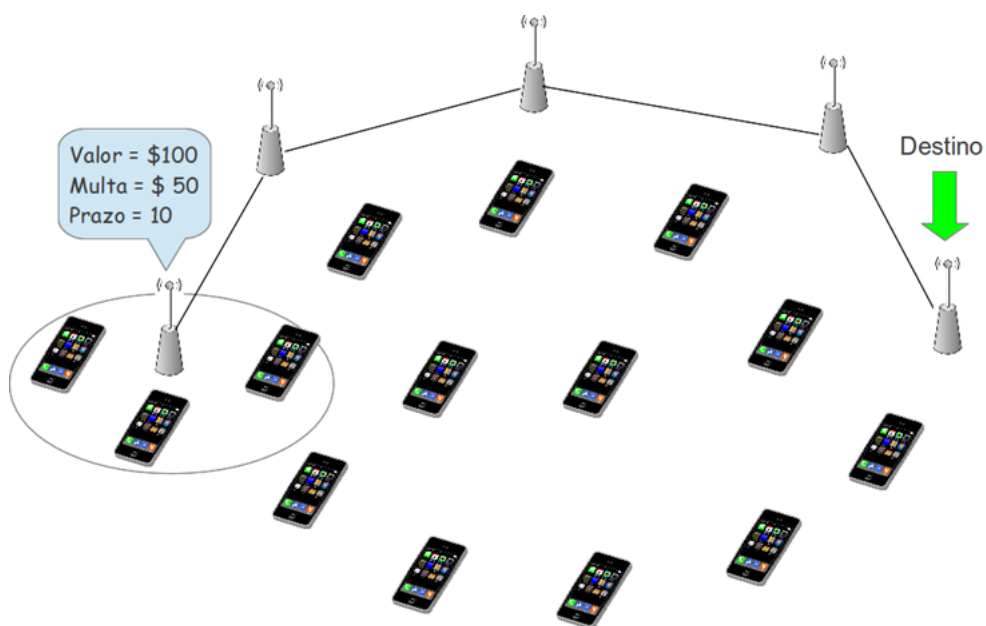


Figura 3.2: Exemplo de um AP que leiloa um pacote, para que seja entregue ao um outro AP de destino.

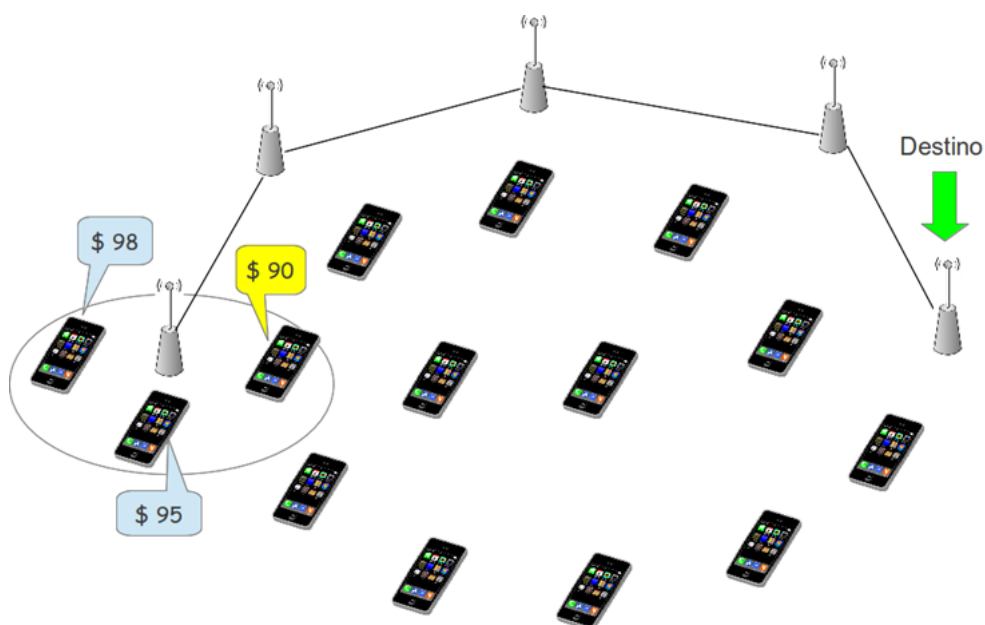


Figura 3.3: Exemplo de dispositivos oferecendo lances em resposta ao anúncio de um leilão.

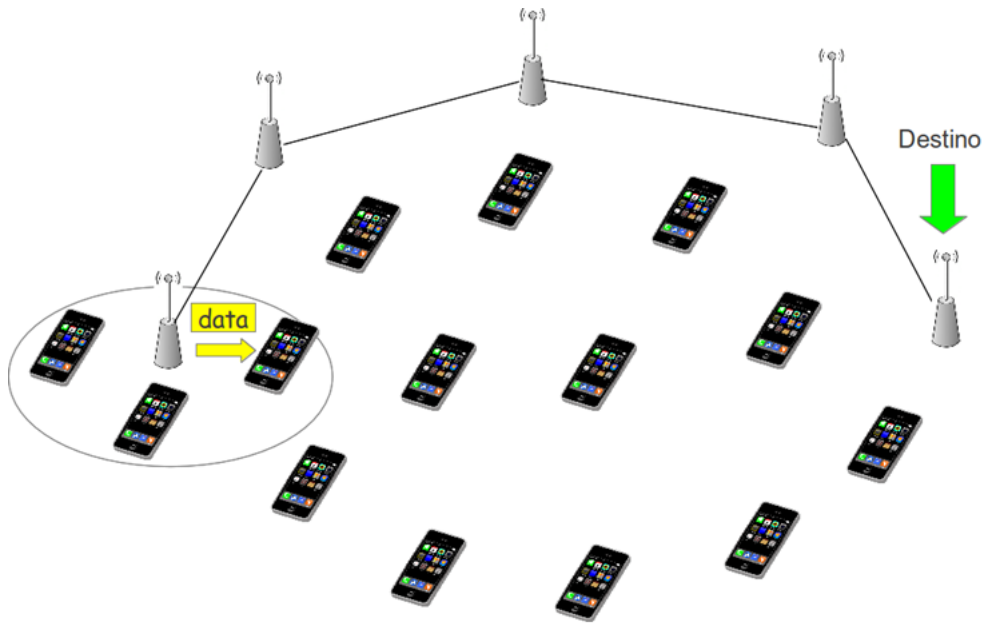


Figura 3.4: Exemplo de um pacote sendo entregue a um dispositivo após ser escolhido o vencedor de um leilão.

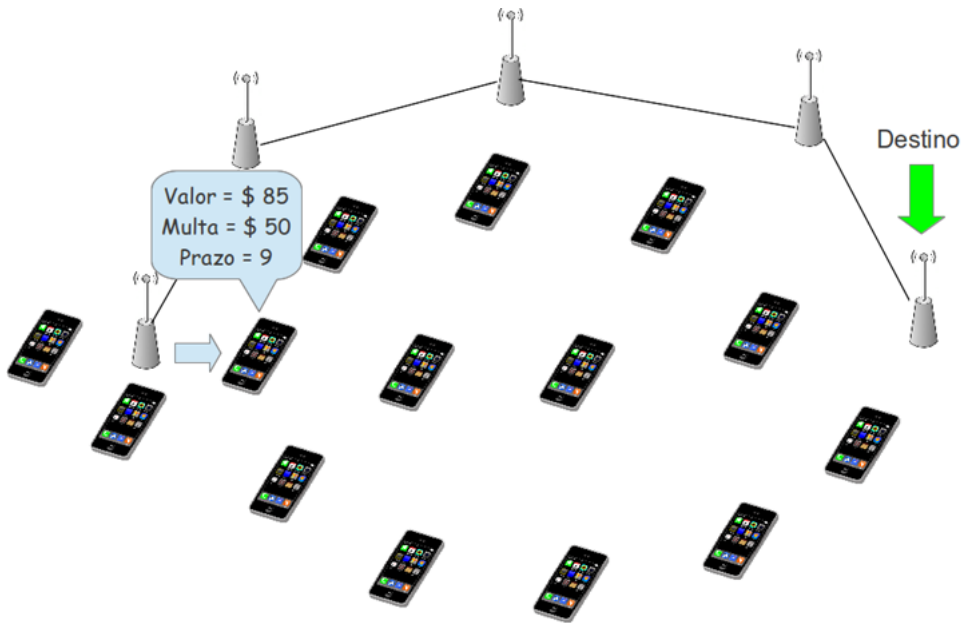


Figura 3.5: Exemplo de um dispositivo que anuncia um leilão para um dado pacote, após vencer um leilão e ganhar o direito de transmitir este pacote.

3.1 Estratégia do Aperto

A Estratégia do Aperto, proposta pela equipe da Universidade de Brasília durante o *MANIAC*, recebeu este nome por causa dos critérios levados em conta por um dispositivo que escolhe o

vencedor do seu leilão. A ideia de "aperto" remete a quão apertado está um nó para entregar um pacote, isto é, dado o prazo de entrega e a distância restante, em termos de saltos, que um nó deve percorrer ainda até chegar o seu destino final, é possível entregar o pacote a tempo ou não está muito "apertado" para que a entrega seja feita a tempo? Esta análise é feita por cada nó que implementa a Estratégia do Aperto durante a escolha de um vencedor para o seu leilão. Desta forma, esta estratégia busca priorizar a entrega de pacotes sob o lucro dos nós.

Uma estratégia adotada por um nó durante os leilões é, basicamente, dividida em três sub-estratégias. Uma delas, denominada Estratégia de Tomada de Decisões, está relacionada a como o nó leiloeiro escolherá o seu vencedor, ou seja, o que ele considera mais importante para que o pacote seja repassado. A segunda delas, chamada de Estratégia para Recompensas e Multas, define como um nó anunciará o seu leilão, ou seja, qual a recompensa ou multa ele aplicará, caso o pacote seja entregue ou não. A última delas, a Estratégia de Lances, define quais os valores dos lances que um nó ofertará ao ouvir os *RFBs*. Estas três sub-estratégias podem ser definidas de formas diferentes, de acordo com os objetivos desejados.

Em seu trabalho [3], L. S. Brito analisou também outras duas estratégias para que fosse feita a comparação dos desempenhos de cada uma delas. Além da Estratégia do Aperto, a Estratégia do Menor Caminho e a Estratégia do Maior Lance foram implementadas no simulador para que os resultados de cada uma delas fossem comparados. A Estratégia do Menor Caminho considera quem está mais próximo do destino para a escolha dos vencedores dos leilões. Já a Estratégia do Maior Lance considera o maior lance para a escolha dos seus vencedores. Quando comparados os resultados das estratégias, incluindo a Estratégia do Aperto, o desempenho das duas primeiras se mostrou pior do que a do Aperto, sob as mesmas circunstâncias. O foco deste trabalho é, no entanto, avaliar como a mobilidade dos nós que compõem o cenário em questão afeta o desempenho da Estratégia do Aperto.

Como já dito anteriormente, quando um nó anuncia um *RFB*, ele também anuncia os valores para B_0 , F_0 e para H_0 , que é dado em números de saltos. Além disso, seja hc_i o número de saltos do menor caminho, a partir do nó i até o AP de destino e p_i o número de saltos realizados pelo pacote, do AP fonte até o nó i . Estes valores são importantes para a definição da função que expressa o quão apertado um nó está. Esta função é denotada por Δ_i , e é chamada de "função do aperto". Em outras palavras, Δ_i diz o quão apertado o nó i está para entregar um dado pacote dentro do prazo H_0 estipulado. Sendo p_u a quantidade de saltos realizados por um pacote até o nó u , que é o nó superior ao nó i , Δ_i medirá o excedente ou o déficit, em quantidade de saltos, que o nó i possui, com relação a H_0 , se o pacote for entregue pelo caminho mais curto. Traduzindo em uma expressão matemática, a função do aperto se resume à Equação 3.1. Na equação, $\mathcal{N}(u)$ denota o conjunto dos nós que ouvem os *RFB* enviados pelo nó u , ou seja, seus vizinhos.

$$\Delta_i = (H_0 - p_u - 1) - hc_i, \quad \forall i \in \mathcal{N}(u) \quad (3.1)$$

É importante observar os três possíveis casos para o valor de Δ_i , que são $\Delta_i < 0$, $\Delta_i > 0$ e $\Delta_i = 0$. Se, para um dado nó i , tem-se que $\Delta_i < 0$, significa que o valor calculado para o seu "aperto" é negativo, ou seja, existe um déficit de saltos e não será possível que este nó entregue

o pacote dentro do prazo. Por outro lado, então, quando $\Delta_i < 0$, diz-se que o nó está com folga para entregar o pacote dentro do prazo estipulado, tendo chances maiores de realizar a entrega dentro de H_0 . E, quando $\Delta_i = 0$, diz-se que o nó está apertado, pois o nó precisa exatamente do número de saltos do menor caminho para realizar a entrega do pacote dentro do prazo H_0 . Nesta situação, existe a probabilidade do pacote ser entregue com sucesso no prazo, mas a entrega não depende apenas do nó i e existe a probabilidade de que os próximos nós que participarão do encaminhamento do pacote não realizem a entrega conforme previsto. Apresentado o principal conceito da Estratégia do Aperto, a seguir, são descritas as sub-estratégias que a compõem.

3.1.1 Estratégias de Lances

Uma vez que existe um valor para a recompensa e um valor para a multa, um nó que vence um leilão, obviamente irá desejar realizar a entrega com sucesso para que não haja prejuízo. Mas, podem ocorrer situações em que, mesmo com o melhor esforço, um pacote não possa ser entregue dentro do prazo desejado, obrigando este nó a pagar o valor da multa acordado. Desta forma, é importante que um nó analise as condições de entregar o pacote com sucesso antes de oferecer um lance em um leilão, de maneira que, se o nó chegar à conclusão que não é vantajoso vencer, ele deverá dar um lance mais alto. Caso o nó verifique que é possível a entrega dentro do prazo, ele será, então, mais agressivo em seu lance. Assim, utilizando a Estratégia do Aperto, os nós devem avaliar as probabilidades de entrega ou falha, comparando, inclusive, com as probabilidades dos nós competidores do mesmo leilão.

Para analisar as probabilidades de entrega dos nós competidores, é necessário definir primeiro o conjunto que os contém. Para um dado nó u que anuncia um leilão, os nós que ofertam lances para o seu leilão serão sempre os seus nós vizinhos, contidos no subconjunto denotado aqui por $\mathcal{N}(u)$. Desta forma, para um dado nó n que escuta um *RFB* emitido por um nó u , os seus competidores serão os nós contidos em $\mathcal{N}(u)$. Lembrando da análise feita na seção anterior, apenas os nós que apresentarem um valor positivo ou igual a zero para a função do aperto, definida na equação 2.1, estarão aptos a realizar a entrega com sucesso, ou seja, apenas os nós i com $\Delta_i \geq 0$ serão os reais competidores em um leilão.

Após serem computados os valores de Δ_i para cada nó i contido no subconjunto $\mathcal{N}(u)$, selecionando-se aqueles que possuem valores maiores ou iguais a zero, obtém-se, então, os nós competidores aptos a realizar a entrega em tempo, formando o subconjunto $\mathcal{S}(u)$.

A Estratégia do Aperto foi desenvolvida de maneira a dar prioridade aos nós que possuem maior probabilidade de entrega, durante a escolha de um vencedor para um leilão. Assim, um nó deve analisar, de alguma forma, o quão "apertados" estão os nós pertencentes $\mathcal{S}(u)$, através dos valores computados Δ_i para cada um destes nós.

Para isto, utilizando a equação 3.2, que calcula o "aperto" médio dos nós do conjunto $\mathcal{S}(u)$, é possível obter uma comparação de quão competitivo está um nó com os relação aos outros nós participantes, uma vez que o principal critério na escolha de um nó vencedor será o seu valor de Δ , ou seja, quão apertado ele está.

$$\bar{\Delta} = \frac{1}{|\mathcal{S}(u)|} \sum_{i \in \mathcal{S}(u)} (H_0 - p_u - 1) - hc_i = (H_0 - p_u - 1) - \bar{hc} \quad (3.2)$$

Onde $|\mathcal{S}(u)|$ indica a quantidade de nós contidos em $\mathcal{S}(u)$ e \bar{hc} é a média da quantidade de saltos do melhores caminhos, de cada nó i contido em $\mathcal{S}(u)$.

De posse do valor de $\bar{\Delta}$, é possível agora comparar o valor médio de "aperto" dos nós contidos no conjunto participante do leilão, e comparar este valor ao "aperto" de um nó n , por exemplo, que deseja avaliar o quão competitivo ele é com relação aos outros nós, para definir melhor o valor do lance que irá ofertar. Por meio da equação 3.3, é obtido o valor de c_n , que representa o "aperto relativo" de um dado nó n .

$$c_n = \frac{\Delta_n}{\bar{\Delta}} \quad (3.3)$$

Seja n um nó que faz uma análise da competitividade através dos valores de c_n . Se $c_n < 1$ e $\Delta_n > 0$, isto significa que existe a probabilidade do nó n entregar o pacote dentro do prazo mas que $\Delta_n < \bar{\Delta}$, ou seja, o grau de "aperto" dos outros nós, em média, é maior do que o de n , isto é, os outros nós estão mais folgados para realizar a entrega do pacote. Quando um nó tem ciência que a sua a probabilidade de entregar um pacote é maior, ele tende a ser mais agressivo nos seus lances, oferecendo valores menores na tentativa de ganhar o leilão. Assim, os nós que competem com n , oferecerão lances com valores mais baixos. Além disso, se o grau de "aperto" médio dos nós concorrentes for maior do que o grau de "aperto" de n , isto significa que n está menos apto a entregar o pacote dentro do prazo, possuindo maior probabilidade de falha na entrega e de ter que pagar uma multa ao nó u leiloeiro. Diante destas circunstâncias, o nó n irá preferir oferecer um lance pouco competitivo com o objetivo de não vencer este leilão, uma vez que não parece vantajoso tentar entregar este pacote. O valor de seu lance será o mais próximo possível de B_u .

Supondo agora, uma situação contrária, onde $c_n > 1$. Desta vez, n estará mais competitivo, quando comparado à média dos outros nós participantes. Uma vez que n conclui que a sua probabilidade de entrega, dentro do prazo, é maior do que de seus competidores, ele tenderá a ser mais agressivo no seu lance, na tentativa de ganhar este leilão, oferecendo então valores mais baixos, próximos a F_u .

É importante também analisar o quão distante o valor de Δ_n está do maior valor de Δ_i , para algum $i \in \mathcal{S}(u)$. Isto por que, se o valor de Δ_n for muito superior que Δ_{max} , o nó n será muito mais competitivo e a melhor opção do nó u leiloeiro. Desta forma, o lance de n será o mais agressivo possível, com valores baixíssimos para garantir que o leilão seja vencido. Mas, se o valor de Δ_n for muito inferior ao valor de Δ_{max} , n não será uma boa opção para o nó leiloeiro e existirá, pelo menos, algum outro nó que estará melhor posicionado e que fará um lance mais agressivo. Com base nesta análise, é proposto um outro parâmetro de avaliação a_n , descrito na equação 3.4.

$$a_n = \frac{\Delta_n}{\Delta_{max}} \quad (3.4)$$

Desta forma, o lance $O(x)$ ofertado pelo nó n será baseado nestes parâmetros de comparação a_n

e c_n e também com base nos valores B_u e F_u , que são os valores de recompensa e multa associados ao pacote em leilão, anunciados pelo nó leiloeiro. O valor de $O(x)$ será dado pela equação 3.5.

$$O(x) = (B_u - F_u) \left[1 - \frac{1}{1 + e^{-a_n(c_n - 1)}} \right] + F_u \quad (3.5)$$

Onde $x = [a_n \ c_n \ F_u \ B_u]$ e $F_u \leq O(x) \leq B_u$. O valor de c_n é o centro da função e o valor de a_n define a inclinação da curva, mostrada na Figura 3.6, que mostra um exemplo de uma função para lances para diferentes valores de a_n , quando $B_u = 200$ e $F_u = 80$.

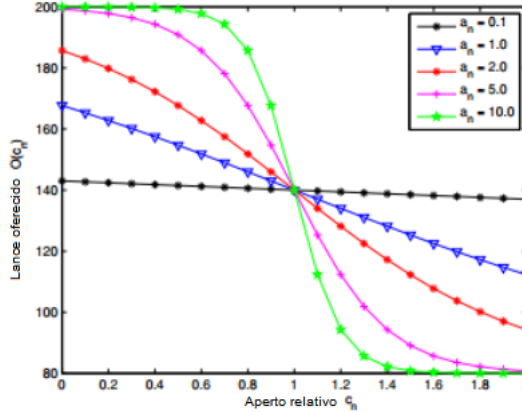


Figura 3.6: Exemplo de curvas de lances $O(c_n)$ para diferentes valores de a_n , quando $B_u = 200$ e $F_u = 80$. [2].

Por fim, considera-se também a situação onde $\Delta_n < 0$, isto é, o nó n não está apto a entregar o pacote dentro do prazo definido H_0 . Assim, n fará um lance alto, igual a B_u , para que não seja escolhido como vencedor do leilão. A oferta feita por um nó também será igual a B_u quando não houver competidores, para que o lucro deste nó seja máximo. O lance também terá o valor B_u quando $\Delta_n = 0$, isto é, quando n estiver extremamente apertado para entregar o pacote.

3.1.2 Estratégia para definição do orçamento e multa

Quando um nó ganha o direito de repassar um pacote, outro leilão deve ser anunciado para que ele seja repassado novamente para outros nós, até que chegue ao seu destino final. Assim, quando é enviada uma mensagem RFB aos nós vizinhos, a estratégia utilizada para definição da recompensa B_n para um pacote, na Estratégia do Aperto, será sempre uma fração do valor anterior ofertado, como mostra a equação 3.6.

$$B_n = 0.95 \times O_{n-1}^* \quad (3.6)$$

Onde, para o nó n , o valor O^* é o valor ofertado no leilão do nó anterior $n - 1$ que foi escolhido como lance vencedor.

Além do valor da recompensa, o valor da multa F_n também precisa ser definido. O seu valor, assim como na estratégia para definir a recompensa, será determinado por uma fração, mas da recompensa que será ofertada por este nó. É importante lembrar que o valor da penalidade anunciado por um nó no seu RFB deve ser obrigatoriamente menor que o valor da recompensa ofertado. A multa será definida, então, segundo a equação 3.7.

$$F_n = 0.4 \times B_n \quad (3.7)$$

Estes valores são considerados razoáveis, de maneira que o valor da recompensa ofertado foi definido de forma a ser vantajoso para o nó que anuncia o leilão, e o valor da multa é definido de maneira que, se um nó não realizar a entrega com sucesso, ele não será demasiadamente penalizado por isto.

3.1.3 Estratégia para definir o vencedor de um leilão

Na Estratégia do Aperto, os dois principais critérios levados em consideração na hora de escolher o vencedor de um leilão são os valores dos lances b_i ofertados por cada nó i e também os valores do "aperto" relativo c_i de cada nó. Sendo \mathcal{B} o conjunto dos nós que fizeram um lance em resposta ao RFB anunciado, o vencedor será escolhido com base no resultado da função de preferência P , que avalia os nós no conjunto $\{(b_i, c_i) | i \in \mathcal{B}\}$. Desta forma, o vencedor será o que oferece o maior valor de P :

$$\text{vencedor do leilão} = \arg \max_{i \in \mathcal{B}} P(b_i, c_i) \quad (3.8)$$

Para escolher um vencedor, o leiloeiro precisa, então, computar os valores de c_i para todos os nós i do conjunto \mathcal{B} . Para comparação, foram utilizadas duas funções de preferência, uma baseada em um hiperplano e outra baseada na função Gaussiana.

3.1.3.1 Função de preferência Hiperplano

A função hiperplano foi utilizada pela sua simplicidade e baixa complexidade computacional, além de ser possível configurar a sua inclinação em direção a b_i ou c_i , tornando possível selecionar quais parâmetros são mais importantes na hora da escolha de um vencedor. Para definir a função, dois pontos são definidos em duas situações. A primeira delas é quando $c_i = 0$ e $b_i = B_n$, isto é, quando o nó i está muito apertado para realizar a entrega e o pacote deve seguir exatamente o melhor caminho. Nesta condição, a função de preferência deve ter valor mínimo, uma vez que a probabilidade de que o pacote não seja entregue a tempo é alta. Assim, $P_n(0, B_n) = 0$. De maneira oposta, quando $c_i = c_{max}$, onde c_{max} depende do maior valor de Δ_i , o valor da função de preferência é máximo, uma vez que o nó com maior probabilidade de entrega deverá possuir maior preferência e ser escolhido como vencedor do leilão.

Outros dois casos interessantes devem ser analisados. Um deles acontece quando $P_n(0, 0)$, que é quando um nó n está muito apertado para realizar a entrega, com $\Delta_n = 0$, mas oferece um lance $B_n = 0$, ou seja, aceita entrega o pacote sem cobrar nada. O outro caso ocorre quando $P_n(B_n, c_{max})$, isto é, um nó n possui $c_n = c_{max}$, ou seja, é o nó menos apertado e com maior probabilidade de entrega dentro do prazo, mas oferece um lance B_n com o maior valor permitido. Desta forma, faz-se $P_n(0, 0) = k_1$ e $P_n(B_n, c_{max}) = k_2$, onde $0 < k_1 < k_2$, favorecendo a entrega de pacotes sobre o lucro. A Figura 3.7 mostra o exemplo de uma função hiperplano com $B_n = 20$, $c_{max} = 3$, $k_1 = 2$ e $k_2 = 3$.

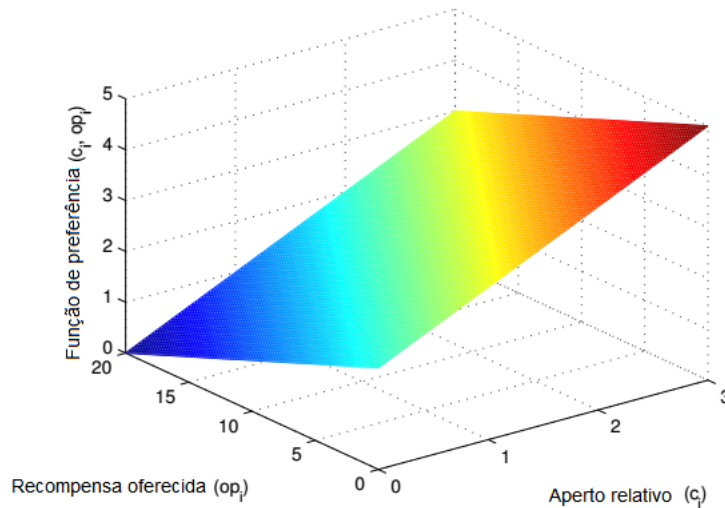


Figura 3.7: Exemplo de função de preferência para os valores $B_n = 20$, $c_{max} = 3$, $k_1 = 2$, e $k_2 = 3$ [2].

Em outros trabalhos, também foi investigado desempenho da estratégia utilizando como função de preferência a função Gaussiana, com diferentes pontos de operação. Neste estudo, as simulações foram realizadas apenas para a função hiperplano, que proveu os melhores resultados.

Neste Capítulo foram explicadas as principais etapas envolvidas nos leilões recursivos em redes D2D, sendo detalhados os mecanismos de oferta de lances, de anúncio de leilões e da escolha de um vencedor para um dado leilão anunciado, dentre outras regras específicas sob as quais estes leilões recursivos operam. Após isto, a Estratégia do Aperto e as sub-estratégias que a compõem foram explicadas. No próximo Capítulo, os cenários de simulação utilizados são detalhados, bem como o simulador utilizado e alguns parâmetros físicos escolhidos para as simulações.

Capítulo 4

Escoamento de Tráfego via Redes *Ad Hoc*

Para que uma análise mais profunda de um novo protocolo para redes *Ad Hoc* seja feita, é importante simular e fazer a análise e a avaliação deste protocolo. Alguns parâmetros-chave nas simulações são o modelo de mobilidade dos nós e o padrão do tráfego de comunicação entre os nós. Este trabalho busca analisar o desempenho da Estratégia do Aperto sob diferentes modelos de mobilidade. O objetivo deste capítulo é, então, apresentar os cenários utilizados nessas simulações e descrever os modelos utilizados para uma análise mais aprofundada do seu desempenho.

Além da descrição do cenário, incluindo a sua configuração e a dos nós que o compõe, são apresentados também os modelos de mobilidade utilizados, a descrição dos principais parâmetros destes modelo e como estes foram variados durante as simulações. As configurações da camada física, de enlace, de rede e de transporte também são brevemente explicadas.

4.1 O Simulador NS-3

Desenvolvido em 2006, o NS-3 é um simulador de rede a eventos discretos, desenvolvido na linguagem C++ e originalmente para uso educacional e para pesquisas. O NS-3 disponibiliza um ambiente de simulação aberto para que as necessidades das pesquisas em redes, feitas através de simulações, sejam atendidas, permitindo monitorar o comportamento e trajeto de pacotes. Além disso, foi desenvolvido de maneira a encorajar a comunidade a contribuir com novos módulos, e a revisar e validar os módulos já existentes.

As simulações realizadas no NS-3 suportam pesquisas em redes baseadas em IP e redes não baseadas em IP. No entanto, muitas pesquisas com foco em simulações em redes sem fio baseadas em IP, que envolvem, por exemplo, modelos de Wi-Fi, WiMAX ou LTE, para as camadas 1 e 2 e também com foco em protocolos dinâmicos como o OLSR e AODV são realizadas pela comunidade acadêmica utilizando o simulador. Em sua estrutura, este simulador é composto por um conjunto de bibliotecas que podem ser combinadas juntas e também com outras bibliotecas de

softwares externos. Além disso, é possível a integração de módulos que não são disponibilizados pelo simulador, ou seja, é possível desenvolver módulos, de acordo com o padrão proposto pelo NS-3, e utilizá-los em conjunto com outros módulos do simulador.

Em todas as suas versões, sendo a mais recente a versão 3.25 (até a presente data), o simulador conta com uma documentação completa, além de uma lista de *e-mails* e diversos fóruns. A versão utilizada para as simulações foi a 3.17, por questões de compatibilidade com o módulo desenvolvido para o escoamento dos dados através da estratégia do aperto. Além do módulo desenvolvido por Lucas S. Brito [3], os principais módulos utilizados para as simulações foram os módulos para os modelos de mobilidade utilizados (Gauss-Markov, Random WayPoint e Random Walk2D). Além destes, os módulos para redes Wi-Fi, e para o protocolo OLSR foram utilizados para compor o ambiente de simulação.

4.2 Cenário de Simulação

Para avaliar o desempenho da “Estratégia do Aperto” em uma rede *Ad Hoc*, o simulador NS-3 foi utilizado para realizar as simulações dos cenários e para a coleta dos resultados. O NS-3 contém um módulo WiFi que permite a criação de redes nos modos de infraestrutura e também no modo *Ad Hoc*, sob os padrões IEEE 802.11. Os padrões disponibilizados pelo NS-3 são o 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n (com frequências de 2.4 GHz e 5 GHz) e também o padrão 802.11ac. A implementação é feita de maneira modular, através de três subcamadas: a camada PHY, a camada MAC *low* e a camada MAC *high*. A classe `ns3::WifiHelper` foi utilizada para a implementação.

4.2.1 Camada Física

Os parâmetros utilizados na camada PHY do NS-3, estão descritos na Tabela 4.1. A potência de transmissão em 16.026 dBm se traduz, neste cenário, em um alcance de 150 metros. A fim de minimizar os erros causados pelo canal e a análise seja focada apenas na taxa de entrega de pacotes em cada estratégia, nenhum desvanecimento de pequena escala foi implementado.

4.2.2 Camada de Enlace

O padrão Wi-Fi utilizado nos nós foi o IEEE 802.11g através do `WIFI PHY STANDARD 80211g` do NS-3. Também foi utilizado também o modelo `ns3::YansWifiPhyHelper` para a camada PHY. Foi utilizada a classe `ns3::NqosWifiMacHelper` para criar camadas MAC sem QoS. Para que fosse implementada a rede *Ad Hoc* nessa simulação, foi utilizada a classe `ns3::AdhocWifiMac`, da classe `ns3::WifiMac`.

Como a rede poderia estar sujeita a erros causados pelos efeitos de propagação de larga escala, como por exemplo, atenuação do sinal e colisão de pacotes, foi implementado CSMA/CD na camada MAC do NS-3. Além disso, os quadros são transmitidos a 1 Mb/s e quadros de RTS/CTS não são utilizados.

Parâmetros da camada PHY	
Potência de transmissão	16.0206 dBm
Frequência de transmissão	2.407 GHz
Limiar de detecção de energia	-67.5785 dBm
Limiar CCA	-71.1003 dBm

Tabela 4.1: Valores dos parâmetros utilizados na camada PHY do NS-3

4.2.3 Camada de Rede

Para que os nós fizessem a descoberta da topologia, foi utilizado o protocolo OLSR. Ele foi instalado nos nós móveis, através da classe `ns3::OlsrHelper`. Com esta classe é possível implementar os principais mecanismos utilizados pelo OLSR, como seleção de MPR, simulação de mensagens HELLO e das mensagens de controle TC, simulação das tabelas de roteamento, de topologia e de vizinhos, entre outros.

Levando em conta que OLSR é proativo, ou seja, realiza trocas constantes de mensagens, é necessário aguardar um período de tempo até que as informações referentes à topologia sejam divulgadas a todos os nós. Por isso, no início da simulação, aguarda-se um período de 30 segundos, antes do início dos leilões.

4.3 Descrição do Cenário

O cenário utilizado para as simulações é formado basicamente por dois tipos de dispositivos, os que compõem o *backbone* de rede da operadora e os que compõem a rede *Ad Hoc*. Os nós do *backbone* são nós estáticos, que representam os APs, utilizados para representar a infraestrutura de uma operadora. Os nós da rede *Ad Hoc*, por sua vez, representam os usuários móveis em uma rede sem fio, que disponibilizam a infraestrutura de seus dispositivos móveis para que seja feito o escoamento do tráfego.

No total, nas topologias utilizadas para as simulações, existem 132 nós. Deste total, 100 nós compõem a rede *Ad Hoc* e os outros 32 compõem a infraestrutura do *backbone*. O espaço é delimitado a um quadrado com dimensões de 800×800 metros. Os nós da infraestrutura de *backbone* da rede estão dispostos na fronteira deste espaço, espaçados uniformemente, enquanto os nós da rede *Ad hoc* foram posicionados de maneira aleatória, dentro do espaço delimitado. Para cada configuração de um modelo de mobilidade, foram simuladas três topologias diferentes. A Figura 4.1 mostra um exemplo de topologia utilizada nas simulações.

Além disso, todos os nós que compõem a rede utilizam o protocolo OLSR para poder ter uma visão completa da topologia da rede. Como o OLSR é um protocolo proativo, existe um período de 30 segundos de “aquecimento” da rede, que antecede o início do escoamento dos dados pelos APs. Neste período, as mensagens de controle do OLSR são trocadas entre os nós para que as informações relativas à topologia da rede sejam distribuídas para todos os nós.

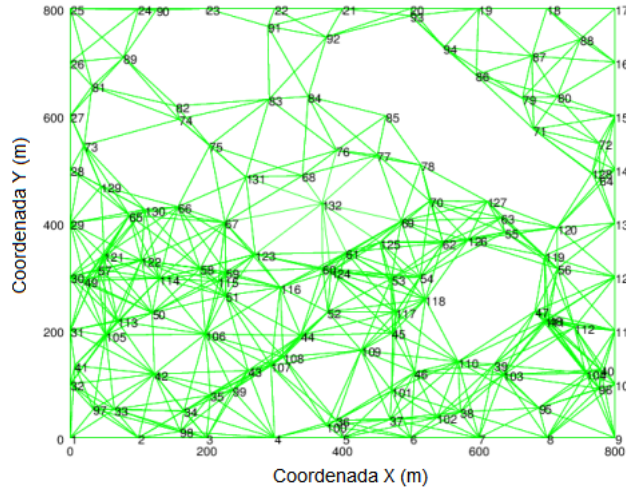


Figura 4.1: Exemplo de uma topologia aleatória usada nas simulações. As linhas verdes indicam a conectividade entre os nós, baseado no alcance de transmissão. Para cada nó da topologia é atribuído um número. Os nós que se encontram na borda, constituem a infraestrutura de *backbone* e estão numerados de 1 a 32. O restante dos nós constituem a rede D2D e estão numerados de 33 a 132. [2]

Durante a simulação, apenas um leilão é feito por vez. O intervalo de tempo entre os anúncios dos leilões, feitos pelos APs, é de 3 segundos e o tempo limite de espera após um anúncio de um leilão, ou seja, o intervalo de tempo que os nós têm para dar um lance, é de 50 milissegundos. Para garantir que diferentes APs executem leilões simultaneamente, um intervalo de guarda de 10 segundos é adicionado após os 50 pacotes serem leiloados por um AP. Dessa forma, cada AP deve esperar 160 segundos antes de iniciar o leilão de seus pacotes. A simulação, ao total, dura 5.200 segundos.

Cada pacote possui um valor associado referente ao prazo de entrega deste pacote, medido em saltos, um valor referente à recompensa e um valor referente à multa, caso o pacote seja entregue ou não. No primeiro leilão, anunciado pelo AP do *backbone*, o valor inicial do prazo de entrega (H_0) é de 10 saltos; o valor inicial da recompensa (B_0) é de 1000 e o valor inicial da multa (F_0) é de 400.

Com a finalidade de avaliar o impacto da mobilidade dos nós da rede *Ad hoc* no desempenho da estratégia do aperto, foram utilizados alguns modelos de mobilidade, disponibilizados pelo simulador. Os modelos utilizados são os modelos *Random WayPoint*, *Random Walk2d* e *Gauss-Markov*, descritos nos capítulos anteriores. É importante ressaltar que os modelos de mobilidade são instalados apenas nos nós da rede *Ad Hoc* e nunca nos nós do *backbone*. Também foram feitas simulações sem mobilidade, onde os nós da rede são estáticos, para fins de comparação.

Quando utilizado o modelo de mobilidade *Gauss-Markov*, foram avaliados além do impacto da mobilidade, o impacto da natureza do movimento do nó na rede. Este modelo de mobilidade funciona de forma que, a cada intervalo de tempo pré-definido, seja calculado um novo movimento,

Parâmetros de simulação	
α	Velocidade em m/s
0	0.1 a 0.5
	0.5 a 0.75
	0.75 a 1.0
0.25	0.1 a 0.5
	0.5 a 0.75
	0.75 a 1.0
0.5	0.1 a 0.5
	0.5 a 0.75
	0.75 a 1.0
0.75	0.1 a 0.5
	0.5 a 0.75
	0.75 a 1.0
1.0	0.1 a 0.5
	0.5 a 0.75
	0.75 a 1.0

Tabela 4.2: Valores dos parâmetros utilizados no modelo de mobilidade Gauss-Markov

ou seja, os próximos valores da direção e da velocidade de um nó. Assim, um dos parâmetros deste modelo é o valor de α , que representa a aleatoriedade do movimento, isto é, o grau de memória de um movimento em relação ao anterior. Quando α é nulo, o movimento é totalmente aleatório, não tendo relação alguma com o movimento anterior. De maneira oposta, quando o valor de α é 1, o próximo movimento será idêntico ao movimento anterior calculado. Desta forma, variando os valores de α durante as simulações, foi possível tornar o movimentos dos nós mais ou menos natural e, assim, fazer uma avaliação mais realista do desempenho do modelo proposto.

Para avaliar o impacto da mobilidade utilizando o modelo Gauss-Markov, foram utilizados os valores de 0, 0,25, 0,5, 0,75 e 1,0 para α , para observar o impacto da aleatoriedade do movimento no desempenho da rede. Também foram variados os valores da velocidade dos nós na rede, sendo escolhidos valores aleatórios, tomados de maneira uniforme dentre os três intervalos: $[0, 1 \ 0, 5]$ m/s, $[0, 5 \ 0, 75]$ m/s e $[0, 75 \ 1, 0]$ m/s. Variando estes dois parâmetros, velocidade do nó e α , para este modelo, foram simulados no total 15 cenários diferentes, mas com topologias iguais. A Tabela 4.2 resume os valores do parâmetros utilizados nas simulações.

Para o modelo *Random Walk2d*, o único parâmetro variado, para avaliação da mobilidade, foi a velocidade com a qual o nó se move, também sendo tomados valores aleatórios uniformes nos mesmos intervalos: $[0, 1 \ 0, 5]$ m/s, $[0, 5 \ 0, 75]$ m/s e $[0, 75 \ 1, 0]$ m/s.

Já para o modelo *Random WayPoint*, para a simulação dos cenários, foram variados os valores do tempo de pausa entre os movimentos e da velocidade com a qual o nó se move na topologia. Os valores para as velocidades dos nós foram gerados de maneira similar aos valores gerados para

as velocidades utilizando os outros modelos, de maneira aleatória uniforme, dentro dos mesmos intervalos citados anteriormente. Os valores de pausa foram também tomados uniformemente, mas no intervalo de 0 a 20 segundos.

Os cenários foram planejados de forma que cada AP deve gerar 50 pacotes para serem escoados pela rede *Ad Hoc*. Um a um, cada AP envia os seus pacotes para um outro AP, de destino fixo, localizado propositalmente na outra extremidade da topologia. Após o envio destes 50 pacotes, o próximo AP envia os seus pacotes e assim por diante.

Capítulo 5

Avaliação de Desempenho

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas simulações realizadas no NS-3. Inicialmente, são apresentadas as definições das medidas de desempenho utilizadas para avaliação, que são taxa de entrega de pacotes, índice de justiça, lucro médio relativo por nó e número médio de saltos para cada pacote. Em seguida, são apresentados os resultados das simulações para diferentes cenários de mobilidade, onde são variados os parâmetros dos modelos de mobilidade, como grau de aleatoriedade dos movimentos, no modelo *Gauss-Markov* e tempo de pausa dos nós na topologia, no modelo *Random WayPoint*.

5.1 Medidas de Desempenho

Para um dado pacote na rede, o nó n oferece um lance B_{n-1} para ganhar o direito de retransmissão e, em seguida, anuncia-o em um leilão onde o lance máximo tem valor B_n . Como $B_n \leq B_{n-1}$, e como a multa associada a um pacote nunca poderá ser maior do que a recompensa associada a este pacote, os nós que participam do encaminhamento dos pacotes, ao final, terão um balanço positivo. Aqui, como métrica de avaliação, é utilizado o Lucro Médio Relativo por nó, que é o saldo acumulado de um nó, dividido pelo ganho inicial B_0 (anunciado pelo AP que deseja descarregar este pacote na rede D2D). Nas simulações feitas, o valor de B_0 é sempre 1000. Esta métrica foi definida desta forma porque presume-se que é mais importante entender o lucro médio acumulado como o ganho sobre o valor associado àquele pacote pelo AP que o descarrega na rede. É importante avaliar o Lucro Médio Relativo dos nós para verificar o quão interessante é a estratégia proposta para os dispositivos que participam do encaminhamento dos pacotes e se ela ainda seria atrativa, do ponto de vista financeiro, em um cenário real. As simulações foram feitas, então, para que pudesse ser avaliado o impacto da mobilidade no saldo final de cada nó.

Além da lucratividade associada à Estratégia do Aperto, deve-se avaliar também o quão eficiente é o seu desempenho no que tange à entrega dos pacotes. Tão importante quanto ser financeiramente atrativo para os dispositivos da rede D2D, para as operadoras, e para os clientes finais é crucial que o descarregamento do tráfego ocorra de maneira eficiente e que os pacotes não se percam durante o seu trajeto. Desta forma, são feitas várias análises de como a mobilidade impacta

no desempenho da rede e como a natureza da mobilidade dos nós influencia neste desempenho. A taxa de entrega de pacotes é definida como a taxa de pacotes entregues pela rede D2D, dentro do prazo, com relação ao número total de pacotes escoados pela operadora.

Outra forma de avaliar a eficiência da estratégia proposta é verificar o número médio de saltos que um pacote dá até chegar ao seu destino final. Em um cenário real, esta avaliação poderia ser feita associando estes valores a valores de atraso médios em um salto, medidos em segundos ao invés de número de saltos, por exemplo. Para um cenário mais realista, então, é necessário observar como a mobilidade dos nós em uma rede dinâmica e, portanto, com alterações constantes na topologia, altera os caminhos tomados pelos pacotes na rede.

A última métrica utilizada na avaliação do impacto da mobilidade da rede é o índice de justiça de Jain [7]. Este índice é utilizado para representar a justiça na distribuição dos ganhos entre os nós da rede. É importante notar que, um dos aspectos mais importantes da ideia do uso de leilões recursivos é estimular a participação e colaboração dos nós na rede, os quais cederão recursos preciosos para isso (energia, banda, processamento, etc). Logo, além de medir a eficiência na entrega dos pacotes e número médio de saltos necessários para cumprir a tarefa, é importante entender o quão justo a estratégia do aperto é sob diferentes padrões de mobilidade. Quanto mais justa, maior a chance de colaboração e participação nos ganhos lucrativos da rede. Desta forma, é feita a análise de como a mobilidade impacta no índice de justiça da rede. O índice de justiça de Jain é definido pela Equação 5.1.

$$\mathcal{J}(x_0, x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=0}^n x_i)^2}{n \sum_{i=0}^n x_i^2}, \quad (5.1)$$

sendo x_i é ganho final do nó i .

5.2 Modelo de mobilidade *Gauss-Markov*

Nesta seção, é feita a análise do impacto do parâmetro α , utilizado pelo modelo de mobilidade *Gauss-Markov*, sobre o desempenho do descarregamento de tráfego sobre a rede D2D. Como explicado na Subseção 2.2.3, α define a contribuição da “perturbação aleatória” introduzida no movimentos dos nós, definida nas Equações 2.1 e 2.2 e representada por uma variável aleatória Gaussiana. Quanto menor o valor de α , maior a contribuição do valor da variável aleatória para o cálculo da nova posição e velocidade do nó. Quando o seu valor é mais próximo de 0, o movimento de um nó tende a ser mais aleatório. À medida que seu valor aproxima-se de 1, diminui a contribuição da variável aleatória definida nas Equações 2.1 e 2.2, e a nova posição e velocidade são praticamente as mesmas que as calculadas no passo anterior. Neste caso, o modelo de *Gauss-Markov* aproxima-se do modelo *Random Walk*.

Nos cenários avaliados, as simulações são feitas de forma que os nós se movem com velocidade que varia uniformemente entre 0,1 e 0,5 m/s. Com a mesma configuração, variou-se o valor de α em 0, 0,25, 0,50, 0,75, e 1,0, para cada uma das três topologias. Além disso, os termos \bar{s} e \bar{d} , das Equações 2.1 e 2.2, foram configurados com média e variância nulas. Os resultados para a taxa de

entrega de pacotes são mostrados na Figura 5.1. Observa-se que os melhores resultados são obtidos para os menores valores de α , nas três topologias. Isto é, quando mais aleatório era o movimento, ou seja, mais natural, maior é a taxa de entrega de pacotes.

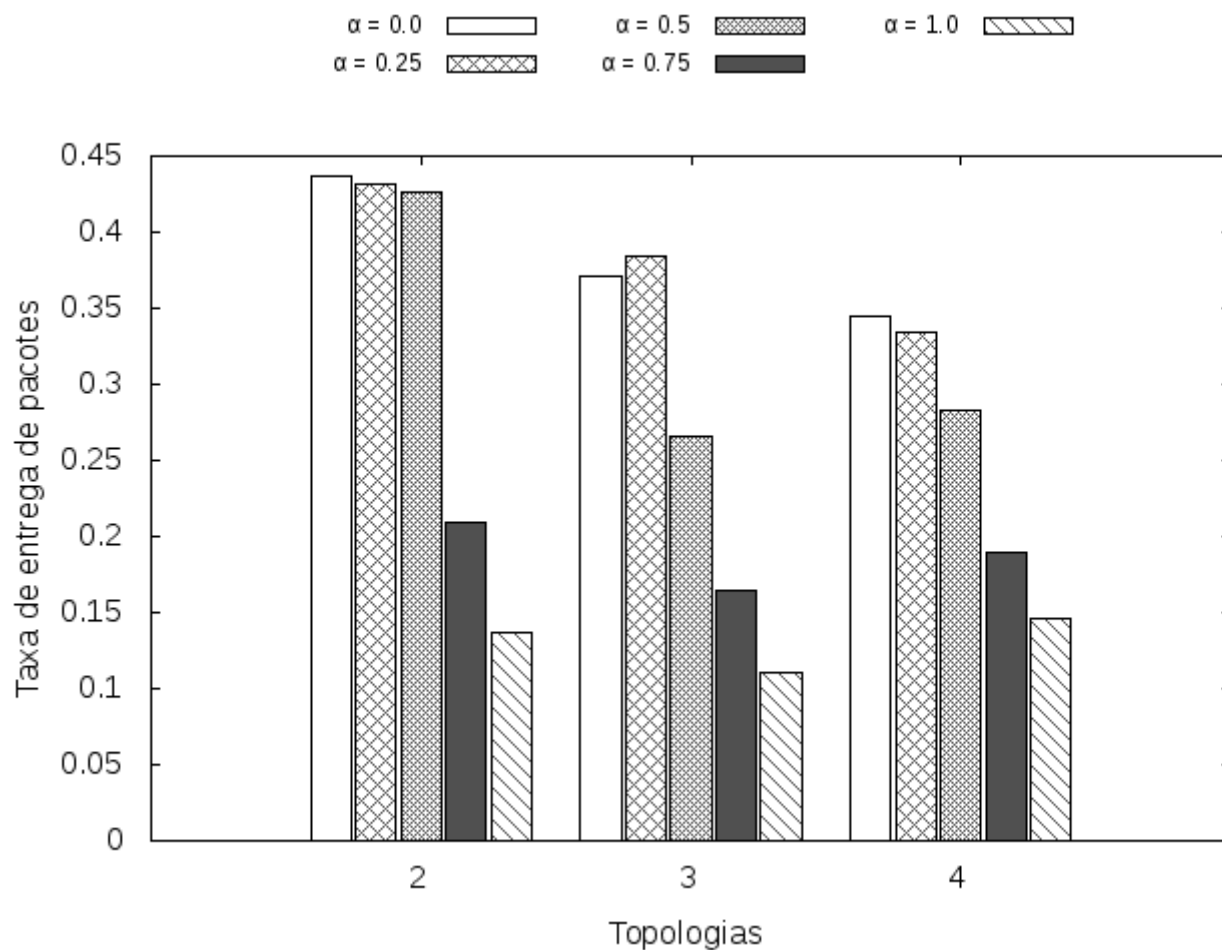


Figura 5.1: Taxa de entrega de pacotes para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .

Para entender este resultado, basta analisar o padrão do movimento de um nó que se move segundo o modelo de mobilidade *Gauss-Markov* quando $\alpha = 0$ e quando $\alpha = 1$. A Figura 5.2 compara estes dois casos e mostra a trajetória do mesmo nó, na mesma topologia, com a mesma velocidade (valor entre 0,1 e 0,5 m/s), mas que se move com valores diferentes de α . Observe à esquerda, o caso em que $\alpha = 1$. A trajetória do nó é caracterizada por movimentos retilíneos constantes que têm a direção alterada apenas quando se aproxima do limite do espaço delimitado para a simulação. Já na parte direita da Figura 5.2, é possível notar que existem mudanças de direções constantes e o nó tende a se manter mais tempo em um determinado espaço da topologia. Desta forma, a topologia se torna, de certa forma, menos dinâmica, e por isso, o melhor desempenho é justificado.

A Figura 5.3, por sua vez, mostra o número médio de saltos por pacote, nas mesmas condições. De maneira análoga, o menor número de saltos por pacote para os valores mais baixos de α também

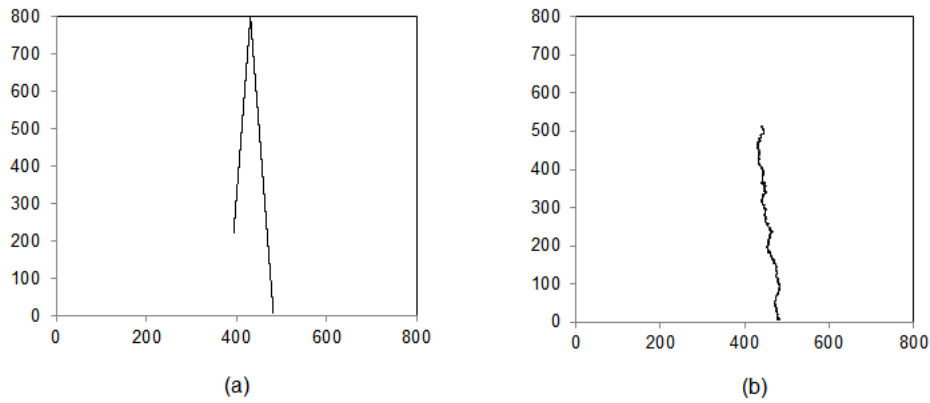


Figura 5.2: Trajetória de um nó segundo o modelo de mobilidade *Gauss-Markov* (a) com $\alpha = 1$, (b) com $\alpha = 0$.

se justifica pela natureza do movimento, que torna a rede menos dinâmica. Como a rede se torna mais estável, o pacote tende a seguir pelo melhor caminho.

Por fim, a Figura 5.4 mostra o índice de justiça de Jain para ilustrar o quão justa foi a distribuição de ganhos nos cenários em questão. Não foi possível observar um padrão nos resultados e, portanto, não houve conclusão a respeito destes resultados.

5.3 Modelo de mobilidade *Random WayPoint*

Também foi feita a análise do impacto da variação do tempo de pausa sobre o desempenho da Estratégia do Aperto utilizando o modelo *Random WayPoint*. Este modelo de mobilidade gera movimentos para os nós da mesma forma que o modelo *Random Walk* gera, exceto pelo fato de que pode ser introduzido um tempo de pausa entre cada novo movimento do nó. Como em cenários reais, as pessoas podem andar durante um certo período, parar e permanecer em algum local. Portanto, é interessante utilizar o *Random WayPoint* para avaliar como estes tempos de pausa influenciam no desempenho da rede. Por isso, foram simulados dois cenários, sob as mesmas configurações e sempre com as mesmas três topologias, mas com tempos de pausa de 5 segundos e 20 segundos.

A Figura 5.6 apresenta os resultados para o lucro médio relativo por nó para o cenário onde o tempo de pausa é de 5 segundos e para o cenário com tempo de pausa de 20 segundos. O cenário simulado com tempo de pausa de 5 segundos apresenta uma média de lucro de 5,84 para as três topologias, enquanto que o cenário simulado com tempo de pausa de 20 segundos apresenta uma média de lucro de 5,12, uma queda de cerca de 13%. Estes resultados indicam que, para as topologias simuladas, os nós podem ter estagnado, durante os intervalos de pausa, em pontos distantes, uns dos outros e, nestas condições, quanto maior o tempo de pausa, menor o desempenho da rede.

A Figura 5.7 apresenta os resultados das taxas de entrega de pacotes para o cenário simulado

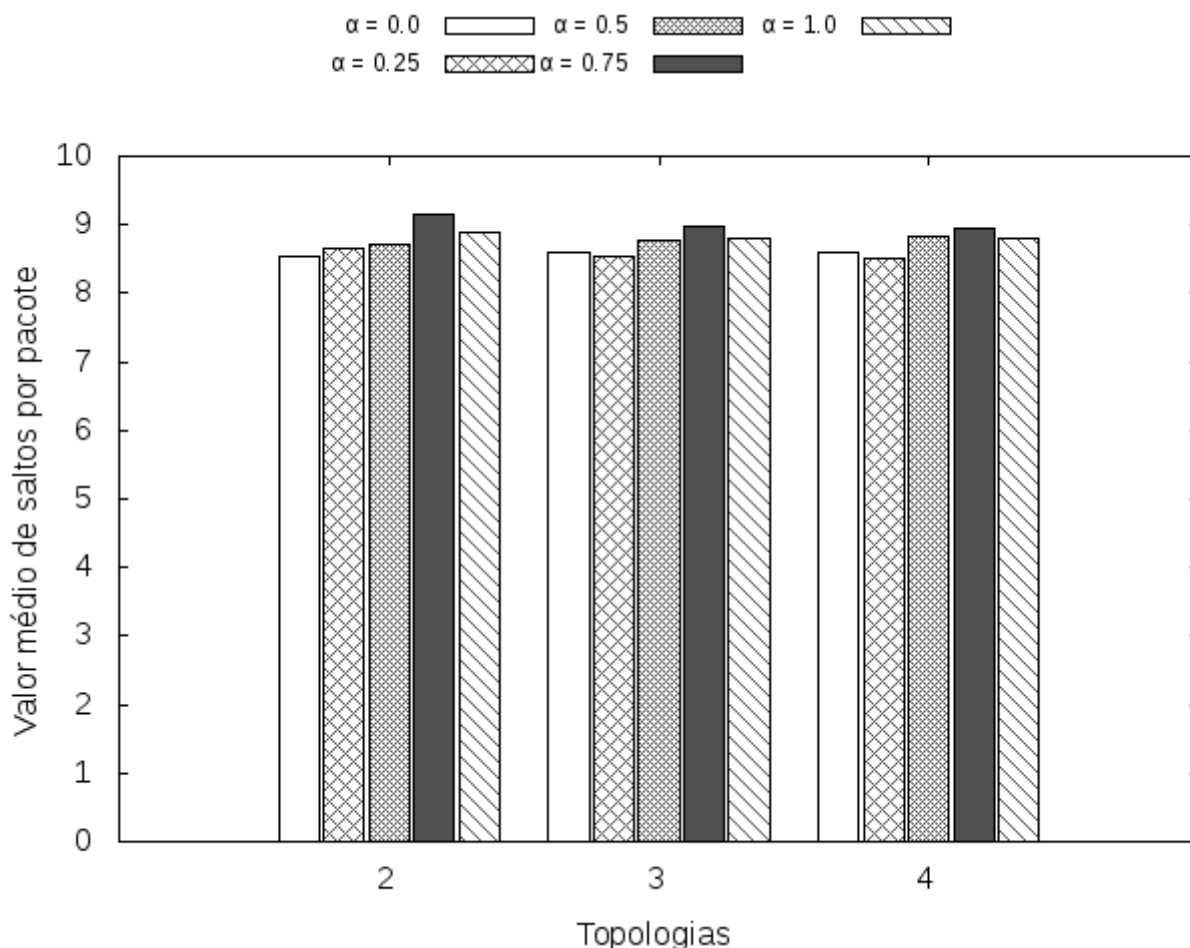


Figura 5.3: Valor médio de saltos por pacote para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .

com tempos de pausa de 5 segundos e 20 segundos. Esperava-se que, para maiores intervalos de tempo de pausa, seriam observados melhores desempenhos para a rede, uma vez que esta se mostraria mais estável. No entanto, os resultados mostram o contrário. Para o maior intervalo de tempo de pausa, de 20 segundos, a taxa de entrega de pacotes foi de cerca de 21%, em média, para as três topologias, e para o intervalo de tempo de pausa menor, de 5 segundos, a taxa de entregas foi de cerca de 27%, uma diferença de 6% no desempenho da rede. Como dito anteriormente, observou-se estes resultados pelo fato de os nós terem estagnados em pontos distantes, uns dos outros, interferindo no encaminhamento dos pacotes. Assim, quanto maior o tempo que um nó permanece parado distante dos outros, mais difícil é o encaminhamento dos pacotes pelo melhor caminho e assim, pior é a taxa de entrega para este nó.

Na Figura 5.8 são mostrados os resultados para o Índice de Justiça de Jain na distribuição de ganhos para os dois cenários. Para o cenário onde o tempo de pausa é de 5 segundos, o Índice de Justiça tem valor médio de 0,36, para as três topologias, e o cenário com tempo de pausa de 20 segundos o valor médio é de 0,24, mostrando então que os lucros foram melhor distribuídos no cenário onde o tempo de pausa é de 5 segundos.

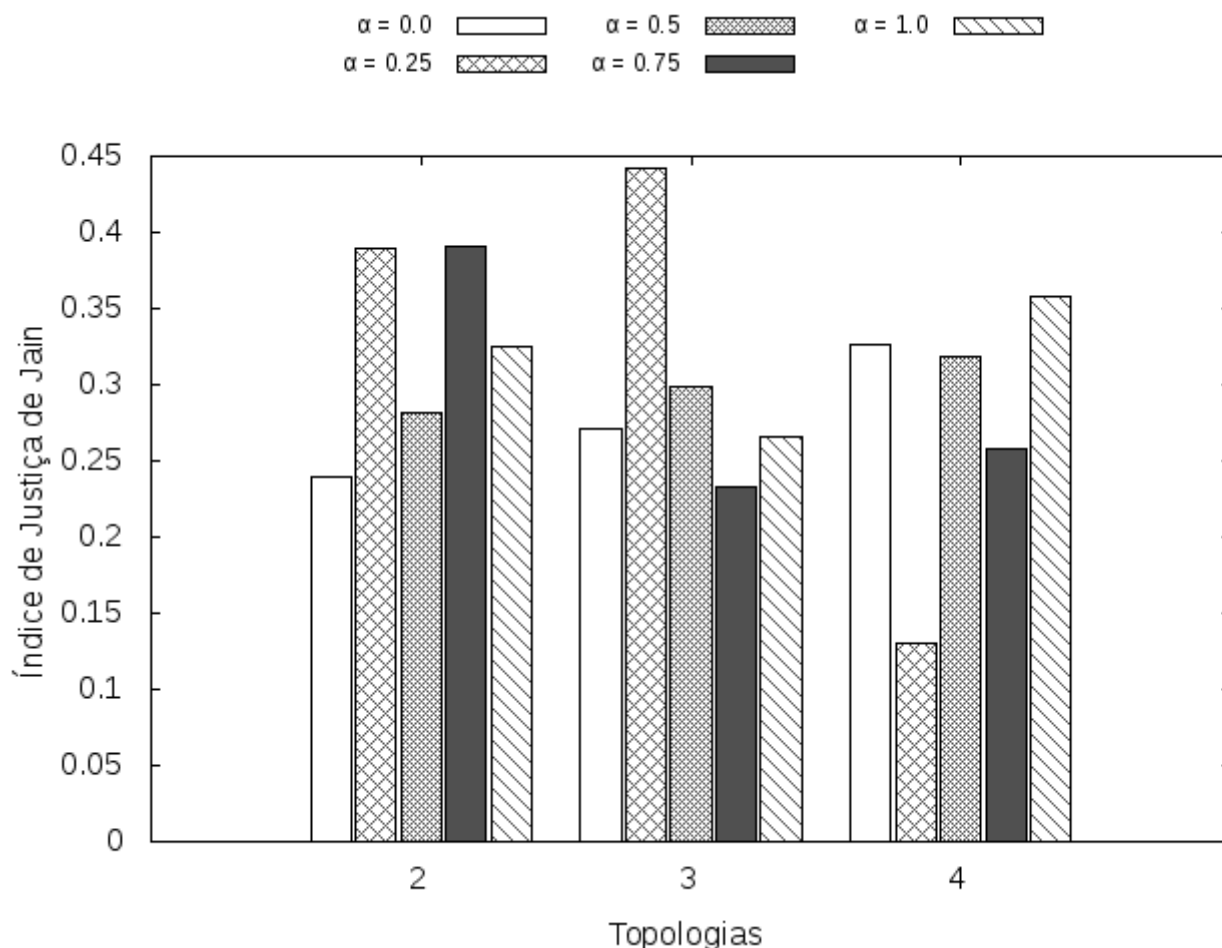


Figura 5.4: Índice de Justiça para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s, para cada valor de α .

A Figura 5.9 mostra os resultados para os valores médios de saltos por pacote para os dois cenários. Para o cenário onde o tempo de pausa é de 5 segundos, o valor médio do número médio de saltos é de cerca de 8,72 saltos enquanto para o outro cenário o valor médio foi de 8,92 saltos. Os resultados são próximos mas mostram que, para o cenário com tempo de pausa de 20 segundos, foram necessários mais saltos para que um pacote chegasse ao seu destino final. Este resultado reforça a teoria de que a topologia poderia estar repartida durante os períodos de pausa e, por isso, os caminhos disponíveis não eram os melhores para o encaminhamento dos pacotes.

5.4 Comparação dos modelos de mobilidade

Para completar este estudo, é feita a comparação do impacto de cada um dos modelos de mobilidade sobre o desempenho de redes D2D que utilizam a Estratégia do Aperto para o encaminhamento dos pacotes. Além dos três modelos de mobilidade utilizados, *Random WayPoint*, *Random Walk* e *Gauss-Markov*, também são analisados os resultados de cenários estáticos, com nós sem mobilidade. Para cada modelo de mobilidade, foram simulados cenários onde os nós pos-

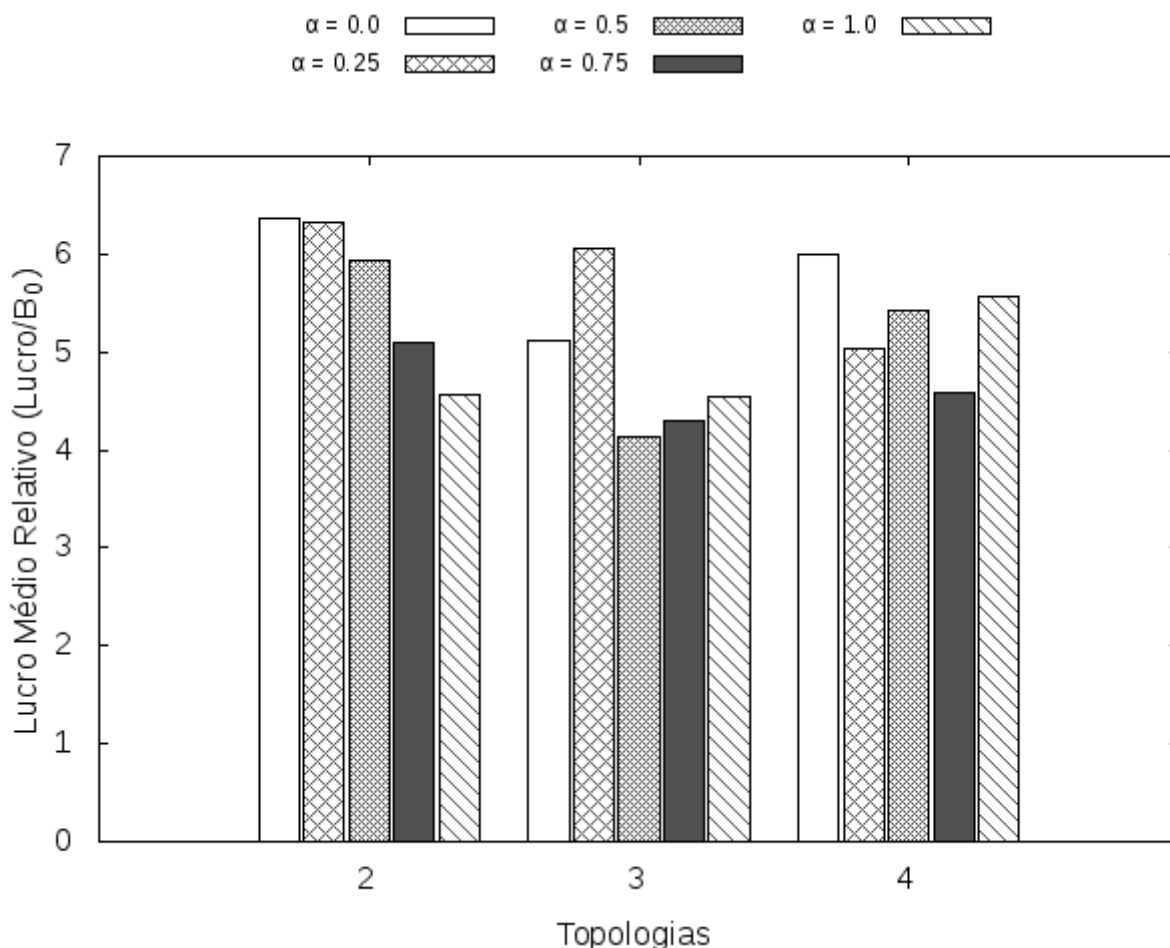


Figura 5.5: Lucro médio relativo por nó para cada valor de α , para nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.

suem velocidades médias dentro de um dos seguintes intervalos: $[0,1\ 0,5]$ m/s, $[0,5\ 0,75]$ m/s e, $[0,75\ 1,0]$ m/s dentro os seguintes três intervalos: 0,1 a 0,5, 0,5 a 0,75 e 0,75 a 1,0 metro por segundo. Os resultados comparados nas figuras a seguir são os melhores observados para cada um dos modelos de mobilidade. Para todos os modelos, *Gauss-Markov*, *Random WayPoint* e, *Random Walk*, os melhores resultados sempre foram observados nas simulações onde os nós possuem as menores velocidades, isto é, com valores médios entre 0,1 e 0,5 m/s.

Os resultados para o lucro médio relativo por nó são mostrados na Figura 5.10. O maior lucro médio relativo por nó é observado no cenário estático, com o valor de médio de 11,06. O pior resultado é observado nos cenários que empregam o modelo de mobilidade *Gauss-Markov*, com o valor médio de 5,83, quase a metade do valor apresentado no cenário estático. Era esperado que o lucro médio relativo fosse afetado pela mobilidade, uma vez que a mobilidade torna a rede mais dinâmica e dificulta o encaminhamento dos pacotes. Quando o encaminhamento dos pacotes é dificultado, a probabilidade de entregar os pacotes fora do prazo estipulado aumenta, aumentando a probabilidade dos nós terem que pagar multas e assim, diminuindo o valor médio do lucro relativo para cada nó.

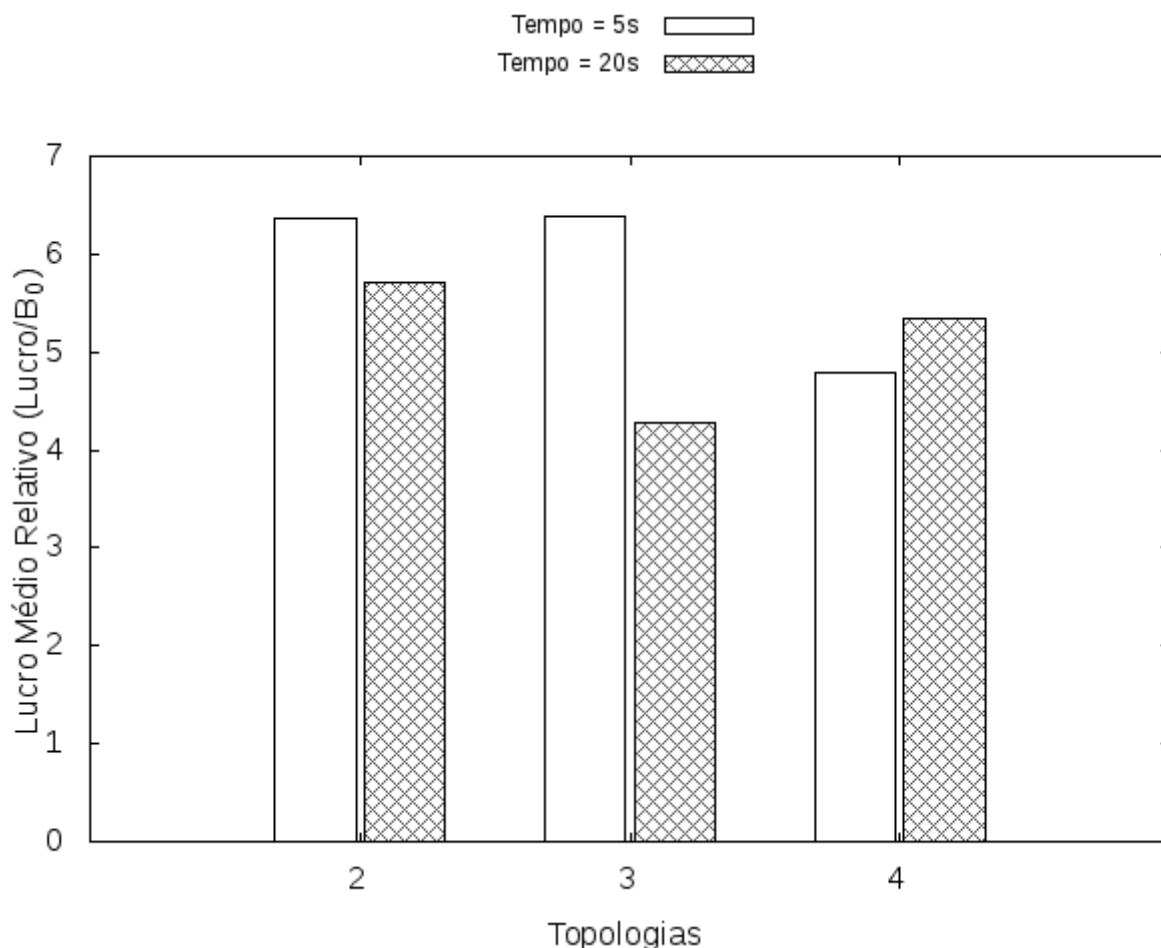


Figura 5.6: Lucro médio relativo por nó para diferentes tempos de pausa, com o modelo *Random WayPoint* e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.

Dentre os cenários simulados com mobilidade, o que apresentou o melhor resultado foi o que utilizou o modelo de mobilidade *Random Walk*. Os modelos *Gauss-Markov* e *Random WayPoint* mostraram resultados muito próximos, com valores médios de 5,83 e 5,84, respectivamente. Estes dois modelos são os que apresentam movimentos mais “lentos”, no sentido de que, no modelo *Gauss-Markov* existem mudanças de direções constantes e por isto o movimento se concentra mais em algum local da topologia, e no modelo *Random WayPoint* existem as pausas entres os movimentos. Uma hipótese para estes dois modelos terem apresentado os piores resultados é que os nós, durante os seus trajetos, se distanciaram e houve partição da topologia, dificultando o encaminhamento dos pacotes. Para o modelo *Random Walk*, os nós se moviam em linha reta, de forma lenta e constante e, portanto, caso os nós se encontrassem em posições ruins na topologia, estas posições seriam temporárias e dentro de algum instante de tempo eles poderiam se mover para novas posições melhores.

A Figura 5.11 mostra os resultados para taxas de entrega de pacotes de cada modelo de mobilidade e também para o cenário estático. Já era esperado que houvesse o melhor resultado para as simulações sem mobilidade, dado que a topologia, neste caso, é menos dinâmica. O resultado da

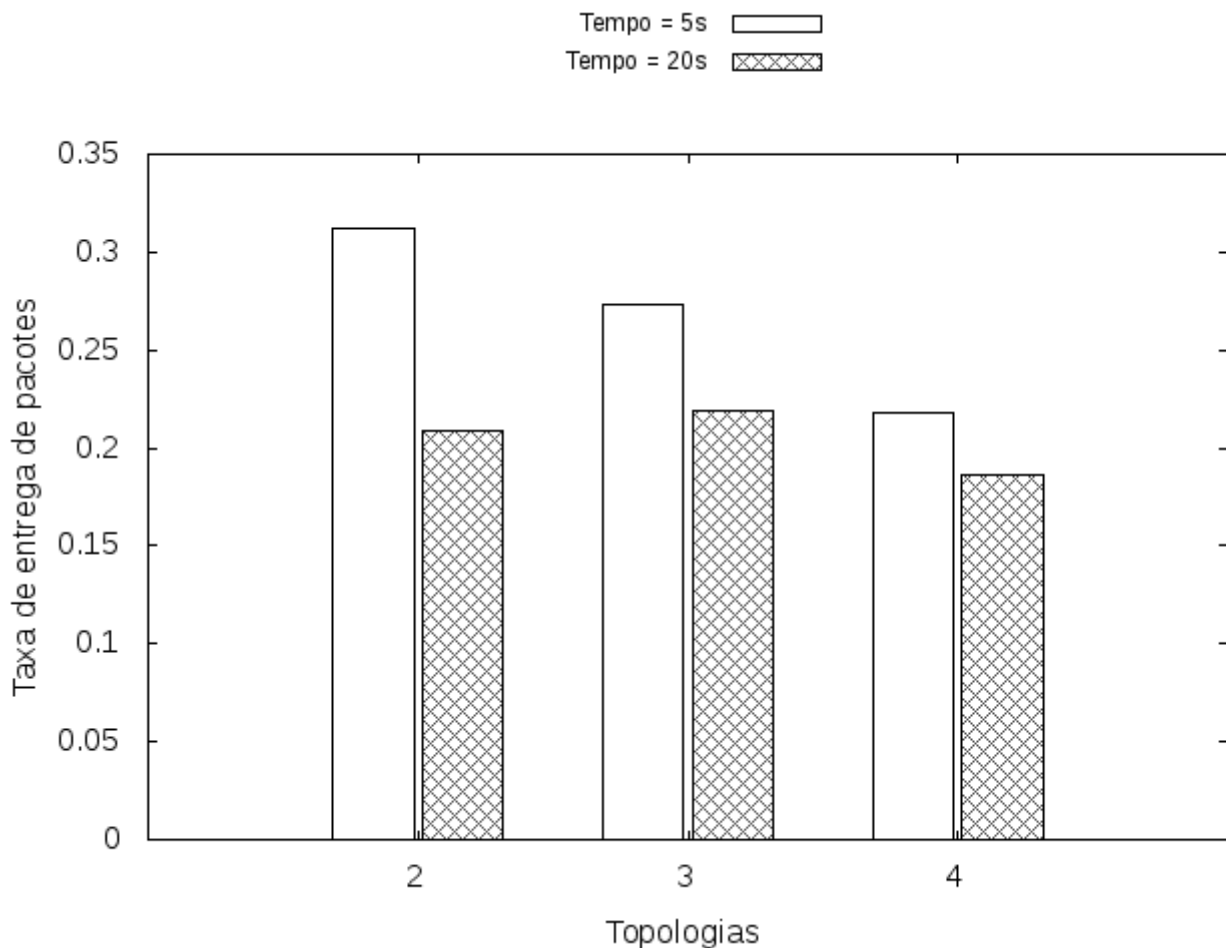


Figura 5.7: Taxa de entrega de pacotes para diferentes tempos de pausa, com o modelo *Random WayPoint* e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.

taxa de entrega média de pacotes para o cenário estático foi de cerca de 94,55%. Para o cenário que utilizou o modelo *Random Walk*, o valor médio da taxa de entrega de pacotes foi de cerca de 79,31%, uma queda de aproximadamente 15,24%. Dentre os cenários com mobilidade, o modelo que apresentou o pior resultado foi o *Random WayPoint*, com taxa de entrega média de pacotes de 26,76%. No cenário que utilizou o modelo *Gauss-Markov*, a taxa de entrega média de pacotes foi de cerca de 38,40%.

Os resultados para o número médio de saltos em cada modelo de mobilidade são mostrados na Figura 5.12. Novamente, o cenário que apresentou melhores resultados foi o estático, com valor médio de número de saltos de 8,34. Os modelos de mobilidade *Gauss-Markov*, *Random WayPoint* e *Random Walk*, apresentaram valores médios de números de saltos de 8,58, 8,72 e 8,49, respectivamente. Estes resultados, juntamente com os resultados da taxa de entrega de pacotes, apresentados na Figura 5.11, mostram que os modelos *Random WayPoint* e *Gauss-Markov* tiveram os piores desempenhos. Em um cenário real, com pessoas que se movem vagarosamente, com tempos de pausa longos, em locais distantes das outras, por exemplo, o desempenho da Estratégia do Aperto não seria tão bom e apresentaria queda nos resultados de, por exemplo, até 67,79%,

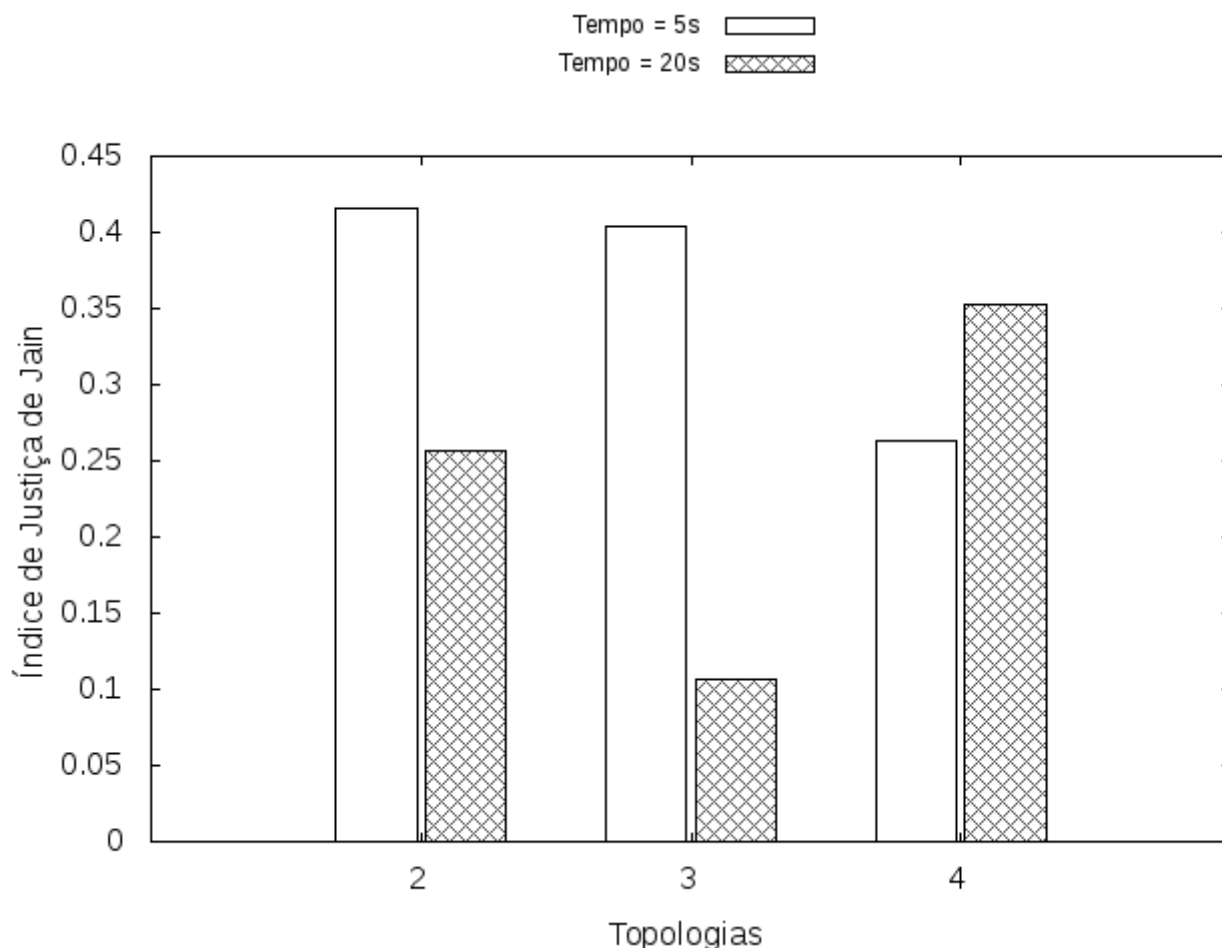


Figura 5.8: Índice de Justiça de Jain para diferentes tempos de pausa, com o modelo *Random WayPoint* e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 metro por segundo.

quando comparamos a taxa de entrega de pacotes do cenário estático e do cenário com mobilidade do modelo *Random WayPoint*.

Por fim, na Figura 5.13 são exibidos os resultados dos índices de justiça de Jain para cada modelo de mobilidade e para o cenário sem mobilidade. Dentre os modelos de mobilidade, o que apresentou melhor resultado, novamente, foi o modelo *Random Walk*, com um valor médio de justiça de 0,58, superando inclusive os resultados do modelo estático, que mostrou um valor médio de índice de justiça de 0,55. Este resultado é compreensível, uma vez que, com o modelo *Random Walk* a rede se torna mais dinâmica, onde os nós trocam de posições constantemente, a chance de mais nós participarem do encaminhamento é maior. Os modelos de mobilidade que apresentaram os piores resultados foram o modelo de *Gauss-Markov* e o modelo *Random WayPoint*, com valores médios de 0,28 e 0,36, respectivamente.

Neste Capítulo foram apresentados os resultados coletados a partir das simulações feitas no NS-3. Foram feitas três análises, comparando-se o desempenho de redes sob o efeito da mobilidade do modelo *Gauss-Markov*, analisando-se o impacto da natureza do movimento a partir do parâmetro

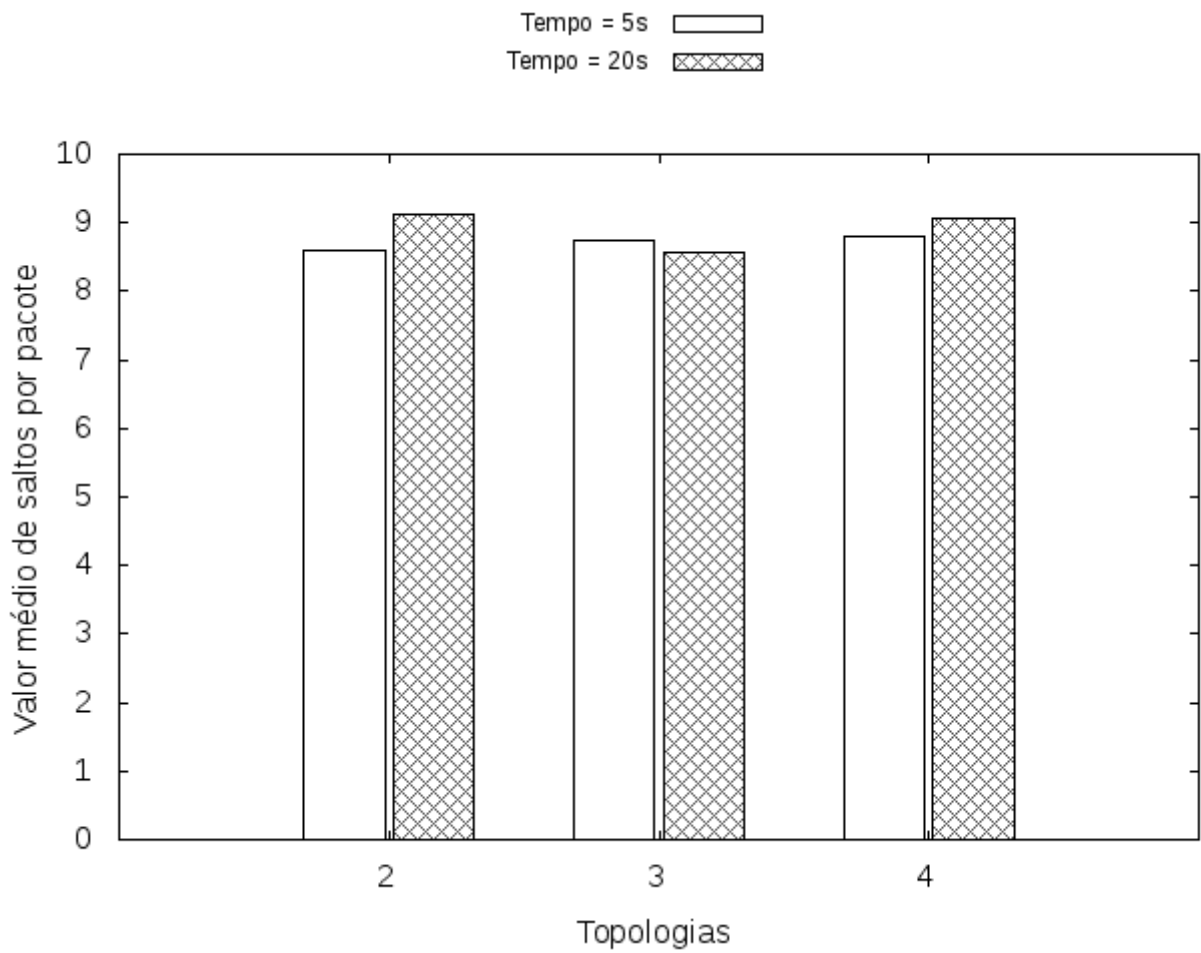


Figura 5.9: Valor médio de saltos por pacote para diferentes tempos de pausa, com o modelo *Random WayPoint* e nós com velocidade entre 0,1 e 0,5 m/s.

α , sob o efeito do modelo *Random WayPoint*, analisando o impacto do tempo de pausa dos nós durante os movimentos, e também comparando-se todos os modelos de mobilidade estudados, inclusive com um cenário estático, ou seja, sem mobilidade.

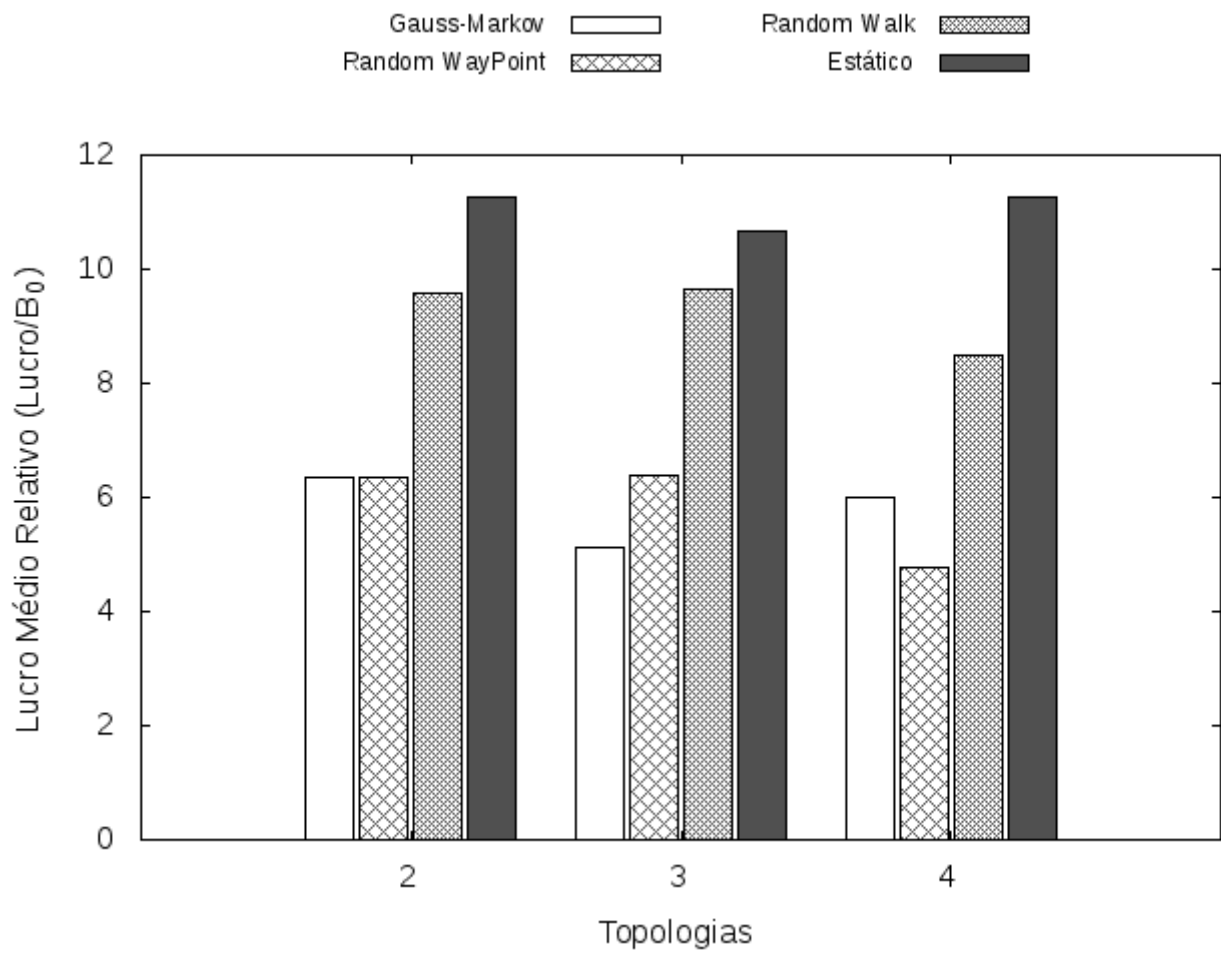


Figura 5.10: Lucro médio relativo por nó para os diferentes modelos de mobilidade.

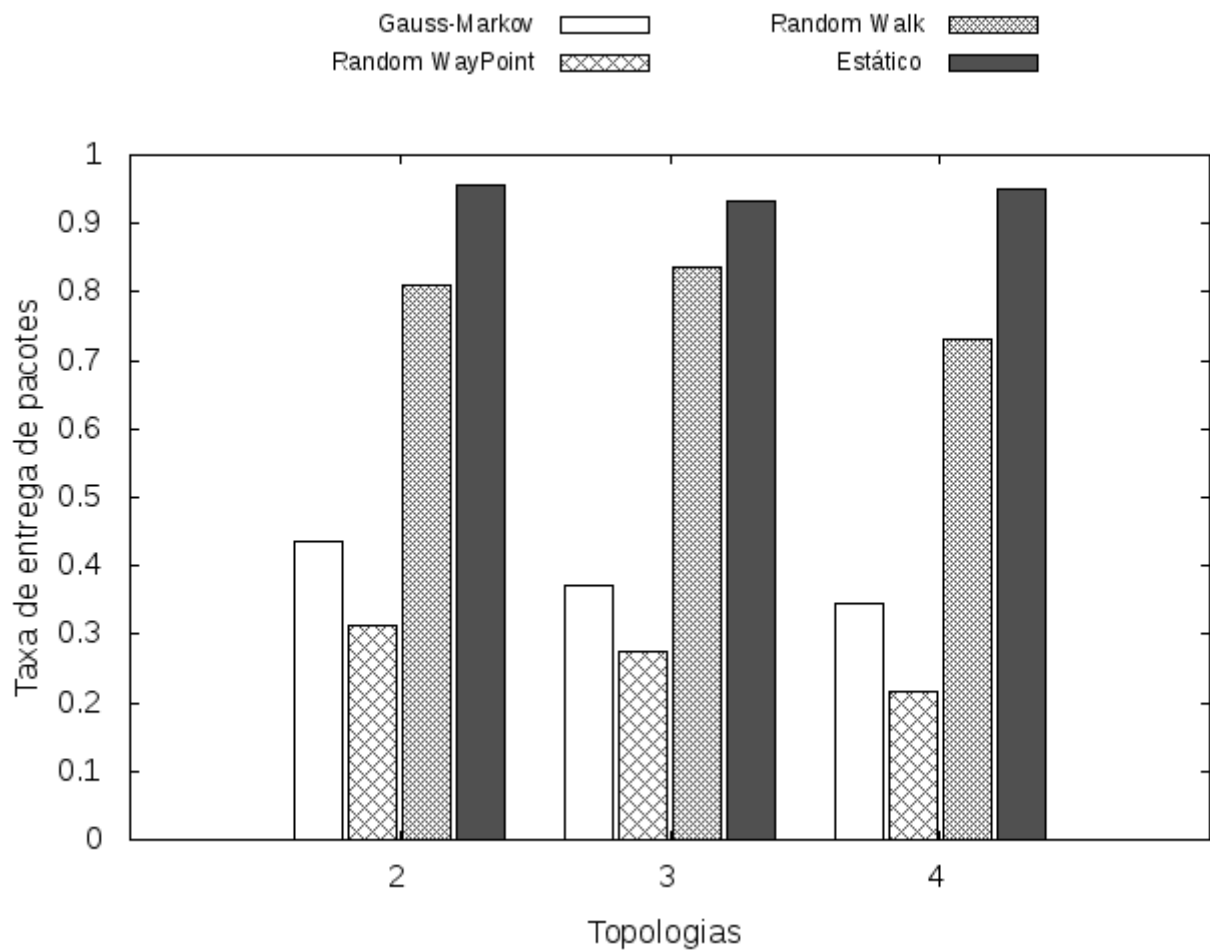


Figura 5.11: Taxa de entrega de pacotes para os diferentes modelos de mobilidade.

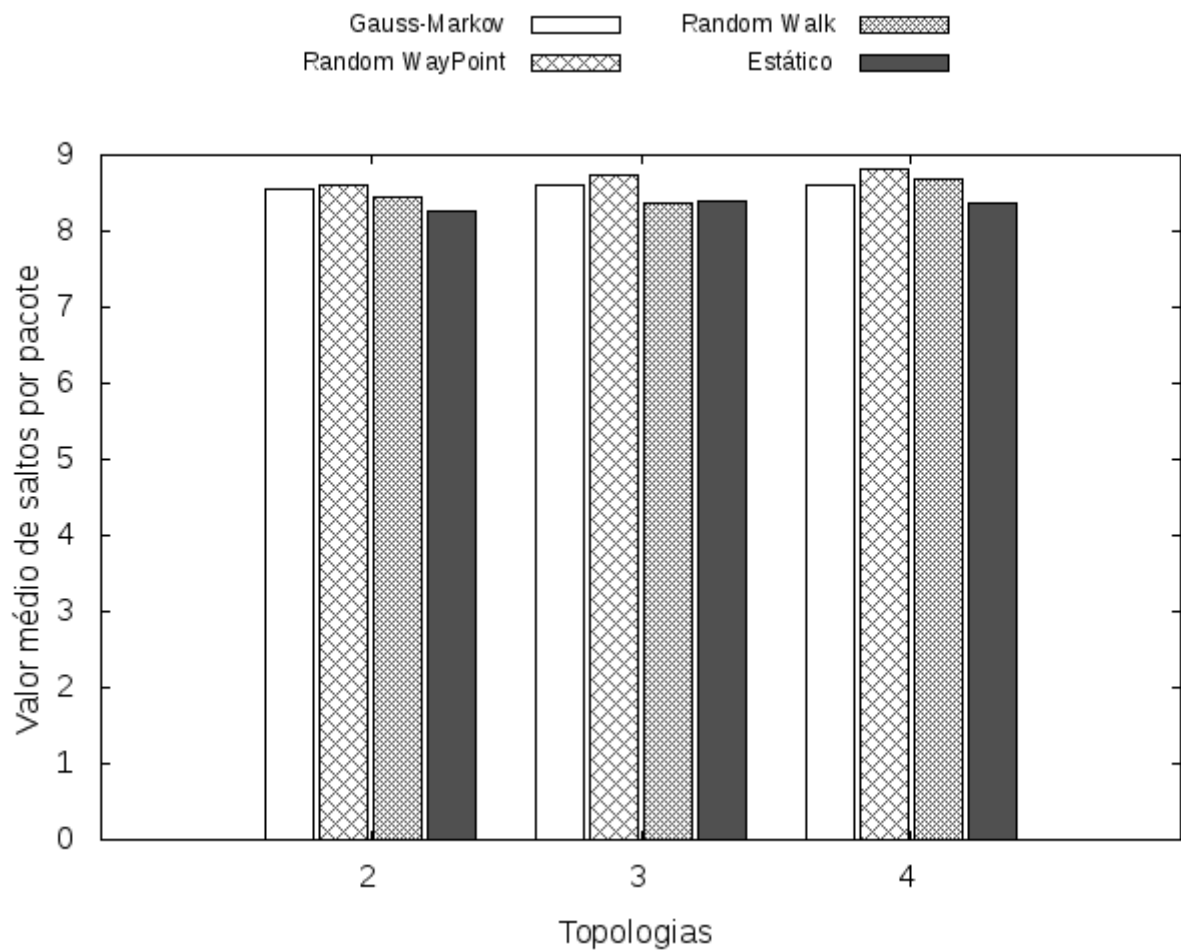


Figura 5.12: Valor médio de saltos por pacote para os diferentes modelos de mobilidade.

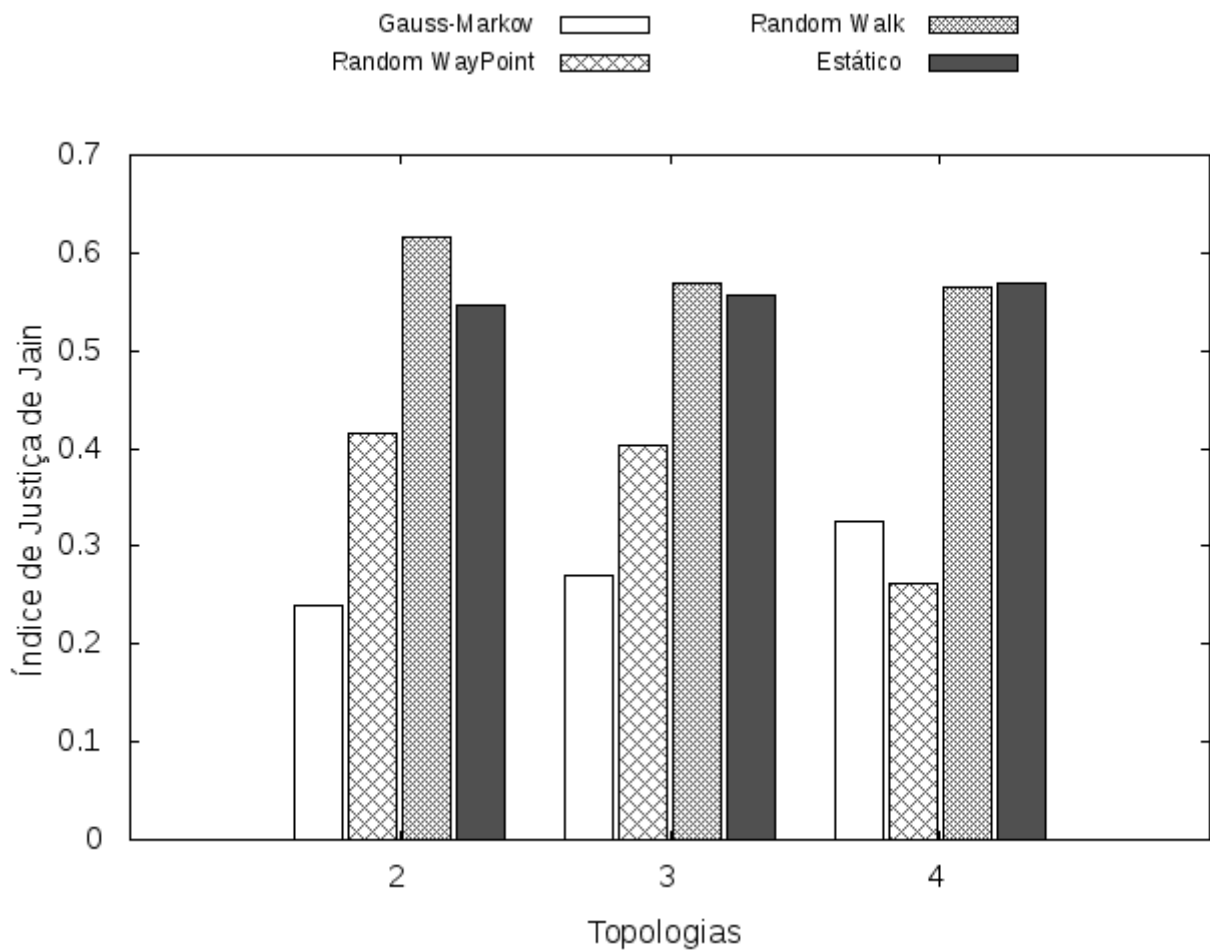


Figura 5.13: Índice de Justiça de Jain para os diferentes modelos de mobilidade.

Capítulo 6

Conclusões

Nesta monografia foram apresentados os principais modelos de mobilidade que poderiam ser utilizados em simulações que buscam avaliar o comportamento real de nós em redes D2D e, principalmente, avaliar o impacto deste comportamento no desempenho destas redes. Mais especificamente, analisou-se como a mobilidade afeta o desempenho da Estratégia do Aperto, utilizada no escoamento de tráfego, através de leilões recursivos, em redes D2D.

Cada modelo de mobilidade escolhido apresenta alguma característica única nos padrões de movimento que é importante em simulações que buscam avaliar como seria o desempenho de um dado protocolo em cenários reais. O modelo de mobilidade *Gauss-Markov* torna possível gerar movimentos aleatórios e mais suaves, que se aproximam do movimento real de uma pessoa que caminha livremente, em uma sala aberta, por exemplo. Já o modelo *Random WayPoint* torna possível avaliar o impacto dos tempos de pausas que as pessoas poderiam fazer enquanto caminham. O modelo *Random Walk* permitiu avaliar, de maneira mais geral, como a mobilidade dos nós afeta o encaminhamento dos pacotes. Além da natureza do movimento, foi avaliado o impacto da velocidade com que os nós se movem sobre o desempenho da rede D2D. É importante avaliar este parâmetro do movimento para saber se, em condições reais, a Estratégia do Aperto ainda apresentaria bons resultados. Para fins de comparação, também foram feitas simulações com cenários sem mobilidade.

Os resultados mostraram que, como esperado, a Estratégia do Aperto apresenta melhor desempenho em um cenário onde os nós não possuem mobilidade. Este resultado é intuitivo. Sendo a rede estática, o encaminhamento dos pacotes através de leilões recursivos é facilitado, no sentido de que, a topologia não se altera e os nós se encontram dispostos de maneira que não existam “buracos” entre os nós. Além disso, também foram observados piores resultados para o modelo de mobilidade *Gauss-Markov* e *Random WayPoint*. Esperava-se que os cenários com estes modelos apresentassem os melhores desempenhos dentre os cenários com mobilidade, dado que, de certa forma, os padrões de movimento destes modelos são “menos dinâmicos” do que o o *Random Walk*, por exemplo. No entanto, concluiu-se que, tão importante quanto a velocidade com que os nós de uma topologia se movem é a forma como eles estão dispostos, isto é, se existem partições (“buracos”) na rede. Ainda que o cenário seja menos dinâmico, mas com nós dispostos distantes

uns dos outros durante um período de tempo relativamente grande, o desempenho deste cenário é prejudicado.

6.1 Trabalhos Futuros

Esta monografia avaliou apenas alguns dos aspectos de cenários reais que utilizam redes D2D para o escoamento do tráfego. Para uma real implementação da Estratégia do Aperto nestes cenários, existem ainda outros pontos que devem ser levados em consideração e que podem ser variados para avaliar o desempenho da estratégia. Para o modelo *Gauss-Markov*, por exemplo, é interessante avaliar, também, o impacto da variável aleatória normal nas Equações 2.1 e 2.2, ou seja, qual o impacto no escoamento quando as variações de velocidade e direção puderem ser mais bruscas de maior amplitude. Para o modelo *Random WayPoint*, é necessário avaliar melhor o impacto do intervalo de pausa entre cada movimento, uma vez que nesta monografia foram estudados apenas dois valores.

Outra forma interessante de avaliar o desempenho da Estratégia do Aperto seria utilizar algumas bases de dados disponíveis que contém dados realistas de diversos padrões de movimentos, que foram realizados por pessoas em situações reais. Algumas dessas bases de dados podem ser encontradas em [8]. Com estes dados é possível simular pessoas que circulam em uma conferência, a mobilidade de pessoas que circulam pela cidade em táxis ou o movimento de pedestres em avenidas, por exemplo. A utilização deste tipo de dados nas simulações tornariam os resultados muito mais precisos e a análise do desempenho seria muito mais eficaz. Além destas bases de dados, existem ainda outros modelos de mobilidade, alguns disponíveis no NS-3, que poderiam ser utilizados para outros tipo de avaliação. Por exemplo, existem modelos que simulam o movimento dos nós que circulam em carros, nas ruas de cidades. Com modelos deste tipo, seria possível analisar o desempenho do escoamento de tráfego, utilizando a “Estratégia do Aperto”, para usuários que se locomovem em automóveis. Existem, ainda, os “modelos sociais”, que tentam simular a natureza da mobilidade humana [9], e que também seriam muito úteis na avaliação da estratégia.

Referências Bibliográficas

- [1] VISUAL Networking Index - Cisco. Acessado em Junho de 2016. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>.
- [2] KALEJAIYE, G. B.; RONDINA, J. A.; ALBUQUERQUE, L. V.; PEREIRA, T. L.; CAMPOS, L. F.; MELO, R. A.; MASCARENHAS, D. S.; CARVALHO, M. M. Mobile offloading in wireless ad hoc networks: The tightness strategy. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, ACM, New York, NY, USA, v. 44, n. 3, p. 96–102, jul. 2014.
- [3] BRITO, L. S. A Performance of the Tightness Strategy in Recursive Auctions for Device-to-Device Data Offloading. 2016. 61 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2016.
- [4] CLAUSEN, T.; JACQUET, P.; LAOUITI, A.; MUHLETHALER, P.; QAYYUM, A.; VIENNOT, L. Optimized link state routing protocol. In: *Proc. IEEE National Multi-Topic Conference (INMIC)*. [S.l.: s.n.], 2001.
- [5] JAIN, R.; HAWE, W. R.; CHIU, D.-M, S. *A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system*, Springer, [S.l.]: Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation Hudson, MA, 1984.
- [6] CRAWDAD - A Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth. Acessado em Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.crowdad.org/>>.
- [7] RHEE, I.; SHIN, M.; HONG, S.; LEE, K.; KIM, S. J.; CHONG, S. On the levy-walk nature of human mobility. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 19, n. 3, p. 630–643, jun. 2011.
- [8] BAI F.; HELMY A. A survey of mobility models. *Chapter 1 in Wireless Ad hoc Networks*, University of Southern California, USA, 2004.
- [9] AIJAZ, A.; AGHVAMI, H.; AMANI, M. A survey on mobile data offloading: technical and business perspectives. *Wireless Communications, IEEE*, IEEE, v. 20, n. 2, p. 104–112, 2013.
- [10] The ns-3.17 Network Simulator Manual. <https://www.nsnam.org/docs/release/3.17/manual/singlehtml/index.html>

- [11] CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications Mobile Computing (WCMC) Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, p. 483–502, 2002
- [12] ARIYAKHAJORN, J.; WANNAWILAI, P.; SATHIWIRIYAWONG, C. A Comparative Study of Random Waypoint and Gauss-Markov Mobility Models in the Performance Evaluation of MANET. *International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT-06*, Bangkok, 2006.

Referências Bibliográficas

- [1] VISUAL Networking Index - Cisco. Acessado em Junho de 2016. Disponível em: <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html>.
- [2] KALEJAIYE, G. B.; RONDINA, J. A.; ALBUQUERQUE, L. V.; PEREIRA, T. L.; CAMPOS, L. F.; MELO, R. A.; MASCARENHAS, D. S.; CARVALHO, M. M. Mobile offloading in wireless ad hoc networks: The tightness strategy. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, ACM, New York, NY, USA, v. 44, n. 3, p. 96–102, jul. 2014.
- [3] BRITO, L. S. A Performance of the Tightness Strategy in Recursive Auctions for Device-to-Device Data Offloading. 2016. 61 f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e de Automação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, 2016.
- [4] CLAUSEN, T.; JACQUET, P.; LAOUITI, A.; MUHLETHALER, P.; QAYYUM, A.; VIENNOT, L. Optimized link state routing protocol. In: *Proc. IEEE National Multi-Topic Conference (INMIC)*. [S.l.: s.n.], 2001.
- [5] JAIN, R.; HAWKES, W. R.; CHIU, D.-M, S. *A quantitative measure of fairness and discrimination for resource allocation in shared computer system*, Springer, [S.l.]: Eastern Research Laboratory, Digital Equipment Corporation Hudson, MA, 1984.
- [6] CRAWDAD - A Community Resource for Archiving Wireless Data At Dartmouth. Acessado em Junho de 2016. Disponível em: <<http://www.crowdad.org/>>.
- [7] RHEE, I.; SHIN, M.; HONG, S.; LEE, K.; KIM, S. J.; CHONG, S. On the levy-walk nature of human mobility. *IEEE/ACM Trans. Netw.*, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, v. 19, n. 3, p. 630–643, jun. 2011.
- [8] BAI F.; HELMY A. A survey of mobility models. *Chapter 1 in Wireless Ad hoc Networks*, University of Southern California, USA, 2004.
- [9] AIJAZ, A.; AGHVAMI, H.; AMANI, M. A survey on mobile data offloading: technical and business perspectives. *Wireless Communications, IEEE*, IEEE, v. 20, n. 2, p. 104–112, 2013.
- [10] The ns-3.17 Network Simulator Manual. <https://www.nsnam.org/docs/release/3.17/manual/singlehtml/index.html>

- [11] CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless Communications Mobile Computing (WCMC) Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, vol. 2, no. 5, p. 483–502, 2002
- [12] ARIYAKHAJORN, J.; WANNAWILAI, P.; SATHIWIRIYAWONG, C. A Comparative Study of Random Waypoint and Gauss-Markov Mobility Models in the Performance Evaluation of MANET. *International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT-06*, Bangkok, 2006.