

Redes Integradas de Faixa Larga

Fatores Impactantes na Performance de Redes Ad Hoc Sem Fio

Por: Bruno Astuto Arouche Nunes

Orientação: Luis Felipe M. de Moraes

Introdução e Motivação

Sistemas móveis são caracterizados pelo movimento de seus componentes. A natureza do movimento – sua velocidade, direção e taxa de mudança – pode ter um efeito dramático nos protocolos e sistemas projetados para suportar mobilidade. O uso real de um sistema móvel pode fornecer uma percepção significativa, porém não pode formar uma base sólida para uma avaliação experimental.

Ao invés disso, a comunidade científica que estuda mobilidade e sistemas móveis, têm se voltado para simulações do movimento dos nós. Claro, deve-se primeiro produzir um modelo de movimentação para guiar tal simulação. De longe o mais utilizado destes é o Modelo *Random Waypoint*. Este modelo tornou-se, de fato, padrão em pesquisa em computação móvel. Por exemplo, 9 em 10 artigos em *ACM MobiHoc 2002* consideraram nós móveis e usaram o Modelo *Random Waypoint*.

Em redes *ad hoc*, uma rota entre dois NMs (nós móveis) pode ser formada por um ou vários enlaces, através de outros NMs na rede. Um dos principais problemas nesse tipo de redes é determinar e manter as rotas, já que a mobilidade de um NM pode causar mudanças na topologia. Por isso, diversos protocolos e algoritmos de roteamento foram e estão sendo propostos e desenvolvidos para realizar esta tarefa de maneira mais eficiente.

Para avaliar o desempenho de um protocolo de roteamento [1], [2] são necessárias várias análises em relação ao alcance de transmissão dos NMs, tamanho dos buffers para o armazenamento das mensagens, padrões de movimento dos usuários da rede e características do tráfego e mobilidade. Nesse texto, será abordado, com um nível maior de detalhamento, o último tópico, de forma que será possível identificar fatores que têm impacto na performance do sistema e como as métricas estabelecidas se comportam diante de variações destes fatores.

Algoritmo de Roteamento

Um dos problemas mais desafiadores em redes *ad hoc* é como rotear os pacotes. A complexidade do roteamento aumenta em uma rede *ad hoc* pois todo nó deve agir como um roteador e a topologia pode mudar dinâmica e constantemente. Além disso, há de se considerar problemas de interferência entre nós vizinhos, uso de banda passante, consumo de energia, etc. Os algoritmos tradicionais, voltados para redes fixas, se mostram ineficientes para resolver estes problemas. Por isso novos algoritmos, específicos para redes *ad hoc*, foram propostos. Os protocolos de descoberta de rotas sob demanda têm se mostrado eficientes para redes *ad hoc* devido a limitações de banda e de energia das redes móveis, apesar de conferirem um acréscimo de latência, pois o procedimento de descoberta de uma rota (que não seja previamente conhecida) é efetuado apenas depois do momento em que esta se faz necessária.

Neste trabalho foi utilizada, durante as simulações, a implementação do algoritmo de roteamento AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), descrito sucintamente a seguir.

O AODV [8] obriga todos os nós intermediários a estabelecerem dinamicamente entradas em tabelas de roteamento locais para cada destino ativo. Cada nó sabe qual é o próximo nó para chegar ao destino e a distância em número de saltos. Além disso, permite-se apenas uma entrada na tabela de roteamento para cada destino, referente ao menor caminho conhecido. No AODV, cada nó mantém um número de seqüência monotonicamente crescente que é usado para se evitar loops e como forma de se verificar se uma informação de rota é recente ou não. Quando ocorre a queda de um enlace, as rotas que o utilizam são invalidadas através de operações que envolvem o número de seqüência e a métrica da rota. Quando um nó deseja se comunicar com outro para o qual não conhece caminho em sua tabela de roteamento, ele inunda a rede com RREQs (Route Requests) contendo o seu número de seqüência e o último número de seqüência conhecido do destino. Durante o processo de inundação, vão se guardando caminhos reversos de todos nós alcançáveis pela requisição até a

fonte, de forma que se o destino for alcançável, a rede saberá como fazer retornar a resposta até a fonte. Quando o nó destino, ou possivelmente um nó intermediário com uma entrada em sua tabela para o destino recente o suficiente, recebe uma nova requisição de rota, este nó responde para a fonte através do caminho reverso. Cada nó por onde passa este RREP (Route Reply) guarda em sua tabela uma entrada para o destino, permitindo-se a comunicação.

A manutenção de rota é implementada de forma a que, caso se perceba a queda de um enlace, esta informação seja disseminada a todos os nós que sabidamente usem este enlace em alguma rota ativa. Define-se rota ativa como uma entrada “recente o suficiente” na tabela de roteamento com uma métrica finita. A manutenção de rota pode ser implementada através da troca de mensagens periódicas de hello entre vizinhos, atestando a conectividade ou, de forma alternativa, dependendo do protocolo de acesso ao meio, pode-se fazer uso de um feedback da camada de enlace de forma a se consumir menos banda e energia.

Protocolo MAC

Neste trabalho foi utilizado, no modelo de simulação, o padrão IEEE 802.11 [9] para redes sem fio, como protocolo da camada MAC. O padrão 802.11 especifica o protocolo CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance), que trata-se de uma variação do CSMA p -persistente.

Modelo de Mobilidade

Atualmente existem duas maneiras de se representar padrões de movimento de usuários de uma rede móvel [1]. Uma forma é através da captura de informações do comportamento real de movimentação do NM, ou seja, com o uso de registros (traces). A outra maneira é através de modelos de mobilidade, onde tenta-se representar o comportamento de movimentação dos nós sem o uso desses registros de movimentação.

A captura dos registros de movimentação possibilita uma observação do comportamento real de movimentação dos NMs, principalmente quando se tem um grande número de nós durante um longo período de observação. Entretanto, em ambientes muito dinâmicos, como em redes ad hoc, capturar esses registros não é uma tarefa fácil. Com isso é necessária a utilização dos modelos de mobilidade. Esses modelos possuem duas categorias [1], [2]: modelos para redes de telefonia celular e modelos para redes ad hoc. Nesse artigo serão descritos somente os modelos de mobilidade para redes ad hoc.

O modelo de mobilidade utilizado neste trabalho foi o *Random Waypoint*. Neste modelo um NM inicia-se em um local e permanece no mesmo por um certo período de tempo. Ao fim deste período, o nó escolhe um destino aleatoriamente na área de simulação e uma velocidade uniformemente distribuída entre: $(0, V_{max}]$. O NM então percorre o caminho até o novo destino com a velocidade escolhida. Uma vez que o destino é alcançado o NM pára por um período de tempo (tempo de pausa) específico antes de começar o processo todo novamente. Em um trabalho recente, Camp, Boleng e Davies [4] estudaram e analisaram uma variedade de modelos de mobilidade, incluindo o Modelo *Random Waypoint*. Em particular, eles mostraram a mudança na média do número de vizinhos durante o avanço do tempo de simulação. A figura 1 mostra que a média percentual do número de vizinhos para um dado nó na rede se estabiliza ao longo do tempo. No entanto, existe um acréscimo na variância a medida sob escalas de tempo grandes.

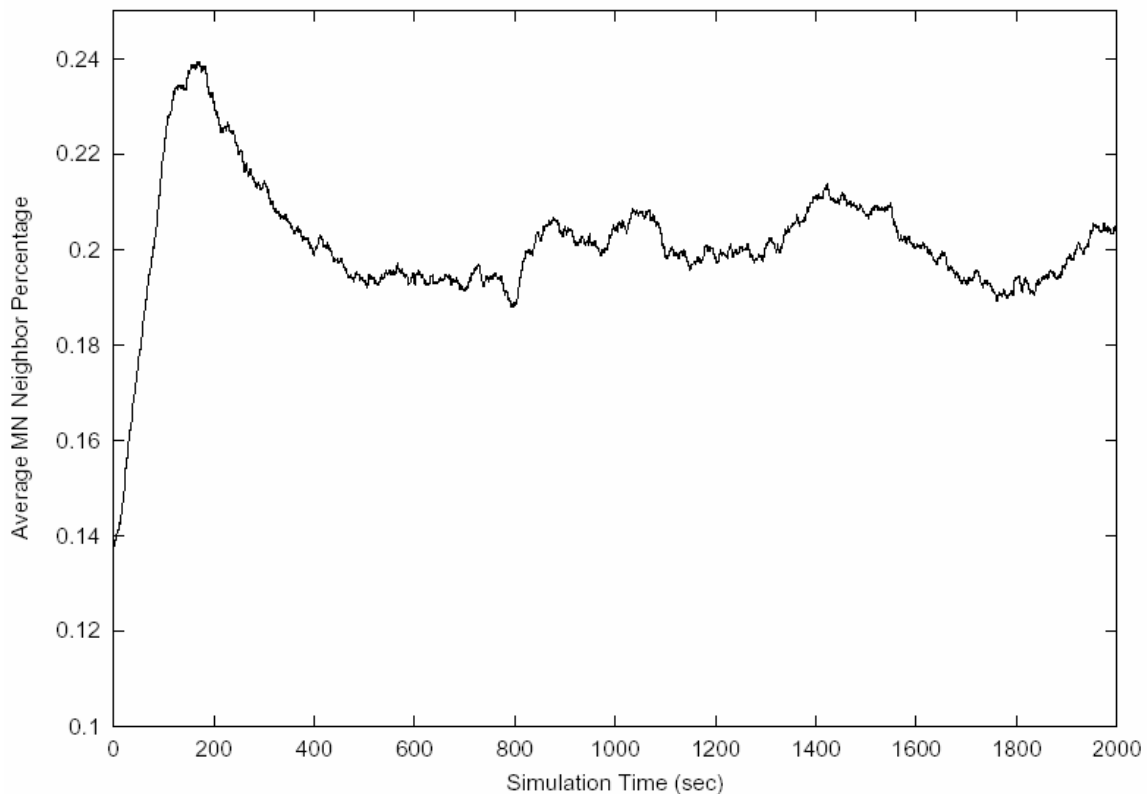


Figura 1 – Percentagem média de nós vizinhos para uma dado nó em uma rede que se movimenta de acordo com o modelo Waypoint.

É possível perceber na figura 1 que, por exemplo, se existirem 50 NMs na rede e um nó possui 10 vizinhos, então o percentual de vizinhos deste nó é de 20%, onde um vizinho é qualquer nó dentro do alcance de transmissão. Como visto, existe uma grande variabilidade nos primeiros 600 segundos de simulação. Esta grande variância no percentual de vizinhos irá causar, também, grande variância em resultados de performance, a não ser que esses resultados sejam medidos a partir de longas simulações [5].

Modificação do Modelo de Mobilidade

Em [3] Yoon, Liu e Noble mostraram que para o modelo *Waypoint*, nós em uma grande “sala” escolhem alguns destinos e movem-se com uma velocidade aleatória uniformemente entre $(0, V_{max}]$, onde V_{max} é a velocidade máxima da

simulação. As vezes, o modelo é descrito como tendo uma velocidade média de $V_{max}/2$. Espera-se que a velocidade média deste modelo seja mantida no decorrer da simulação uma vez que os resultados da mesma são, quase sempre, na forma de média sobre um período de tempo. Estas médias só fazem sentido se a simulação alcançar um regime permanente. Infelizmente, este não é o caso. O fato é que com o decorrer da simulação uma grande quantidade de nós movem-se mais devagar. Mais e mais nós ficam “presos” percorrendo longas distâncias em baixas velocidades. Desta forma, o modelo falha em fornecer resposta em regime permanente em termos da velocidade média. A sobrecarga e a performance dos sistemas móveis geralmente dependem fortemente da mobilidade dos nós.

Assim, em [3] é proposta uma solução simples para este problema. A velocidade com que cada nó se movimenta deve ser aleatoriamente escolhida dentro de um intervalo $[V_{min}, V_{max}]$, onde V_{min} deve ser um valor positivo. O resultado desta mudança pode ser visto na figura 2 a seguir, onde é possível observar que com a modificação proposta ($[1,19]$ m/s) a velocidade média dos sistema varia em torno de uma média fixa em regime permanente, enquanto para o modelo original ($[0,20]$) esta média continua decaindo ao longo do tempo, não atingindo regime permanente. Para este ultimo caso, eventualmente, esta média chegará a zero (quando tempo tende a infinito).

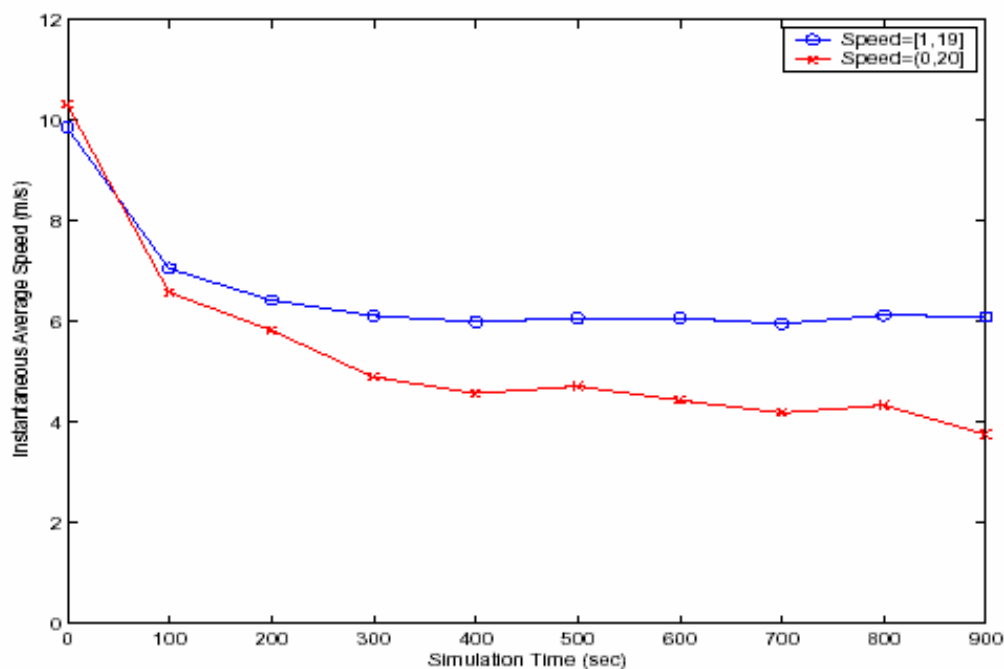


Figura 2 – Velocidade Média dos nós de uma rede ao longo do tempo de simulação.

Modelo de Tráfego

Nos experimentos realizados, algumas variações de modelos de tráfego foram utilizadas, de forma a avaliar como mudanças algumas mudanças no tráfego imposto a rede irá influenciar em seu desempenho.

Cada sessão de tráfego é definida por um par fonte do tráfego e destino do tráfego, ou ainda par fonte-destino (F-D). As sessões de tráfego utilizadas nas simulações começam no instante inicial da simulacao (0 segundos) e acabam no mesmo instante em que a própria simulação termina (900 segundos). Existe sempre um número fixo de pares F-D ao longo de cada simulação. Este modelo foi escolhido para que fosse possível observar uma mesma carga na rede durante todo o período de simulação. Assim, qualquer variação no tráfego imposto à rede, seria causada por quebras ou descobertas de rotas e devido a disputa pelo meio e não por eventuais terminos e inícios de conexões. Em [GUPTA DAS], por exemplo, cada par F-D iniciava e terminava conexões em instantes escolhidos

aleatoriamente durante o tempo de simulação. Esta abordagem pode ser considerada mais realista, no entanto, poderia gerar grandes variações na carga empregada à rede. Não seria possível, assim, determinar se tais variações teriam sido causadas pelo funcionamento dos protocolos de roteamento e de acesso ao meio ou pelo cenário de tráfego escolhido. Cada conexão é estabelecida entre nós fontes e destinos escolhidos de forma aleatória. As fontes de cada sessão são CBR (Constant Bit Rate) e geram pacotes UDP a uma taxa pré-determinada. Uma vez que cada simulação dura 900 segundos, um tempo de pausa de 900 segundos implica em uma rede estática ou estacionário, ao mesmo tempo em que um tempo de pausa de 0 segundos implica em uma rede na qual seus nós estão em constante movimento.

Para gerar os cenários de tráfego foi escrito um programa em linguagem C (Apêndice A) que recebe como parâmetros de entrada, o número de pares F-D, o tamanho dos pacotes gerados pelas fontes CBR e a taxa com que esses pacotes são enviados. O programa escolhe aleatoriamente os nós fonte e os nós destino de cada conexão. A saída deste programa é um arquivo (app.conf – Apêndice B) que identifica os pares F-D, os momentos de início e fim de conexão e o tamanho dos pacotes gerados.

Ambiente de Simulação

As simulações realizadas neste estudo foram conduzidas utilizando-se o Global Mobile System Simulator (GloMoSim) [10] para simulação de redes sem fio. Este simulador é usado para realizar simulações de redes de diferentes tamanhos, permitindo a comunicação de nós em diversos cenários.

Este trabalho foi dividido em três experimentos distintos, cada um com o propósito de estudar diferentes fatores que têm impacto na performance de redes ad hoc sem fio. Cada modelo implementado neste estudo, ao longo das três experiências mencionadas, foi simulado durante 900 segundos. A área disponível para que os nós se movimentem é retangular, com dimensões de 1500m X 300m. Áreas retangulares são muito utilizadas em diversos trabalhos ([3] [6] [7]). O

objetivo de empregar áreas retangulares é permitir que se formem rotas de diferentes tamanhos, permitindo rotas mais longas (rotas com mais enlaces). As variações impostas aos modelos de mobilidade e de tráfego utilizados, serão abordados a seguir no texto.

A primeira das três experiências tem como objetivo principal avaliar o impacto do aumento da carga imposta ao sistema, diante de diferentes tempos de pausa, definidos no modelo de mobilidade *Waypoint*. Quanto maior o tempo de pausa, mais estática é a rede e quanto mais esta pausa se aproxima de zero (0) segundos, mais mobilidade possuem os nós. As mudanças na carga empregada à rede foram realizadas, variando-se o número de conexões simultâneas. Foram realizadas, então, 24 simulações onde cada uma foi repetida 5 vezes, completando um total de 120 simulações. Um detalhamento sobre os valores dos parâmetros da simulação, incluindo tamanho de pacote, tempos de pausa, taxas de transmissão etc, pode ser vistos de forma clara no Apêndice C.

Através da segunda experiência, procurou-se investigar o impacto da densidade da rede, ou número de nós por unidade de área, na performance da mesma, novamente sob diferentes cenários de mobilidade (variação do tempo de pausa). Foram realizadas simulações com 18 combinações de valores de tempo de pausa e número de nós, cada uma repetida 5 vezes, totalizando 90 simulações. Detalhes sobre valores utilizados neste experimento podem ser facilmente analisados na tabela do Apêndice D.

A terceira experiência foi conduzida de forma a observar o comportamento da rede diante de mudanças no cenário de mobilidade, mas desta vez, fixando-se o tempo de pausa em 0 segundos e variando-se apenas a velocidade. Mais uma vez, procurou-se observar o impacto da mobilidade na eficiência do protocolo AODV, sob diferentes cargas impostas ao sistema. Os valores dos parâmetros desta terceira experiência estão apresentados na tabela do Apêndice E. Aqui, 60 (12 x 5) simulações foram executadas.

Métricas de Desempenho Utilizadas

Para estudar o comportamento da rede diante dos cenários propostos e compará-los com resultados de trabalhos posteriores [12], [14], [13], foram estabelecidas as seguintes métricas.

- (i) **Vazão** – medida em bits por segundo (bits/seg ou bps). Esta métrica mede a efetividade da rede em entregar pacotes de dados, de uma fonte até um destino. Trata-se da quantidade de bits recebidos com sucesso em um segundo por uma estação ativa.
- (ii) **Número de Pacotes de Sobrecarga** – número médio de pacotes de controle de roteamento, incluindo replies, requests e erros.
- (iii) **Taxa de Pacotes Recebidos ou Taxa de Entrega** – Determina a eficiência da rede. Indica quantos pacotes em media uma estação precisa enviar para que este pacote chegue ao destino com sucesso. (# de pacotes recebidos / \$ de pacotes enviados)
- (iv) **Taxa de Perda** – Devido a erros na camada física ou em camadas superiores, pacotes transmitidos podem não ser entregues ao destino. $(100 - ((\# \text{ de pacotes recebidos}) * 100 / (\$ \text{ de pacotes enviados})))$

Resultados

Experiência 1

Como dito anteriormente, o principal objetivo desta bateria de simulações é avaliar o impacto do aumento da carga imposta ao sistema, diante de diferentes cenários de mobilidade dos nós.

Observando a figura3, é possível perceber uma performance superior quando trata-se de menos conexões simultâneas, ou seja, observa-se uma vazão maior para 10 conexões simultâneas do que para 20, 30 e 40. Isso acontece pois quanto

menos pares F-D estiverem ativos na rede, menos disputa pelo meio irá ocorrer, gerando menos contenção. Com menos contenção, um número menor de estações estará em estado de backoff (esperando tempo aleatório para transmitir, devido à colisão ou devido ao meio estar ocupado quando se deseja transmitir). Outro comportamento interessante é o tímido crescimento na vazão, para 10, 20 e 30 conexões a medida em que se diminui a mobilidade dos nós. No entanto, isso não acontece quando se impõe cargas mais altas na rede (40 pares F-D). É interessante notar que, apesar de apresentar uma vazão inferior, o cenário com 40 conexões tira proveito da maior mobilidade (tempo de pausa pequeno).

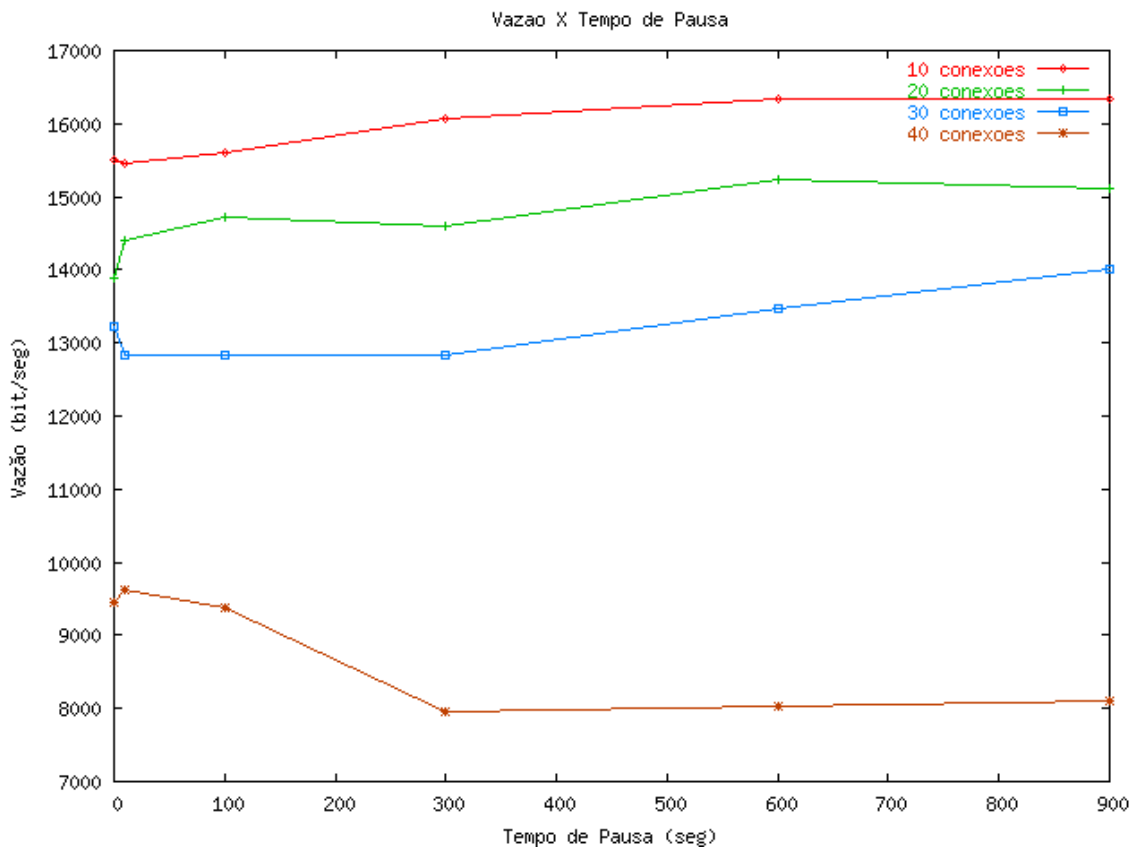


Figura 3 – Experiência 1 / Vazão X Tempo de Pausa

O aumento da capacidade da rede ad hoc móvel como consequência do aumento da mobilidade da rede, tem sido alvo de diversos trabalhos recentes, tais como [6] e [15].

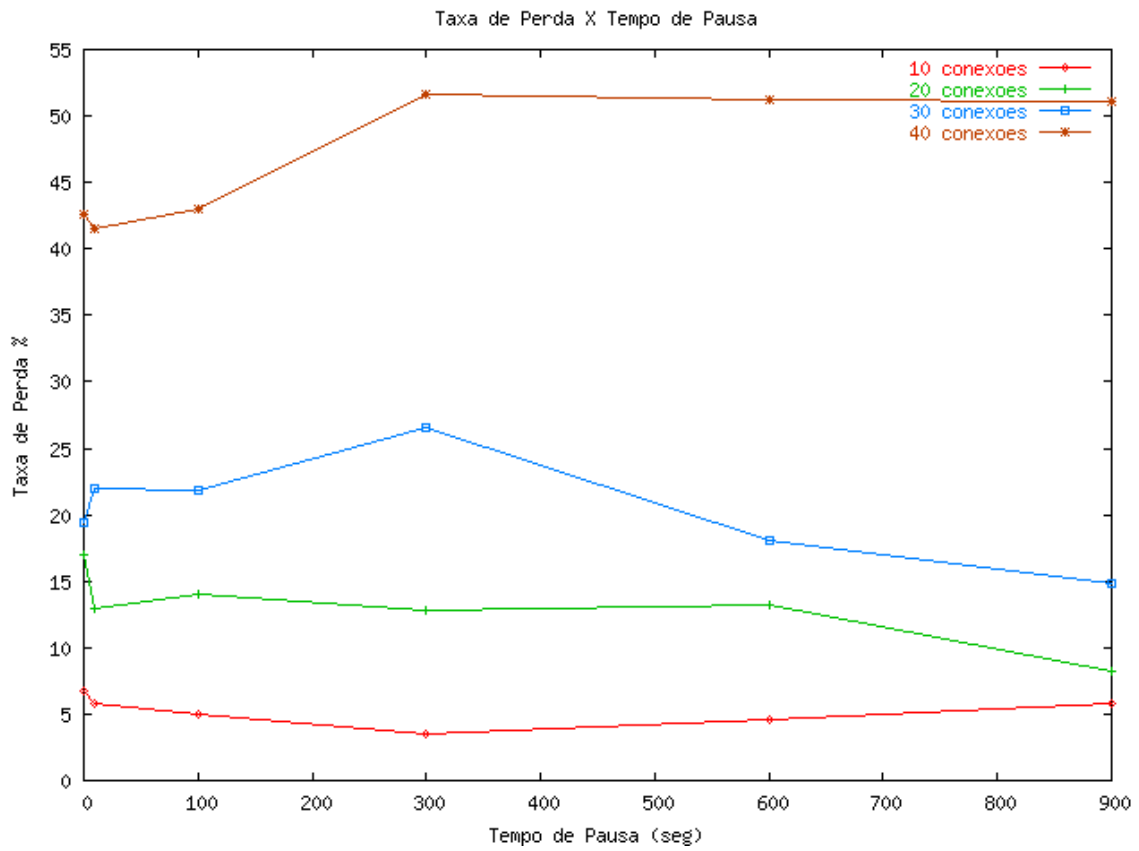


Figura 4 – Experiência 1 / Taxa de perda X Tempo de Pausa

Um comportamento análogo pode ser observado na figura 4. A perda para 40 conexões é maior que para 30, 20 e 10. Isso se dá pois com 40 pares F-D, em uma rede de 0 nós, as rotas existentes estarão mais congestionadas.

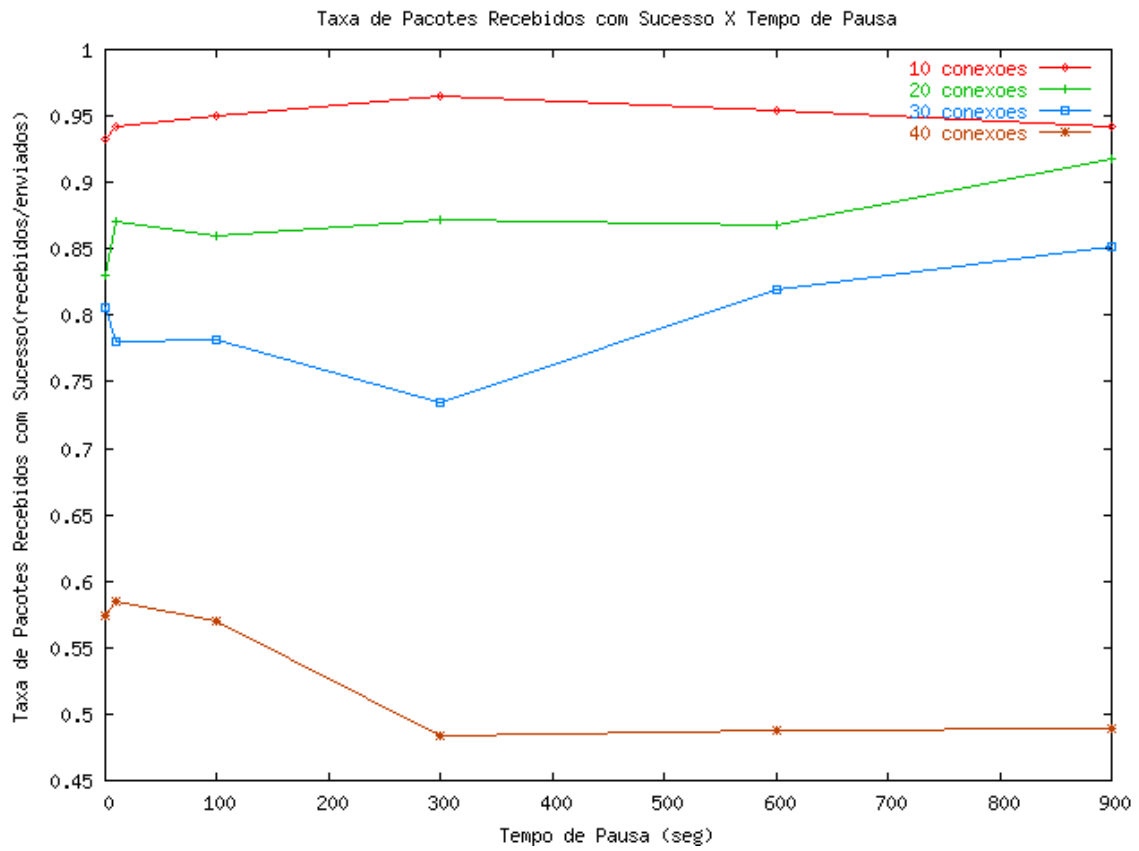


Figura 5 – Experiência 1 / Taxa de Entrega X Tempo de Pausa

Na figura 5 observamos um comportamento semelhante ao encontrado no gráfico da vazão. O mesmo ganho com a mobilidade para taxa de entrega.

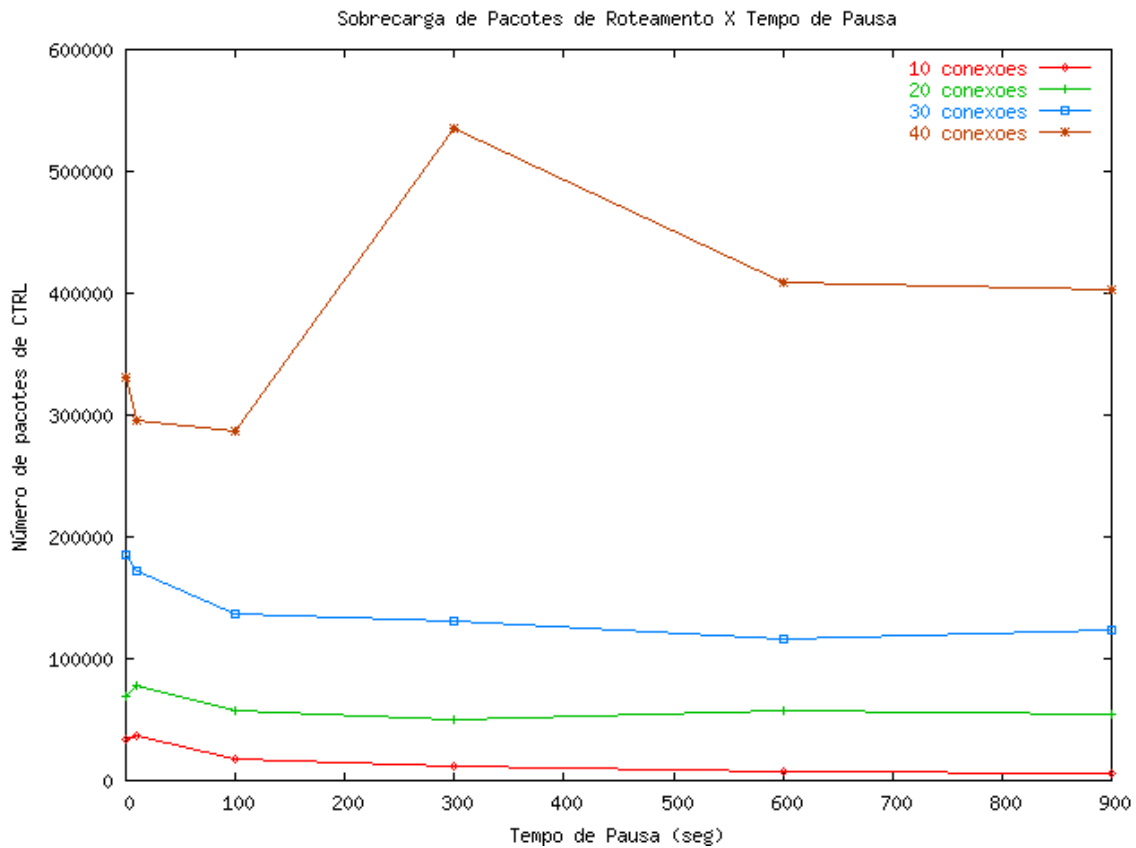


Figura 6 – Experiência 1 / Sobrecarga de Roteamento X Pausa

Na figura 6 é evidente o aumento da sobrecarga na medida em que o número de pares F-D aumento. Isso já era esperado pois o AODV é um protocolo de roteamento sob demanda.

Experiência 2

Como dito anteriormente, o principal objetivo desta bateria de simulações é investigar o impacto da densidade da rede na performance, novamente, sob diferentes cenários de mobilidade.

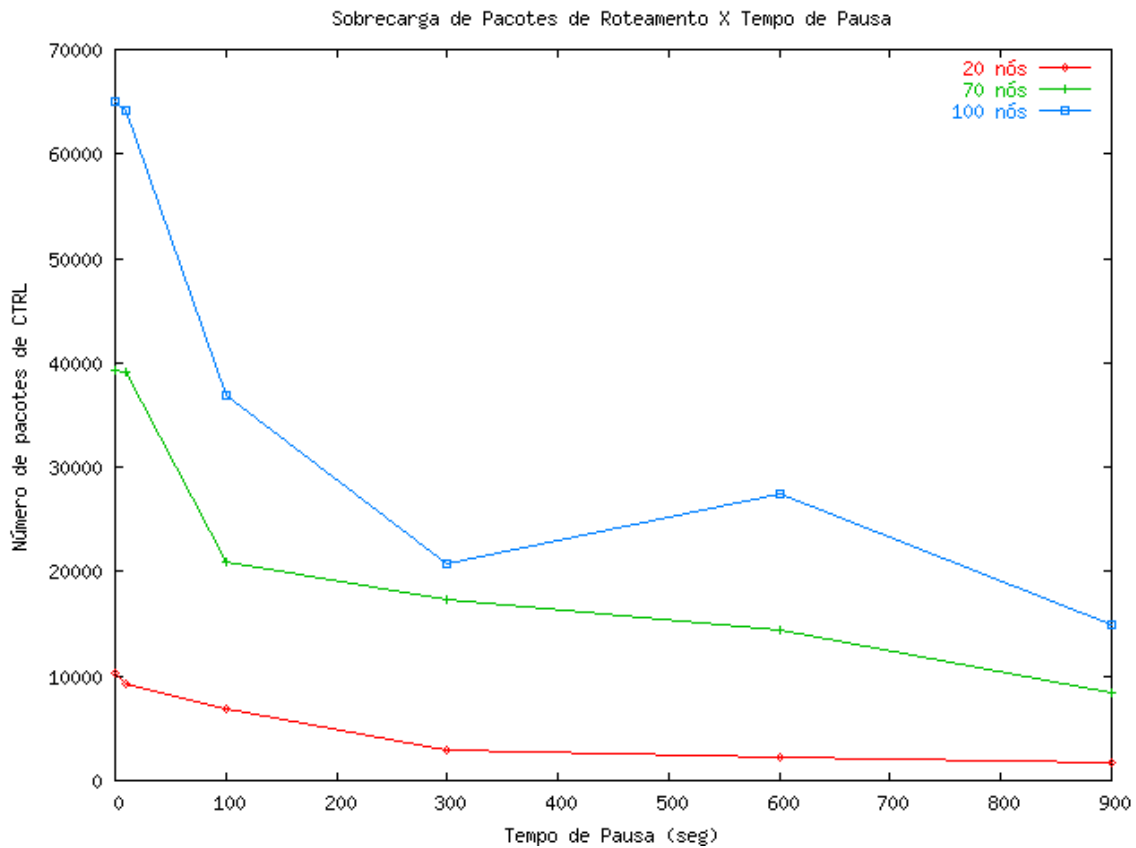


Figura 7 – Experiência 2 / Sobrecarga de Roteamento X Pausa

A sobrecarga de roteamento apresenta o mesmo comportamento para qualquer densidade. Mais mobilidade resulta em mais sobrecarga. É natural que para redes mais densas, a sobrecarga devido ao roteamento seja maior, devido ao maior número de rotas disponíveis. Isso quer dizer que esse acréscimo na sobrecarga para redes mais densas, não implica em prejuízo para o desempenho. Isso por que mais sobrecarga, neste caso, significa mais rotas, menos perda (figura8), menos congestionamento e uma taxa de entrega (figura9) e vazão (figura10) superior.

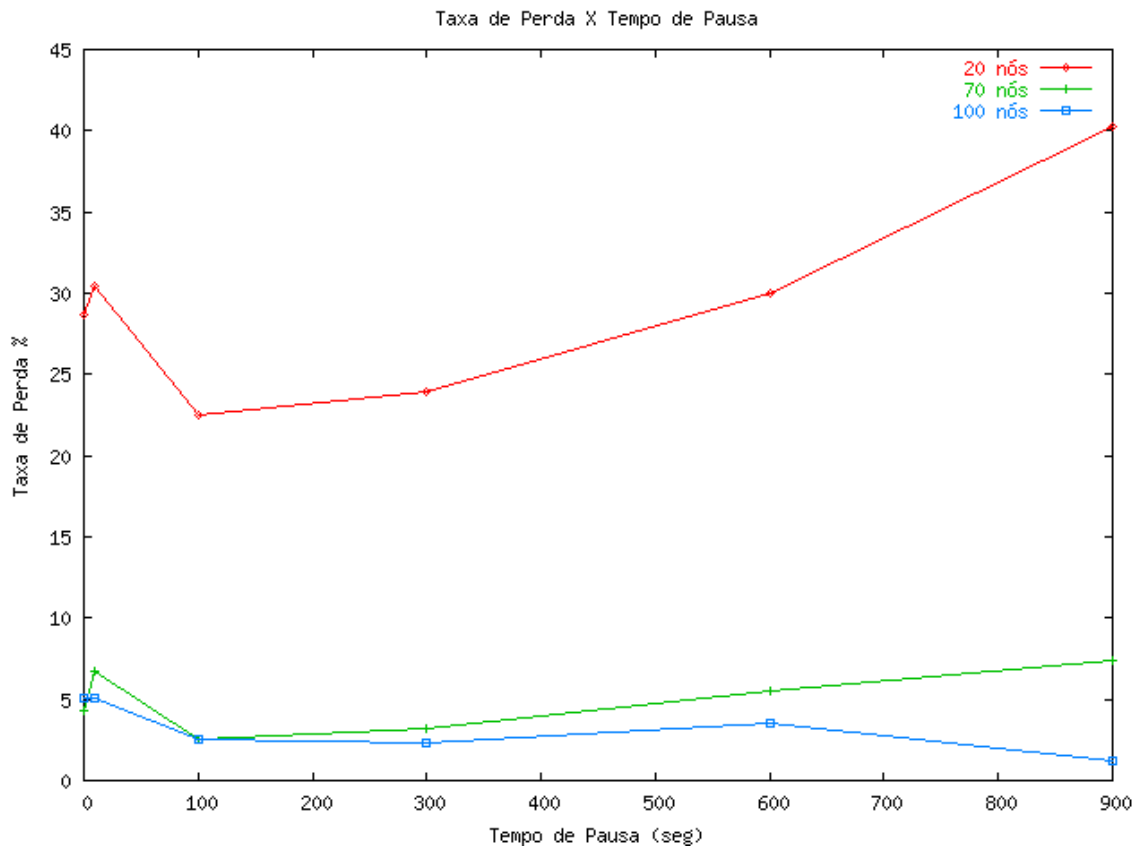


Figura 8 – Experiência 2 / Taxa de perda X Pausa

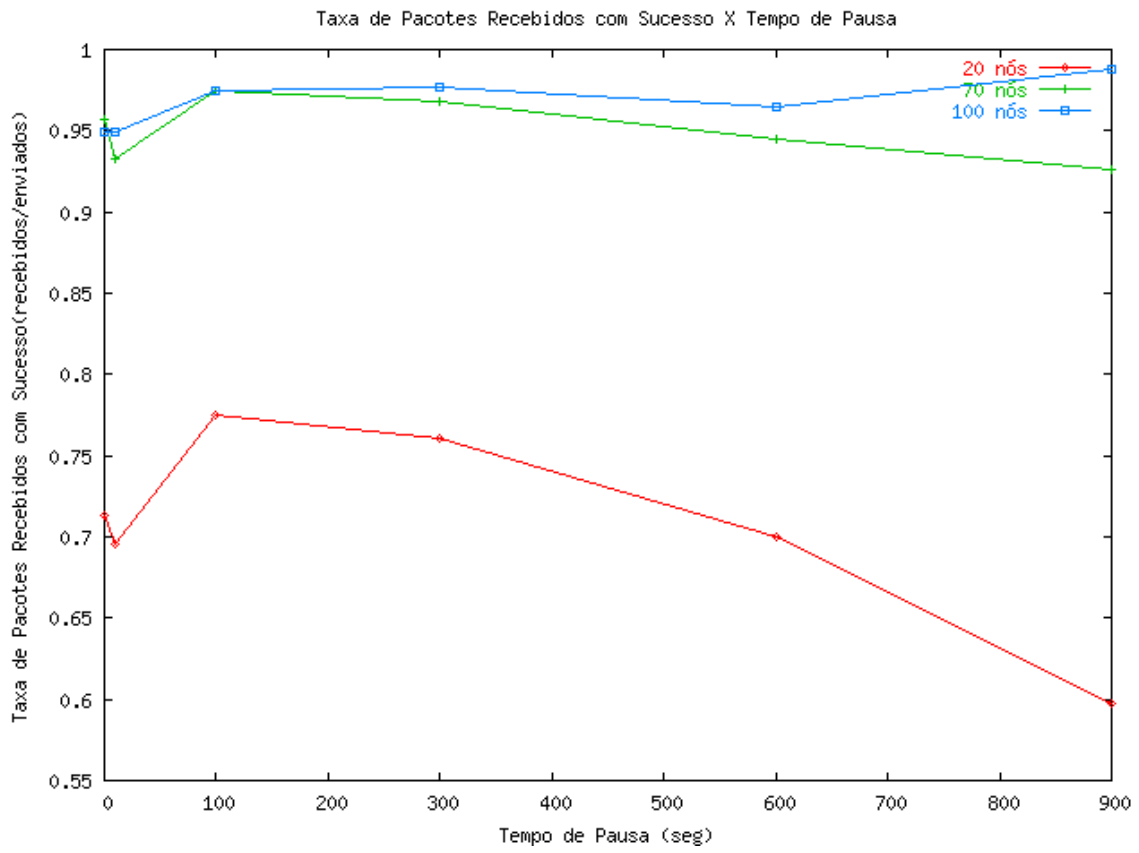


Figura 9 – Experiência 2 / Taxa de entrega X Pausa

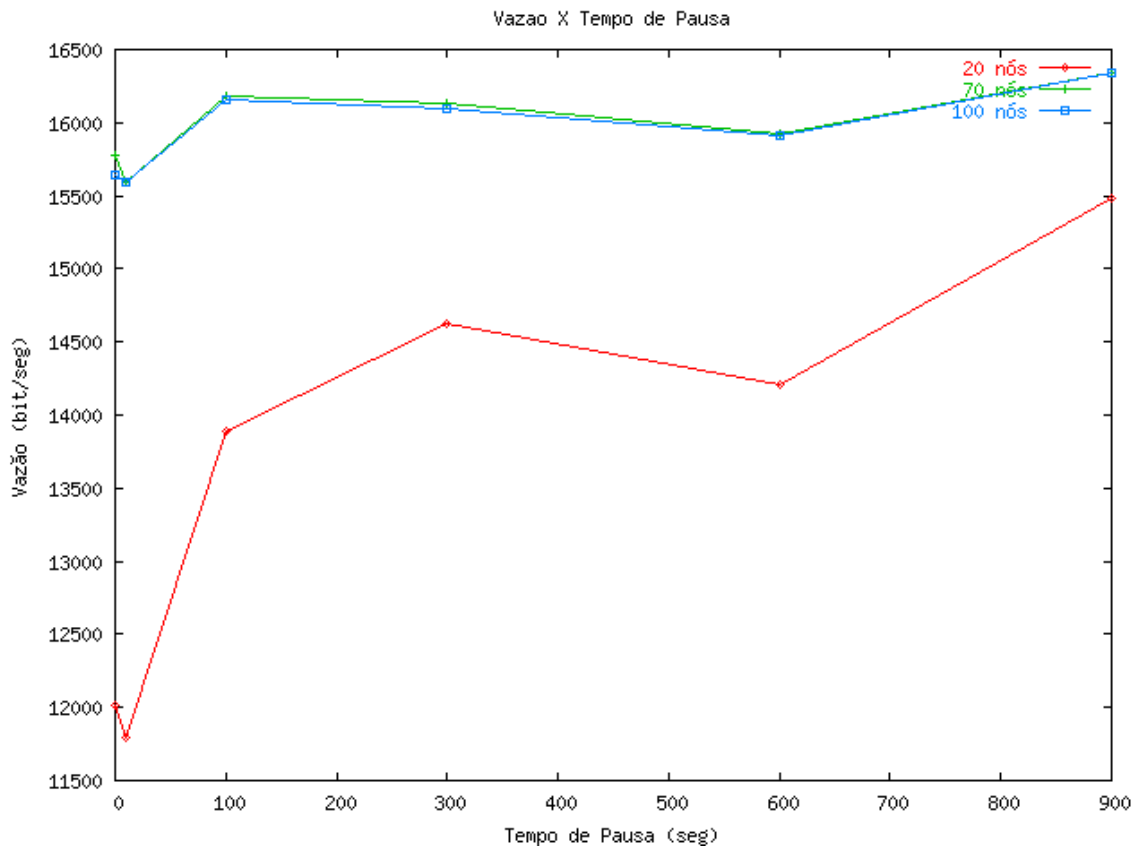


Figura 10 – Experiência 2 / Vazão X Pausa

Essas simulações foram realizadas com 10 conexões simultâneas, no entanto, repetir essa experiência com mais pares F-D pode ser interessante para que seja possível perceber diferença entre redes mais densas (70 e 100 nós).

Experiência 3

Como dito anteriormente, o principal objetivo desta bateria de simulações é observar o comportamento da rede diante de mudanças no cenário de mobilidade, mas desta vez, fixando-se o tempo de pausa em 0 segundos e variando-se apenas a velocidade.

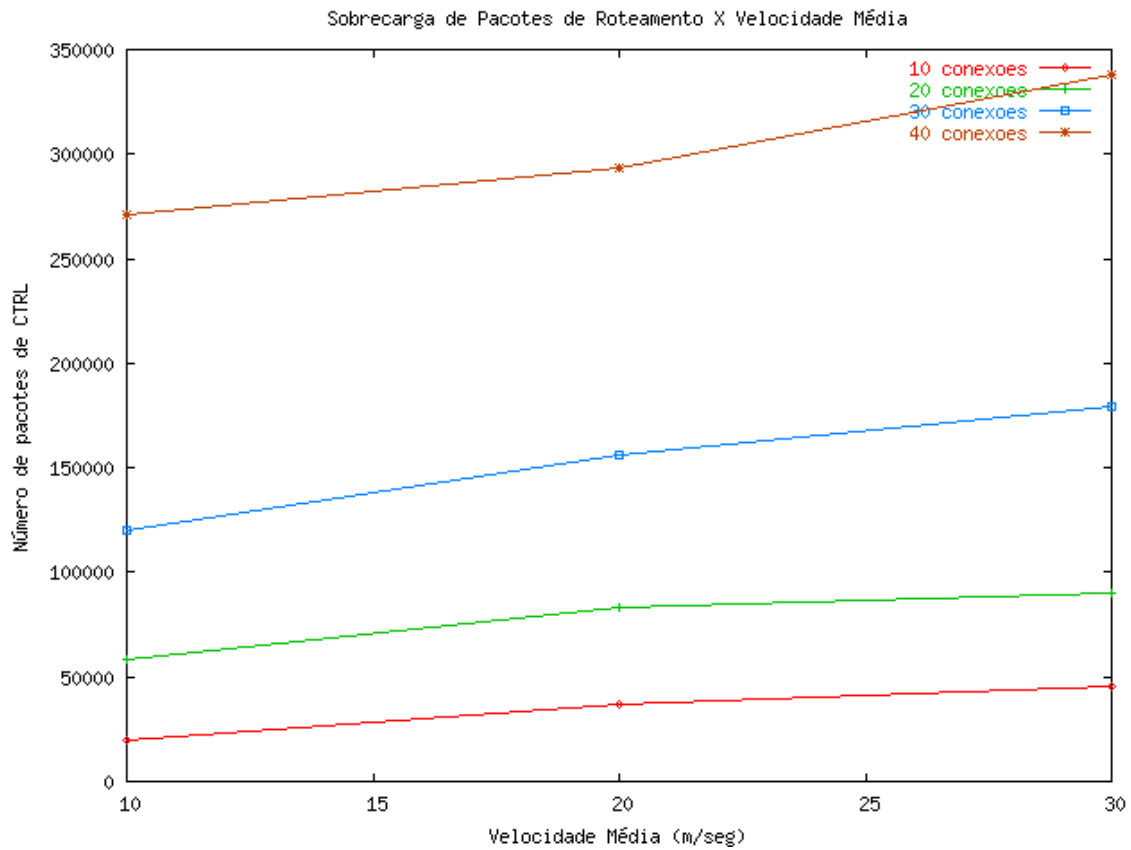


Figura 11 – Experiência 3 / Sobrecarga Roteamento X Pausa

Mais uma vez observa-se mais carga, mais demanda, o que ocasiona aumento da sobrecarga de roteamento. Esse aumento também ocorre com a velocidade uma vez que, com os nós se movimentando mais rapidamente, as rotas ficam mais instáveis e o número de mudanças de links também cresce.

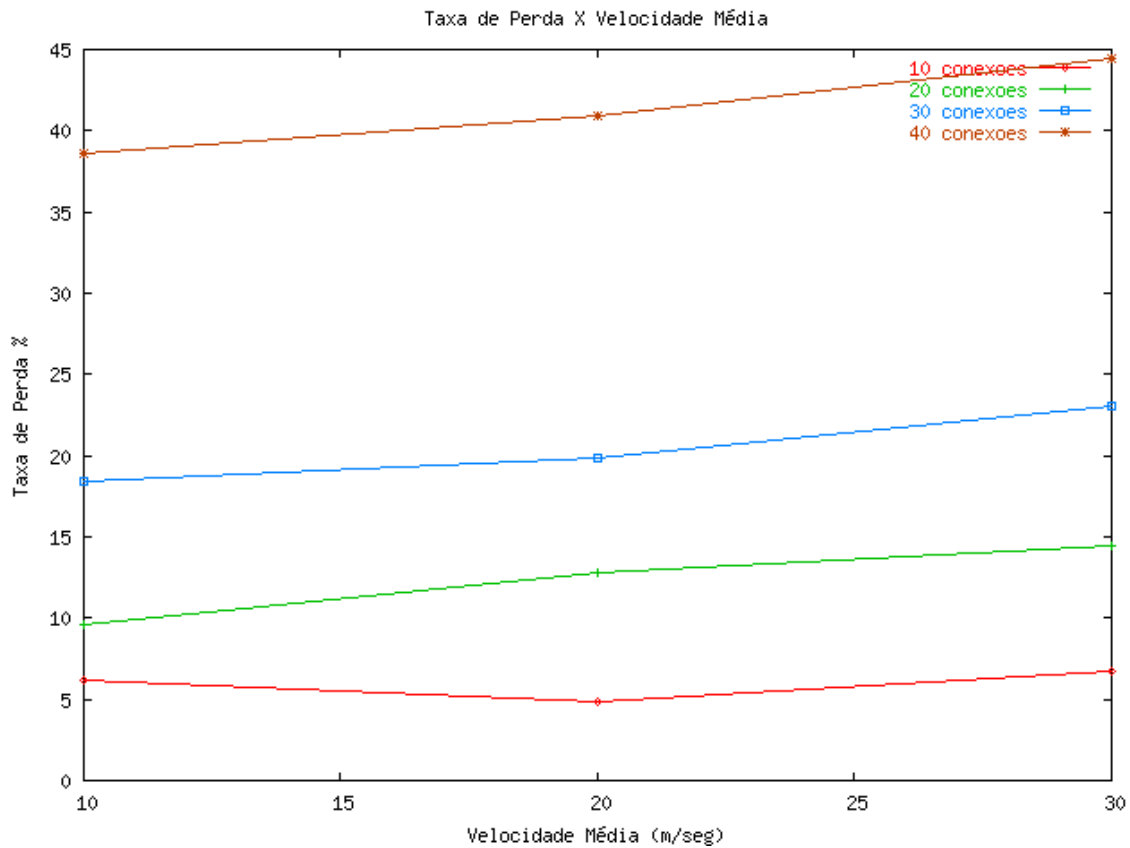


Figura 12 – Experiência 3 / Perda X Pausa

Como era esperado, apresenta-se uma taxa de perda maior para cenários com mais conexões simultâneas (mais carga implica em mais congestionamento, que ocasiona mais perdas). Existe um aumento sutil em relação a velocidade. Se comparadas as figuras 12 e 4, é possível perceber que o impacto da mobilidade através do tempo de pausa é maior que o impacto pela mudança de velocidade.

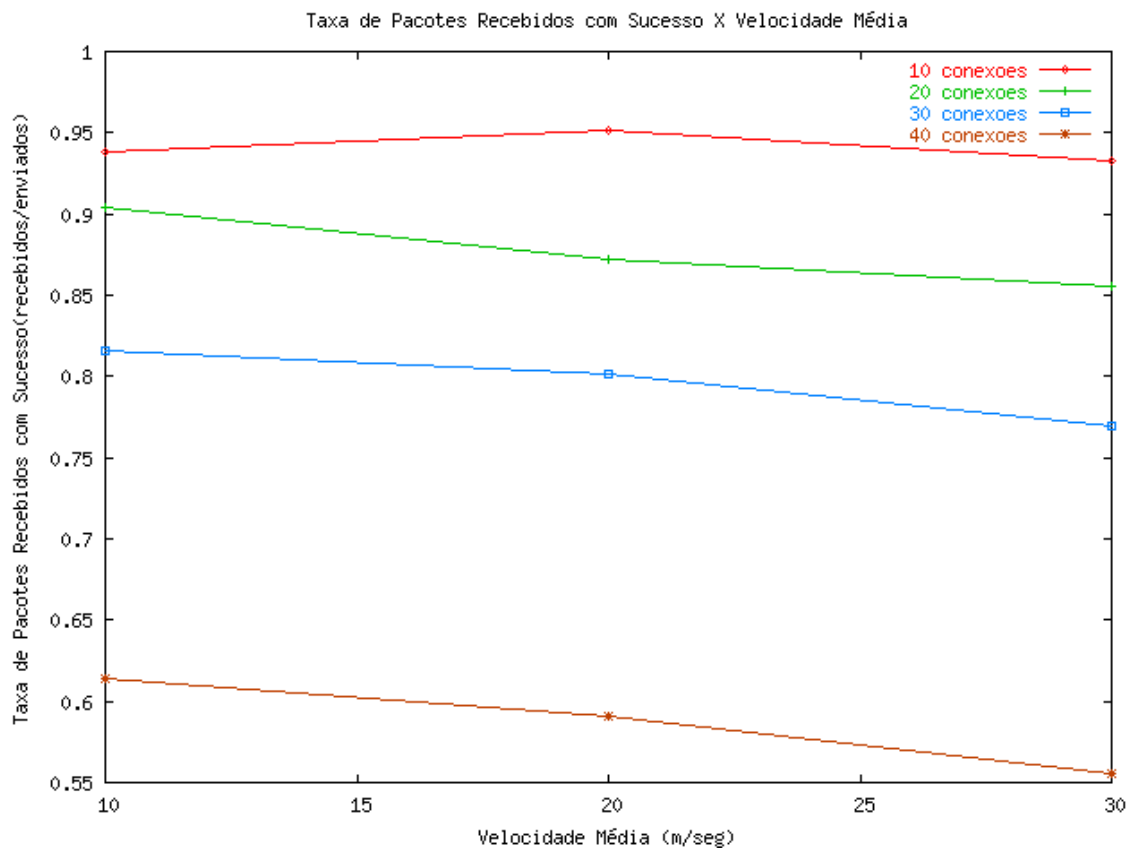


Figura 13 – Experiência 3 / Vazão X Pausa

Taxa de entrega (figura13) e vazão (figura14) possuem comportamentos semelhantes, no entanto, percebe-se uma ligeira queda a medida em que os nós movimentam-se mais velozmente. Isso ocorre pois com o aumento da velocidade, mais quebras de links iram ocorrer e nova rotas terão que ser descobertas. A latência na descoberta de rotas no AODV é a grande responsável por este comportamento.

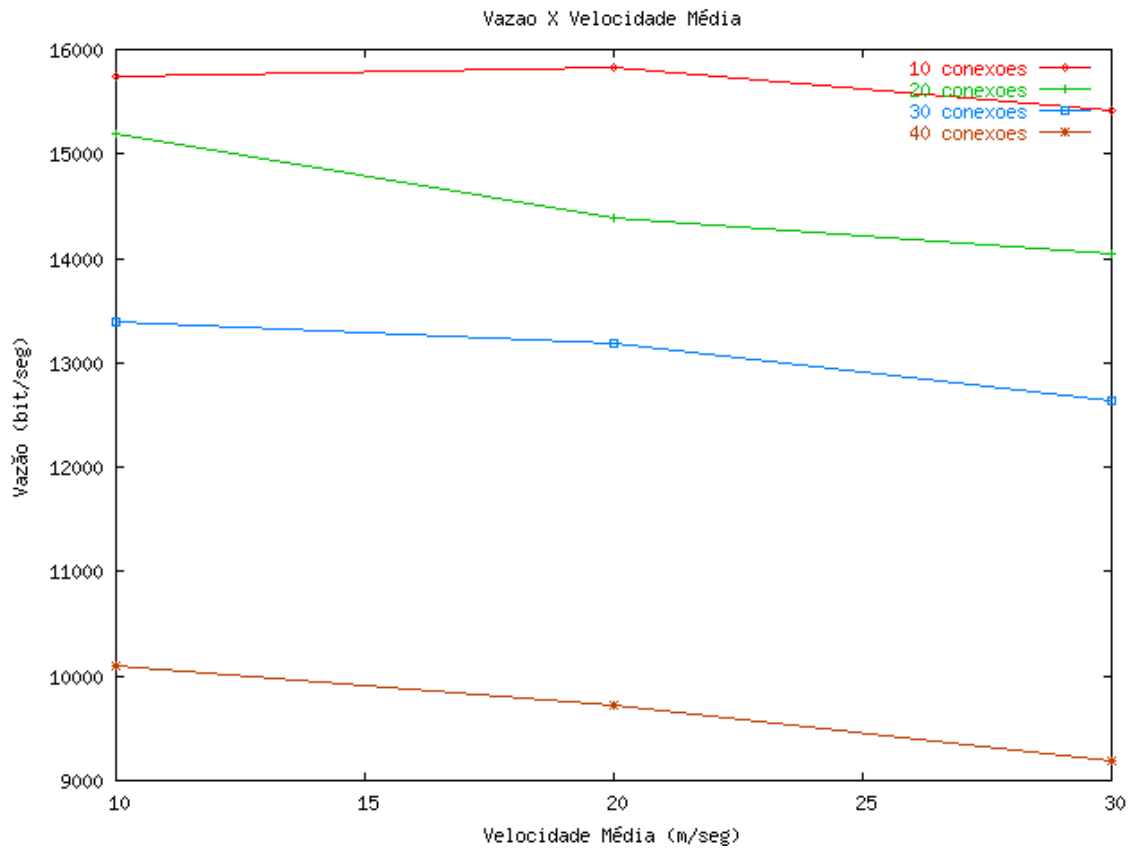


Figura 14 – Experiência 3 / Vazão X Pausa

Observa-se na figura 14 que a queda na vazão de acordo com o aumento da velocidade é mais acentuada para 40 conexões. Para 10 conexões, mesmo havendo mais quebras de links por causa do aumento da velocidade, sendo a demanda menor, existem sempre rotas alternativas disponíveis, enquanto que para mais conexões, essas rotas alternativas (se existirem) tem uma probabilidade maior de estarem sendo utilizadas por outros pares F-D (causando congestionamento, mais perdas e conseqüente queda na vazão).

Conclusões e Trabalhos Futuros

Foi possível mostrar através de simulações, quais fatores causam impacto no desempenho de redes ad hoc sem fio. Mais do que observar o comportamento das redes, foi possível determinar porque as métricas estabelecidas mantinham um determinado comportamento, baseado no estudo dos protocolos e modelos utilizados para as simulações.

Para tal, um total de 60 scripts (em linguagens awk, Shell script e C++) foram escritos de forma que fosse possível automatizar todas as quase 300 simulações necessárias para o trabalho, além de realizar a aquisição de dados para apresentação dos resultados.

Os resultados de [3] foram aplicados aos cenários de mobilidade, de forma a resolver o problema do decremento da velocidade média dos nós em regime permanente.

Mostrou-se que a densidade é fator fundamental no desempenho da rede mas que no entanto existe um limite até onde o aumento da densidade trás benefícios ao bom funcionamento da rede móvel. Também foi possível observar que para uma rede com grande demanda, mais mobilidade (pausas menores) implica em ganho de desempenho.

Mostrou-se ainda que o tempo de pausa, no *Waypoint*, é fator decisivo para o desempenho da rede, principalmente quando a demanda é grande. No entanto, a velocidade, para os modelos e cenários aqui estudados, não se mostrou um fator tão impactante quanto a pausa. Em [14] Perkins faz um estudo onde utiliza uma metodologia de “factorial desing $2^k r$ ” para determinar o impacto não apenas de cada uma variável do sistema individualmente, mas também, o impacto da variação de pares (parâmetros variados 2x2). Um estudo semelhante pode ser realizado utilizando-se outras métricas e outros parâmetros, como taxa de transmissão, tamanho dos pacotes e regras de bordas distintas. Também é

interessante realizar esses experimento com o objetivo de comparar diferentes modelos de mobilidade, não apenas o *Random Waypoint*.

Referências

- [1] V. Davies, "Evaluating Mobility Models within an Ad hoc Network," Master's thesis, Colorado School of Mines Los Angeles, USA, 2000.
- [2] G. P. X. Hong, M. Gerla and C. Chiang, "A Group Mobility Model for Ad hoc Wireless Networks," in *Proc. of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, aug 1999.
- [3] Jungkeun Yoon, Mingyan Liu, Brian Noble; "Random Waypoint Considered Harmful"; INFOCOM – Abril 2003
- [4] T. Camp, J. Boleng, and V. Davies, "Mobility models for ad hoc network simulations," in *Wireless Communication and Mobile Computing (WCMC): Special issue on Mobile Ad Hoc Networking: Research, Trends and Applications*, 2002.
- [5] J. Boleng. "Normalizing mobility characteristics and enabling adaptive protocols for ad hoc networks". In *Proceedings of the Local and Metropolitan Area Networks Workshop (LANMAN)*, pages 9–12, March 2001.
- [6] N. Gupta; S. R. Das, "A Capacity and Utilization Study of Mobile Ad Hoc Networks", *Local Computer Networks*, 2001. Proceedings. LCN 2001. 26th Annual IEEE Conference on , 14-16 Nov. 2001; Page(s): 576 -583
- [7] T. Camp, J. Boleng, B. Williams, L. Wilcox, and W. Navidi. Performance evaluation of two location based routing protocols. In *Proceedings of the Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, 2002.
- [8] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer e S. R. Das, "Ad hoc on-demand distance vector routing", *Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-10.txt*, junho 2002.
- [9] IEEE Standards Department. Wireless LAN médium Access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE standard 802.11-1997, 1997

- [10] L. Bajaj, M. Takai, R. Ahuja, K. Tang, R. Bagrodia, and M. Gerla, "GloMoSim: a scalable network simulation environment". UCLA Computer Science Department, Technical Report—990027, May 1999.
- [11] R. Jain, 1991. The Art of Computer System Performance Analysis. New York: John Wiley & Sons Inc.
- [12] D. D. Perkins and H. Hughes, "A performance comparison of routing protocols for mobile ad hoc networks. Proceedings of SPECTS 2000, Vancouver, B.C. Canada, July 2000.
- [13] J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva, "A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols," in Mobile Computing and Networking (MobiCom), 1998, pp. 85–97.
- [14] D. D. Perkins, H. D. Hughes, and C. B. Owen, "Factors affecting the performance of ad hoc networks," in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC), 2002.
- [15] Matthias Grossglauser and David N. C. Tse; "Mobility Increases the Capacity of Ad Hoc Wireless Networks"; IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 10, NO. 4, AUGUST 2002 477

APÉNDICE A

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <time.h>

#define MAX_NUMBER_STA 100
#define MAX_NUMBER_ARGS 4
#define MAX_SIM_TIME 900
#define SLEEP 1500

int STArand(void);
int timeRand(void);
void printHeader();

main(int argc, char *argv[])
{
    int i;
    time_t now;
    FILE* out;
    int sour = STArand();
    int dest = STArand();
    int startTime = 0;

    if (argc < MAX_NUMBER_ARGS)
    {
        printf(">> Not enough arguments!\n");
        printf(">> Syntax Error: Wrong number of
arguments\n");
        printf("\nusage: ./trafRandGen <number_of_Src-
Dst_pairs> <PKT_size> <inter_PKT_time>\n");
        printf("ex: ./trafRandGen 10 512 0.25\n");
        printf("or ./trafRandGen 40 128 1\n\n");
        return 0;
    }
    else
    {
        if (argc > MAX_NUMBER_ARGS)
        {
            printf(">> Too much arguments!\n");
            printf(">> Syntax Error: Wrong number of
arguments\n");
            printf("\nusage: ./trafRandGen <number_of_Src-
Dst_pairs> <PKT_size> <inter_PKT_time>\n");
            printf("ex: ./trafRandGen 10 512 0.25\n");
            printf("or ./trafRandGen 40 128 1\n\n");
        }
    }
}
```

```

        return 0;
    }
}
out=fopen("app.conf","w");
time(&now);
srand((unsigned int)now);
for (i = 0; i < atoi(argv[1]); i++)
{
//    startTime = timeRand();
    sour = STARand();
    dest = STARand();

    while (sour == dest)
    {
        dest = STARand();
    }
    fprintf(out,"CBR\t %d\t %d\t 0\t %d\t %6.5fS\t
%dS\t OS\t \n",
        sour,    dest,    atoi(argv[2]),    atof(argv[3]),
    startTime);
}

    printf("\n");
    fclose(out);
    return 0;
}

int STARand(void)
{
    return    ((float)random() / (float)RAND_MAX)    *
MAX_NUMBER_STA;
    usleep(SLEEP);
}

int timeRand(void)
{
    return    ((float)random() / (float)RAND_MAX)    *
MAX_SIM_TIME;
    usleep(SLEEP);
}

```

APÊNDICE B – Exemplo de arquivo app.conf

CBR	48	17	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	9	37	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	5	45	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	41	6	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	19	5	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	17	38	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	43	25	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	3	29	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	15	14	0	512	0.25000S	0S	0S
CBR	37	25	0	512	0.25000S	0S	0S

Este arquivo apresenta 10 pares F-D CBR, pacotes de 512bytes, 4 pacotes por segundo, iniciando as conexões no início da simulação e terminando no final da mesma.

APÊNDICE C – Detalhamento de experiência 1

Exp1 = 5 repetições								
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
1	0seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
2	0seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
3	0seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
4	0seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
5	10seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
6	10seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
7	10seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
8	10seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
9	100seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
10	100seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
11	100seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
12	100seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
13	300seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
14	300seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
15	300seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
16	300seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
17	600seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
18	600seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
19	600seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
20	600seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
21	900seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
22	900seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
23	900seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
24	900seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s

APÊNDICE D – Detalhamento de experiência 2

Exp2 = 5 repetições								
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
1	0seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
2	0seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
3	0seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
4	10seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
5	10seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
6	10seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
7	100seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
8	100seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
9	100seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
10	300seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
11	300seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
12	300seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
13	600seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
14	600seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
15	600seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
16	900seg	20	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
17	900seg	70	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
18	900seg	100	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s

APÊNDICE E – Detalhamento de experiência 3

Exp3 = 5 repetições								
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
1	0seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 19] m/s
2	0seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 19] m/s
3	0seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 19] m/s
4	0seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 19] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
5	0seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
6	0seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
7	0seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
8	0seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 39] m/s
	Pausa	NÓS	numb conex	MAC	Proto Rotea	Tam pacote	Taxa Tx	Velocidades
9	0seg	50	10	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 59] m/s
10	0seg	50	20	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 59] m/s
11	0seg	50	30	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 59] m/s
12	0seg	50	40	802.11	AODV	512 bytes	0,25 / 4pps	[1, 59] m/s