

## 6 SIMULAÇÃO

Neste capítulo serão descritos: o cenário de simulação empregado na análise do desempenho da nova proposta e os resultados obtidos de tais simulações. Esses tópicos serão divididos em duas seções. Na primeira será descrita a arquitetura de rede utilizada nas simulações, os tipos de serviços de dados e o modelo de rádio propagação. Na segunda seção serão comentados os resultados alcançados ao se utilizar a nova proposta de tolerância à falha dos Agentes de Mobilidade (HA e FA). Logo, a segunda seção será subdivida em duas subseções, a primeira será dedicada a tolerância à falha dos Agentes de Estrangeiro e a segunda será dedicada a tolerância à falha dos Agentes de Origem.

### 6.1. Ambiente de simulação

A ferramenta de simulação empregada para analisar o desempenho da nova proposta foi o **Network Simulator (NS-2)** [20], que hoje em dia é largamente utilizado pela comunidade científica e acadêmica.

A arquitetura de rede utilizada em todas as simulações é similar a arquitetura ilustrada na figura 13 do capítulo 5, porém com mais dispositivos de rede. Esta arquitetura consiste de 5 Agentes de Origem, 5 Agentes Estrangeiros, 10 roteadores de bordas, sendo que cada um desses roteadores de bordas estão conectados a um Agente de Mobilidade. Cada Agente de Origem está conectado ao seu roteador de borda por um link de largura de banda de 20Mb/s. Já a conexão entre um Agente Estrangeiro e seu roteador de borda é feita através de um link de 150Kb/s. Nesta arquitetura o Core Network é constituído de 10 roteadores, que são conectados uns aos outros por um link de largura de banda de 1Gb/s. Cada rede estrangeira além de ser constituída de um Agente Estrangeiro e o seu roteador de borda ela também possui uma Estação Base Controladora (BSC) que coordena as atividades de 4 Estações Base Tranceptoras (BTS). Portanto há no total 5 BSCs e 20 BTSs. Entre os roteadores de borda da rede estrangeira e as

BSCs há uma rede de interconexão. Nesta rede de interconexão para cada roteador de borda da rede estrangeira existem cinco links de largura de banda de 150Kb/s que conectam este roteador as cinco Estações Base Controladoras. Cada link da rede de interconexão possui um retardo fixo de propagação que depende das posições físicas dos roteadores de borda da rede estrangeira e da BSC que este roteador de borda está conectando. Estes retardos variam de 1,67ms (menor distância entre esses dispositivos de rede) à 16,53ms (maior distância entre esses dispositivos de rede). Este mesmo princípio, distância física entre os dispositivos de rede, foi utilizado para atribuir retardo fixo de propagação para os demais links desta arquitetura de rede.

Conectado aos roteadores do Core Network há três nós que simulam diferentes estações da rede fixa que utilizam o serviço VoIP para comunicar-se com as estações móveis das diferentes rede de origem. Para simular diferentes estações da rede fixa comunicando-se com diferentes estações móveis das diferentes rede de origem utilizando o serviço de Vídeo Conferência foram conectados mais três nós aos roteadores do Core Network. Por fim o último serviço simulado foi o serviço FTP. Para este tipo de serviço foram criados 4 servidores FTP que são acessados por várias estações móveis ao longo da simulação. A tabela 18 abaixo ilustra os valores dos parâmetros utilizados para a simulação desses três serviços de dados. Os valores do parâmetro taxa de transmissão apresentados nesta tabela foram baseados nas informações contidas na tabela 4 do capítulo 2 e das referências bibliográficas [13, 21], já as informações sobre o tempo de duração das rajadas de dados seguida do tempo de ociosidade foi retirada da referência [21].

Tabela 18 - Valores dos parâmetros utilizados na simulação dos serviços de dados.

Tipos de Serviços	Tamanho do Pacote (bytes)	Taxa de Transmissão (Kb/s)	Tempo Ativo	Tempo Ocioso
VoIP	210	12	1,4s	1,7s
FTP	1000	128	-	-
Vídeo Conferência	1000	-	10s	10s

O ambiente de simulação que está sendo descrito contou com 320 estações móveis, sendo que cada Agente de Origem gerencia inicialmente 64 estações móveis antes que qualquer falha de outros Agentes de Origem ocorresse. Dessas

trezentas e vinte estações móveis 35,63% utilizam o serviço VoIP, 35,31% utilizam o serviço de Vídeo Conferência e finalmente 29,06% dessas estações utilizam o serviço FTP. Este modelo de tráfego é uma adaptação do modelo apresentado na referência [21]. A adaptação do modelo de tráfego em nossa simulação foi necessária, pois simulamos apenas três serviços de dados, ao passo que o modelo apresentado na referência já citada simula 4 tipos de serviços.

Cada uma das 64 estações móveis que são gerenciadas pelo mesmo Agente de Origem começam a simulação sob a área de cobertura desse agente. No quinto segundo de simulação todas essas estações móveis começam a se deslocar das respectivas áreas de cobertura dos seus Agentes de Origem com velocidade uniforme de 60Km/h para as áreas de cobertura das diferentes BTSs das diferentes redes estrangeiras. Isso é feito de tal maneira que passados 61 segundos após o começo do movimento dessas estações temos 16 estações móveis em cada área de cobertura das 20 Estações Base Transceptoras. Após 79 segundos de simulação essas estações começam a deslocar-se sob as áreas de coberturas das diferentes BTSs com destinos aleatórios dentro da área de cobertura dessas 20 BTSs. Nesse mesmo instante deu-se início às transmissões de pacotes de dados dos três serviços simulados que só é interrompida no final da simulação, no instante 680 segundos. Duzentos segundos antes do fim da simulação todas essas estações móveis param de se deslocar e permanecem nas suas respectivas posições até o fim da simulação.

Para a determinação dos destinos aleatórios dessas estações móveis foi criado um script em linguagem **TCL (Tool Command Language)** [22]. Este script também produz como resultado a equação de Movimento Uniforme de cada estação móvel.

A maneira encontrada para saber sob qual área de cobertura de uma determinada BTS e que tipo de serviço de dados uma estação móvel utilizava em um determinado instante foi criar um script também escrito em linguagem TCL que nos fornecesse a cada instante a identidade da estação móvel (número da estação) que se encontrava sob uma determinada área de cobertura especificada e o serviço que esta estação usufruía. Isto foi possível, pois a geografia do cenário de simulação é conhecida (área de cobertura de cada BTS) e pelo fato de que cada estação móvel não muda de serviço de dados ao longo de toda a simulação. Assim, foi possível obter a informação adicional que é proposta nesta dissertação

para as listas de estações móveis visitantes em um domínio de rede da rede estrangeira (lista contida no FA) e para lista que associa o endereço IP de uma estação móvel com o seu CoA (lista contida no HA) sem precisar mudar o código C++ do NS-2. Essa informação adicional revela que tipo de serviço de dado uma estação móvel usufrui em um dado instante.

Com objetivo de aproximar as simulações de um ambiente mais real possível, foi escolhido o modelo de Sombreamento (**Shadowing Model**) como modelo de rádio propagação. Os valores dos parâmetros utilizados na simulação desse modelo de propagação são os valores referentes ao ambiente outdoor em uma área urbana, ou seja, desvio padrão ( $\sigma_{dB}$ ) 8,0 dB, expoente de perda de propagação ( $\gamma$ ) 3,5. Para a reprodução de um ambiente outdoor que emprega o padrão IEEE 802.11 foi procurado um equipamento wireless com características de um Ponto de Acesso (AP), este equipamento foi o **Air Plus DWL-900AP+** [23]. Esse equipamento possui as seguintes características: opera na faixa de frequência ( $f$ ) de 2,4GHz, potência de transmissão ( $P_t$ ) de 15dBm, 2dB para o ganho da antena e pode cobrir uma área de até 400 metros de extensão no ambiente outdoor. A altura da antena do AP foi atribuída para de 30,0 metros acima do solo e para as estações móveis atribui-se 1,5 metros. Esses valores são normalmente empregados no planejamento dos sistemas celulares. O NS-2 possui um script escrito em C++ que permite calcular o limiar de potência de recepção a ser utilizado na simulação quando os valores de todos os parâmetros citados neste parágrafo são diferentes ao que este software utiliza como default. Para todos os valores informados neste parágrafo o limiar de potência de recepção calculado foi de  $2,52519 \cdot 10^{-15}$  watt. A tabela 19 abaixo ilustra todos os valores dos parâmetros citados acima.

Tabela 19 - Valores dos parâmetros de propagação.

Parâmetros de Propagação	Valores
Desvio padrão ( $\sigma_{dB}$ )	8,0 dB
Expoente de perda de propagação ( $\gamma$ )	3,5
Potência de transmissão do AP ( $P_t$ )	15dBm
Ganho da antena do AP ( $G_{AP}$ )	2,0dB
Ganho da antena da estação móvel ( $G_{MS}$ )	2,0dB
Altura da antena do AP ( $h_{AP}$ )	30,0m
Altura da antena da estação móvel ( $h_{MS}$ )	1,5m
Frequência ( $f$ )	2,4GHz
Limiar da potência recebida ( $P_{rxthre}$ )	$2,52519 \cdot 10^{-15}$ watt
Raio da célula ( $R$ )	300,0m

## **6.2. Resultados**

Nesta seção serão descritos os resultados obtidos nas comparações feitas entre as simulações da nova proposta (onde a carga de tráfego disponível em cada Agente de Mobilidade ativo livre de falha e os retardos introduzidos aos pacotes de dados, ao utilizarem esses Agente de Mobilidade em análise, são fundamentais para a determinação dos membros de backup dos Agentes de Mobilidade defeituosos) e da proposta onde somente o parâmetro carga de tráfego disponível nos Agentes de Mobilidade é empregado para a determinação desses membros de backup. Ao longo deste capítulo a nova proposta será referida como proposta 1 e a outra proposta que utiliza apenas um parâmetro como proposta 2.

Na primeira subseção desta seção serão comentados os resultados obtidos das comparações destas propostas onde foi reproduzido um cenário em que os Agentes Estrangeiros (FAs) apresentaram falhas. Na segunda subseção desta seção serão comentados os resultados obtidos das comparações dessas propostas onde o cenário de simulação reproduz falhas nos Agentes de Origem (HAs).

### **6.2.1. Falha dos Agentes Estrangeiros**

Com a finalidade de analisar e comparar ambas as propostas foi simulado no cenário já descrito até três falhas nos roteadores da rede estrangeira (FA). Cada falha de um Agente Estrangeiro ocorreu em instantes de tempos diferentes e seus resultados serão comentados em subseções diferentes.

#### **6.2.1.1. Ocorrência da primeira falha**

A primeira falha ocorreu no instante 113 segundos da simulação sob o Agente Estrangeiro de número 2 (FA02). A partir de agora serão descritos e comentados os resultados de cada procedimento descrito na subseção 5.1.1 (Critérios de alocações dos FAs como membro de backup) e os resultados obtidos das comparações realizadas.

No primeiro procedimento, para cada Agente Estrangeiro ativo (FA01, FA03, FA04 e FA05) foram coletados os seguintes valores para os parâmetros mencionados nas quatro tabelas abaixo (tabelas: 20, 21, 22 e 23):

Tabela 20 - Valores relativos para o FA01 como opção de membro de backup.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA01 (ms)
<b>FA01</b>	150000	4308,28480922	145691,715191	-
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	73,0529554907
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	74,2103936045
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,6992147102
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	75,8368349078

Tabela 21 - Valores relativos para o FA03 como opção de membro de backup.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA03 (ms)
<b>FA03</b>	150000	31101,2719942	118898,728006	-
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	66,5103936045
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	65,3529554907
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	66,9992147102
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	66,2189236144

Tabela 22 - Valores relativos para o FA04 como opção de membro de backup.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA04 (ms)
<b>FA04</b>	150000	43405,4597031	106594,540297	-
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	74,340153094
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	72,7438503897
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,3017301803
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	72,9155444259

Tabela 23 - Valores relativos para o FA05 como opção de membro de backup.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA05 (ms)
<b>FA05</b>	150000	10873,7499994	139126,250001	-
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	92,9905514813
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	91,2682332406
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	92,7087746917
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	91,1001774411

Para cada FA ativo (livre de falha) as Estações Base Transceptoras (BTS5, BTS6, BTS7 e BTS8) atingidas pela falha do FA02 foram organizados por ordem

crecente quanto aos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao se ter esses FA ativo como membro de backup. As tabelas 24, 25, 26 e 27 ilustram essas BTSs já organizadas por ordem crescente nos respectivos Agentes Estrangeiros: FA01, FA03, FA04 e FA05.

Tabela 24 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA01.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA01 (ms)
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	73,0529554907
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	74,2103936045
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,6992147102
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	75,8368349078

Tabela 25 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA03.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA03 (ms)
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	65,3529554907
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	66,2189236144
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	66,5103936045
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	66,9992147102

Tabela 26 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA04.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA04 (ms)
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	72,7438503897
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	72,9155444259
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,3017301803
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	74,340153094

Tabela 27 - Primeira falha: BTSs organizadas por ordem crescente no FA05.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA05 (ms)
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	91,1001774411
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	91,2682332406
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	92,7087746917
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	92,9905514813

No segundo procedimento, os Agentes Estrangeiros ativos foram organizados por ordem decrescente quanto a sua capacidade de tráfego disponível. A tabela 28 ilustra essa organização.

Tabela 28 - Primeira falha: FAs organizadas por ordem decrescente.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)
<b>FA01</b>	150000	4308,28480922	145691,715191
<b>FA05</b>	150000	10873,7499994	139126,250001
<b>FA03</b>	150000	31101,2719942	118898,728006
<b>FA04</b>	150000	43405,4597031	106594,540297

O software da gerência de configuração analisará os resultados obtidos acima e determinará quem serão os membros de backup do FA02 defeituoso. No terceiro procedimento os valores dos retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se às diferentes Estações Base Transceptoras atingidas pela falha do FA02 serão comparados com o retardo limiar de 75ms para a determinação dos possíveis membros de backup. Como já foi dito antes, a escolha do limiar de retardo é muito importante, pois dependendo do valor escolhido a nova proposta poderá funcionar analisando apenas um parâmetro (carga de tráfego livre nos FAs). Isto ocorrerá, caso o administrador de rede configure o parâmetro do retardo limiar com um valor muito grande.

Abaixo são informados quais FAs ativos devem ser configurados como membro de backup e quais BTSs terão um caminho lógico configurado para este membro de backup. A tabela 29 abaixo ilustra as BTSs que foram configuradas para operarem com a primeira opção de membro de backup quanto carga de tráfego disponível.

Tabela 29 - Primeira falha: FA01 primeira opção de membro de backup.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA01 (ms)	Estado do caminho lógico
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	73,0529554907	ativado
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	74,2103936045	ativado
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,6992147102	ativado

Tabela 30 - Primeira falha: BTS não configurada para operar com o FA01.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA01 (ms)	Estado do caminho lógico
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	75,8368349078	desativado

Observe na tabela 30 que no primeiro FA de maior carga de tráfego disponível (FA01) a Estação Base Transceptora de número 8 (BTS8) não teve um caminho lógico configurado para este FA, pois o retardo médio introduzido aos pacotes de dados que partem ou destinam-se a BTS8 utilizando o FA01 como possível membro de backup no instante 113 segundos foi maior do que o retardo limiar escolhido (75ms). Portanto, esta BTS será analisada quanto a sua carga de tráfego e de retardo no segundo FA de maior carga de tráfego disponível (segundo FA com menor sobrecarga em seu buffer), FA05.

O segundo FA de maior carga de tráfego disponível, FA05, introduz no instante 113 segundos (momento da Falha do FA02) um retardo médio aos pacotes de dados que partem ou destinam-se a BTS8 maior que o retardo médio limiar. Isto pode ser visto na tabela 31 abaixo. Por esse motivo, a BTS8 não teve um caminho lógico configurado com este FA. Portanto, esta BTS será analisada quanto a sua carga de tráfego e de retardo no terceiro FA de maior carga de tráfego disponível, FA03. A tabela 32 abaixo ilustra a análise feita nesta terceira opção de membro de backup.

Tabela 31 - Primeira falha: BTS não configurada para operar com o FA05.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA05 (ms)	Estado do caminho lógico
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	91,1001774411	desativado

Tabela 32 - BTS configurada para operar com o FA03 (3ª. opção de backup).

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA03 (ms)	Estado do caminho lógico
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	66,2189236144	ativado

Finalmente, o software da gerência de rede configurou um caminho lógico que conecta a BTS8 a um FA membro de backup do FA defeituoso.

A configuração encontrada pelo software da gerência de configuração para falha do FA02 no instante 113 segundos está resumida na tabela 33.

Tabela 33 - Configuração encontrada para ocorrência da primeira falha.

Membro de Backup	BTS(s) do FA02
FA01	BTS5, BTS6 e BTS7
FA03	BTS8

Caso o administrador de rede configure o parâmetro retardo médio limiar do software da gerência de configuração com um valor muito grande, as Estações Bases Transceptoras atingidas pela falha do seu FA tentarão ser alocadas nos FAs ativos livres de falhas observando apenas o parâmetro carga de tráfego disponível nesses FAs ativos, proposta 2.

Configurando o parâmetro retardo médio limiar com 10000000ms observou-se que todas as Estações Base Transceptoras de número 5, 6, 7 e 8 foram configuradas para operarem com o FA01, o primeiro Agente Estrangeiro com maior carga de tráfego disponível. O resultado desta configuração pode ser visto na tabela 34 logo abaixo.

Tabela 34 - Primeira falha: Configuração realizada para a proposta 2.

	Largura de banda do link (bits/s)	Largura de banda consumida (bits/s)	Largura de banda disponível (bits/s)	Retardo médio introduzido utilizando FA01 (ms)	Estado do caminho lógico
<b>BTS5</b>	150000	563,673064647	149436,326935	73,0529554907	ativado
<b>BTS6</b>	150000	11070,6012067	138929,398793	74,2103936045	ativado
<b>BTS7</b>	150000	0,0	150000,0	74,6992147102	ativado
<b>BTS8</b>	150000	483,049195119	149516,950805	75,8368349078	ativado

Para analisar a eficiência da nova proposta foram medidos sobre os links que conectam os FAs escolhidos como membros de backup aos seus respectivos roteadores de bordas, as porcentagens de perdas dos pacotes de dados para cada tipo de serviço: FTP, Vídeo conferência e VoIP. E essas porcentagens foram comparadas com as porcentagens obtidas da simulação onde apenas a carga de tráfego disponível em cada FA ativos é o único parâmetro para a determinação desses membros de backup e com as porcentagens obtidas da simulação onde não há qualquer tipo de falha. Nestas simulações utilizou-se em todos os roteadores da rede o gerenciamento de fila do buffer **First In First Out (FIFO)**, onde o tamanho máximo desta fila é de 50 pacotes. Para cada um das três simulações que serão analisadas nos próximos gráficos foram empregados os seguintes termos: **Carga\_e\_Retardo** para a simulação da nova proposta, **Carga** para a simulação onde somente a carga de tráfego disponível em cada FA ativo é o único parâmetro

para determinação dos membros de backup e o termo *Sem\_falha* para a simulação onde não há falhas dos Agentes de Mobilidade (HA e FA).

Outra análise também efetuada foi quanto ao efeito do emprego de mecanismo de controle de congestionamento na nova proposta. Portanto, para efetuar-se tal análise empregou-se o **Random Early Detection (RED)** como mecanismo de gerenciamento de buffer em todos os Agentes Estrangeiros na simulação da nova proposta. Com o emprego do mecanismo RED de gerenciamento, as filas dos buffers dos Agentes Estrangeiros foram configuradas com os seguintes parâmetros: no número mínimo de pacotes foi atribuído o valor de 5 e no número máximo de pacotes na fila foi atribuído o valor de 15 pacotes. Para que tal efeito pudesse ser analisado foram comparados alguns parâmetros de medições simulando na nova proposta todos Agentes Estrangeiros utilizando o RED como gerenciador de buffer com a simulação em que todos os roteadores de rede da nova proposta utilizam o FIFO como gerenciador de buffer. Os parâmetros de medições referidos são os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados ao trafegarem pelos links em análise e as porcentagens de perdas de pacotes registradas nesses mesmos links. Nos gráficos que serão apresentados o termo *Carga\_e\_Retardo\_RED* refere-se a simulação de nova proposta empregando o RED como gerenciador de buffer nos FAs e o termo *Carga\_e\_Retardo\_Sem\_RED* refere-se a nova proposta utilizando FIFO como gerenciador de buffer.

#### **6.2.1.1.1.**

##### **Link que conecta FA01 ao seu roteador de borda**

No cenário onde não houve qualquer tipo de falha nos Agentes de Mobilidade, assim como na nova proposta (proposta 1) não foram registradas perdas de pacotes de dados do serviço FTP (pacotes TCP) no link em análise. Entretanto, na simulação onde somente o parâmetro carga de tráfego disponível em cada FA ativo foi utilizado para a determinação do membro de backup (proposta 2), registrou-se algumas perdas de pacotes de dados desse serviço. No instante 272 segundos todos os pacotes do serviço FTP foram perdidos, no instante 274 segundos foi registrada 50% de perda, no instante 275 segundos foi registrada uma perda de 16,67% dos pacotes desse serviço e no instante 277 segundos foi registrada uma perda de 25%. Essas porcentagens de perdas

registradas durante a simulação da proposta 2 podem ser vistas no gráfico da figura 18.

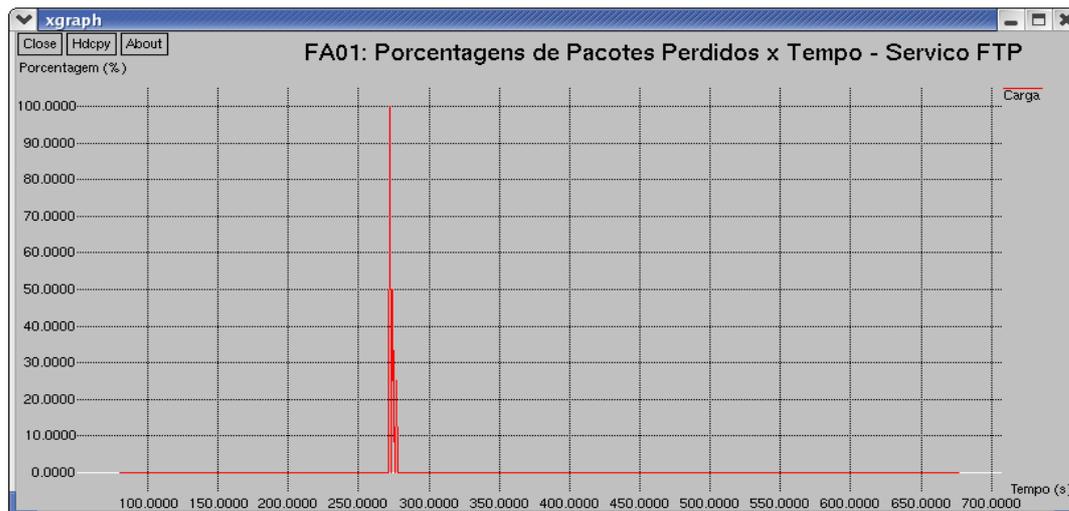


Figura 18 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Para os pacotes de dados do serviço de Vídeo Conferência também só foram registradas perdas de pacotes na simulação da proposta 2. No instante 272 segundos foi registrada uma perda de 40% nos pacotes de dados do serviço de Vídeo Conferência, nos instantes 274, 275, 276 e 277 segundos foram registradas respectivamente as seguintes porcentagens de perdas: 30,44%, 6,67%, 6,25% e 14,29% para os pacotes de dados desse serviço. Essas porcentagens podem ser vistas no gráfico da figura 19 logo abaixo.

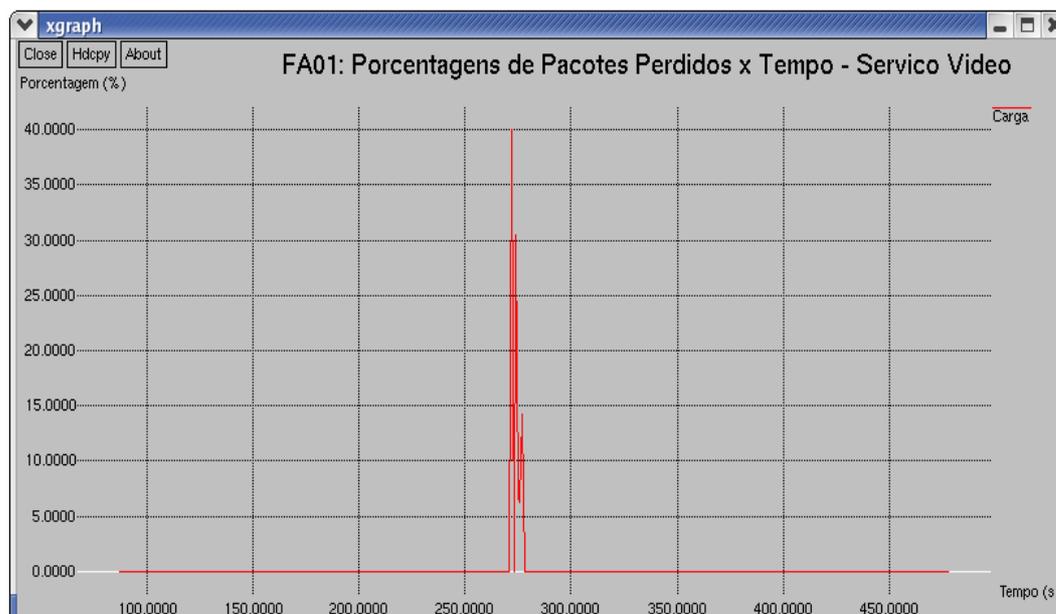


Figura 19 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

Para os pacotes UDP do serviço VoIP não foram registradas nenhuma perda de pacote nas três simulações realizadas.

As perdas dos pacotes de dados dos serviços FTP e de Vídeo Conferência que foram registradas no link monitorado acima (quando empregado somente um parâmetro para a determinação dos membros de backup) podem ser explicadas pela sobrecarga adicional que esse FA passa a experimentar e que é fruto do aumento do número de pacotes de dados que chegam a esse Agente Estrangeiro (FA01) onde se inicia o gargalo nesta rede estrangeira, pois a carga de tráfego que antes era direcionada para o FA02 está sendo toda direcionada, a partir do instante 113 segundos, para o FA01. Dessa forma, é natural que os picos dos retardos médios medidos até o roteador de borda dessa rede estrangeira (Edge01) ocorra em números de vezes maiores do que nos medidos na simulação da nova proposta como resultado de uma maior sobrecarga do buffer do FA01. Quando esses picos de retardos ocorrem em instantes bem próximos espera-se que registre alguma perda de pacotes de dados, pois o buffer deste Agente Estrangeiro passa experimentar sobrecargas que ocorrem em uma frequência maior quando comparada com a simulação da nova proposta. E foi exatamente isto que foi registrado.

A figura 20 ilustra o gráfico dos retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se ao Edge01 no decorrer da simulação. Através desse gráfico é possível constatar que na simulação da proposta 2, há picos de retardos muitos próximos como os que ocorrem nos instantes imediatamente antes e depois das perdas de pacotes de dados registradas, faixa de tempo que varia de 272 à 277 segundos. Por exemplo, nos instantes 271, 272 e 273 segundos foram medidos respectivamente os retardos médios de 195,88 ms, 350,73ms e 374,18ms. Na nova proposta os picos de retardos médios ocorreram de forma mais espaçada, o que leva a concluir que na nova proposta a sobrecarga do buffer do FA01 ocorre em menor frequência ao comparar-se com a simulação da proposta 2. Desta forma a sobrecarga que o buffer do FA01 passa a experimentar na nova proposta não é suficiente para ocorrência de perdas de pacotes de dados.

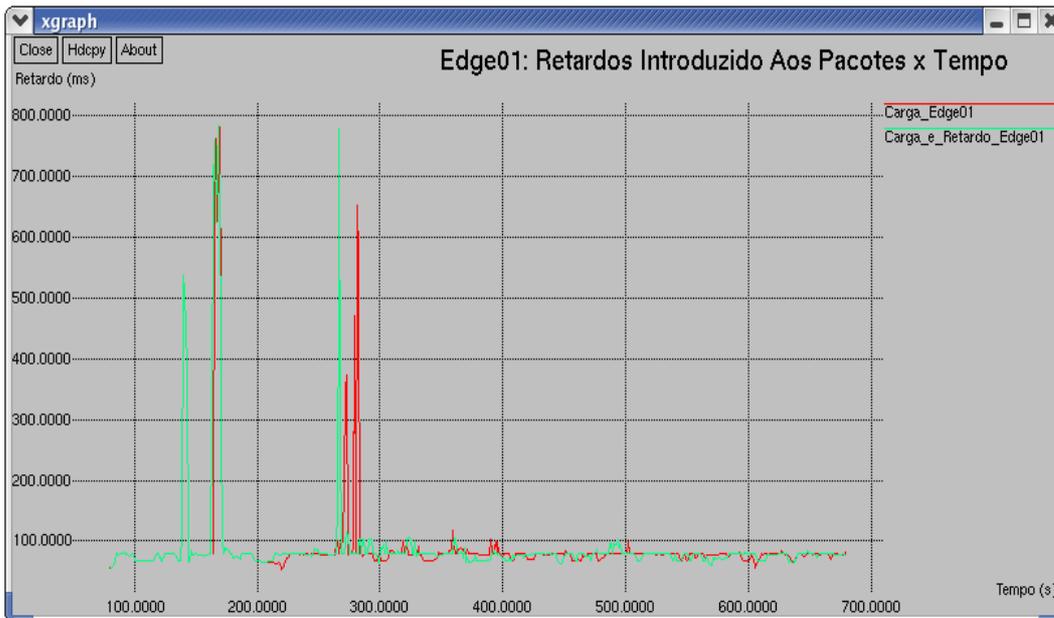


Figura 20 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge01).

O gráfico da figura 21 ilustra os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se as Estações Base Transceptoras de número 5, 6, 7 e 8 e que foram configuradas pela gerência de configuração a partir do instante 113 segundos para possuírem cada uma delas um caminho lógico ativo que as conectem aos membros de backup informados pelo software dessa gerência de configuração, o FA01 para as BTSs de número 5, 6 e 7 e o FA03 para BTS8.

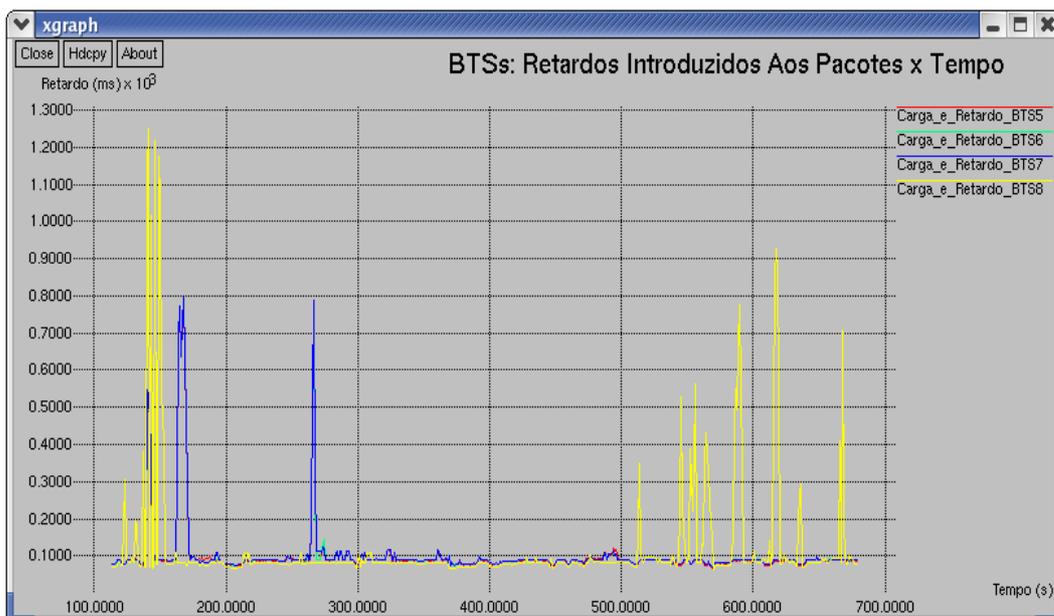


Figura 21 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até as BTS5, BTS6, BTS7 e BTS8.

Como as três primeiras BTSs possuem caminhos lógicos que as conectam com o mesmo roteador de borda da rede estrangeira, Edge01, e estão conectadas a mesma Estação Base Controladora (BSC) é de se esperar que os retardos médios em análise medidos sejam bem próximos, com algumas pequenas diferenças entre eles. Essas diferenças são provenientes do retardo fixo de propagação e do retardo de enfileiramento de pacotes. No instante 113 segundos, o retardo médio medido no caminho lógico que conecta o roteador de borda da rede estrangeira (Edge01) a BTS5 foi de 8,85ms, para o mesmo instante, mas no caminho lógico que conecta o Edge01 a BTS6 foi medido um retardo médio de 10,0ms e no caminho lógico que conecta o Edge01 à BTS7 foi medido um retardo médio de 10,5ms. O gráfico da figura 22 ilustra parte do gráfico da figura anterior para uma faixa de tempo que se estende de 105 à 135 segundos da simulação. Neste gráfico é possível notar que no instante 113 segundos de simulação que a BTS5 possui o menor retardo médio entre as três primeiras BTSs, a BTS6 o segundo menor retardo médio e o maior retardo médio entre as três primeiras BTSs fica com a BTS7, comprovando assim a explicação para essas pequenas diferenças entre os retardos medidos entre essas BTSs.

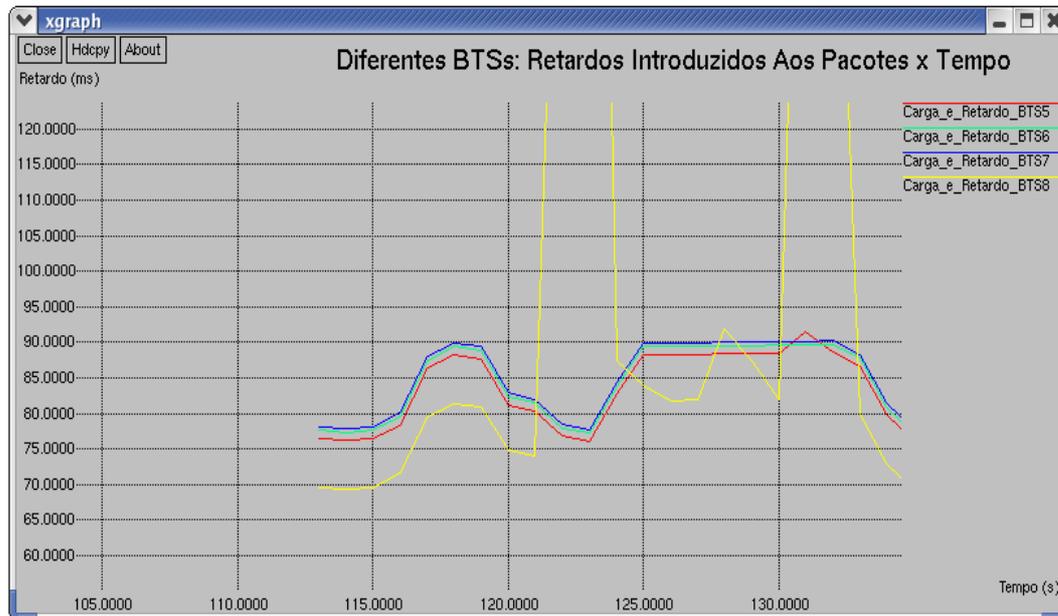


Figura 22 - Gráfico da figura anterior em uma faixa de tempo menor (105 à 135s).

Para Estação Base transceptora de número 8 foi configurado um caminho lógico ativo que conecta essa BTS a outro membro de backup, o FA03, e não ao FA01. Conseqüentemente, é esperado que haja uma diferença mais notória ao se comparar as curvas que descrevem o comportamento dos retardos médios

introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se a BTS8, com as curvas que descrevem o mesmo comportamento para as BTS5, BTS6 e BTS7.

Os gráficos das figuras 23, 24 e 25 ilustram os retardos médios introduzidos aos pacotes que partem ou destinam-se às três Estações Base Transceptoras que possuem como membro de backup o FA01. Para cada um destes gráficos é feita a comparação entre a nova proposta (proposta 1) e a proposta 2. Como era de se esperar, esses gráficos são bem parecidos com o gráfico da figura 20, pois cada uma dessas três BTSs tem um caminho lógico que as conectam ao mesmo roteador de borda da rede estrangeira (Edge01) e além disso todas essas BTSs estão conectadas a mesma Estação Base Controladora de número 2 (BSC02). Isto faz com que os retardos fixos de propagação dos pacotes para essas Estações Base Transceptoras sejam próximos. Como já foi tido, as pequenas diferenças existentes nas curvas desses gráficos são frutos do retardo fixo de propagação e do retardo de enfileiramento dos pacotes que trafegam ao longo desses caminhos lógicos. Para qualquer um desses três gráficos as diferenças apresentadas no comportamento dos retardos médios das simulações das duas propostas já foram comentadas nessa subseção.

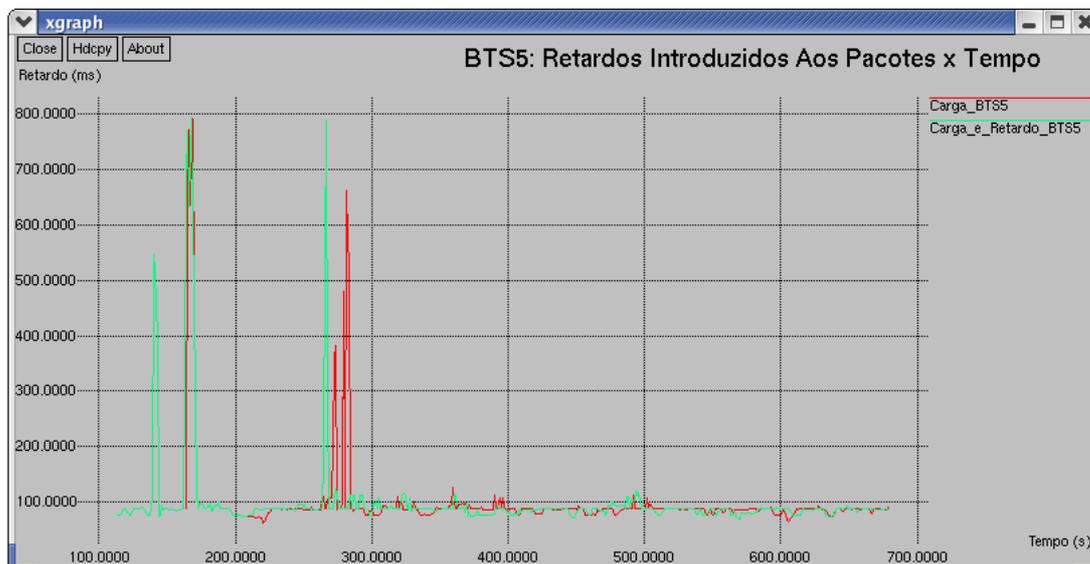


Figura 23 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS5.

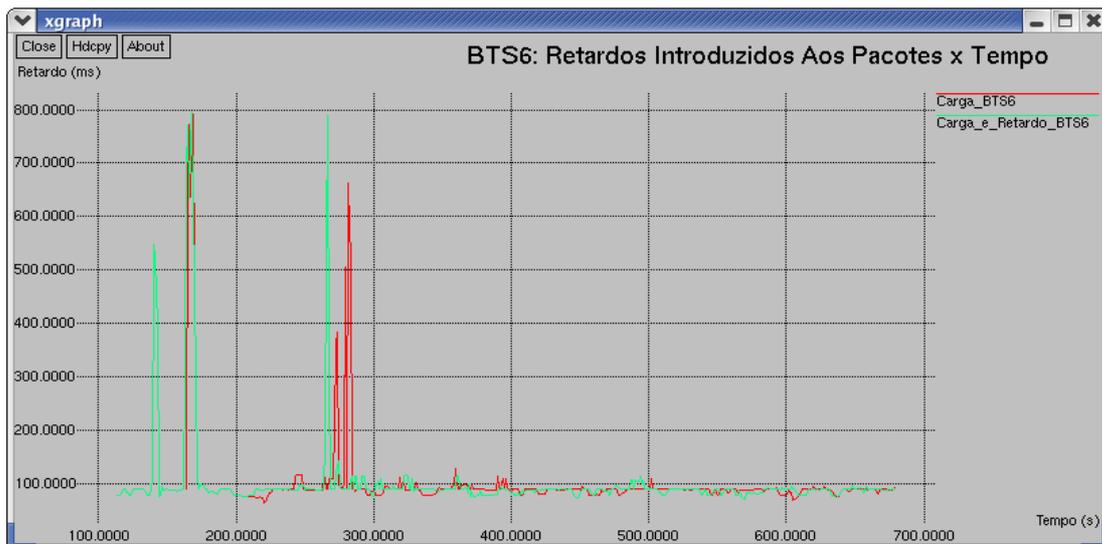


Figura 24 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS6.

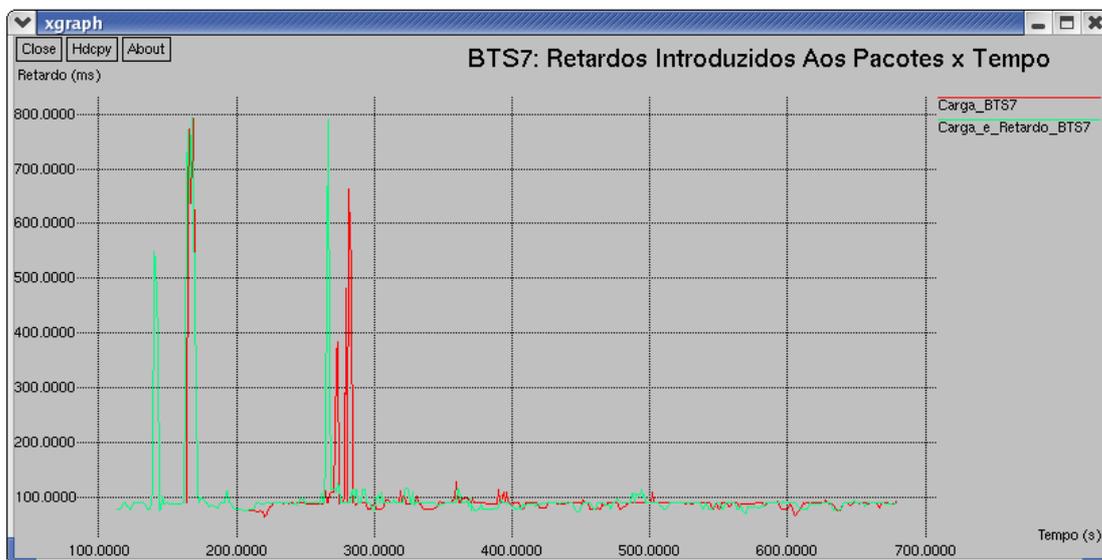


Figura 25 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS7.

#### 6.2.1.1.1.1.

#### Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA01

Agora será analisado o efeito que o mecanismo RED introduz na nova proposta ao ser utilizado como gerenciador de buffer. Esse mecanismo de gerenciamento de buffer foi utilizado em todos os Agentes Estrangeiros do cenário já descrito. Com a introdução desse mecanismo não foi registrada qualquer tipo de perda de pacote de dados no link em análise, mas observou-se que os picos de retardos não ocorreram nas mesmas quantidades de vezes com que eles ocorriam na simulação da nova proposta utilizando o FIFO como gerenciador de buffer. Ou seja, com a utilização do mecanismo RED os picos de retardos apareceram em uma frequência menor comparada com a utilização do FIFO como

gerenciador de buffer, entretanto esses picos passaram a ter um valor maior quando registrados a sua aparição. Este fato revela que o monitoramento do tamanho médio da fila permite acomodar as pequenas rajadas de pacotes de dados sem produzir sobrecargas freqüentes no buffer do FA01. O gráfico da figura 26 abaixo ilustra o efeito do mecanismo RED sobre os retardos introduzidos aos pacotes de dados que trafegam no link que conecta o Agente Estrangeiro de número 1 (FA01) ao seu roteador de borda dessa rede estrangeira (Edge01). Vale lembrar que o termo *Carga\_e\_Retardo\_RED* refere-se a simulação de nova proposta empregando o RED como gerenciador de buffer nos FAs, já o termo *Carga\_e\_Retardo\_Sem\_RED* refere-se essa mesma proposta utilizando o FIFO.

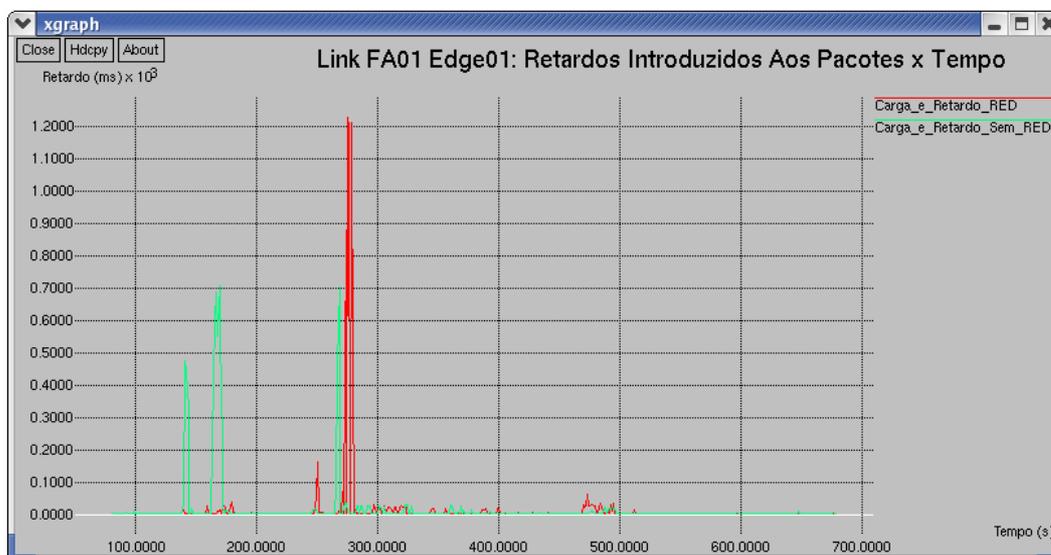


Figura 26 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA01 Edge01.

#### 6.2.1.1.2.

##### Link que conecta FA03 ao seu roteador de borda

No cenário onde não houve qualquer tipo de falha nos Agentes de Mobilidade foram registradas algumas perdas de pacotes UDP do serviço de Vídeo Conferência. Essas perdas ocorreram nos instantes 127, 651 e 652 segundos da simulação com as respectivas porcentagens de perdas: 6,25%, 32,35% e 32,14%. Essas porcentagens de perdas indicam que mesmo antes do Agente Estrangeiro de número 3 (FA03) se tornar membro de backup de algum agente defeituoso, já há algum tipo de descarte desses pacotes de dados, revelando-nos possíveis sobrecargas no gargalo da rede estrangeira de número 3, que se inicia no FA03.

No cenário de simulação da nova proposta, proposta 1, as perdas dos pacotes de dados do serviço de Vídeo Conferência ocorreram em números maiores de vezes. As linhas da tabela 35 abaixo informam os instantes que essas perdas ocorreram e a porcentagem de perdas registradas.

Tabela 35 - Primeira falha (falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

<b>Tempo (s)</b>	<b>Porcentagens de Perdas (%)</b>
202	3,25
486	4,45
487	38,71
488	17,39
489	40,0
490	34,62
525	13,64
526	43,75
527	33,33
531	37,5
532	32,0
533	16,67
534	46,88
535	37,5
536	35,48
577	12,90
578	17,39
579	26,09

No cenário de simulação da proposta 2 registrou-se as seguintes porcentagens de perdas para o serviço de Vídeo Conferência: no instante 527 segundos foi observada uma perda de 19,35%, no instante 528 segundos a perda foi de 32,0%, no instante 529 segundos a porcentagem foi de 46,88%, no instante 530 segundos essa perda foi de 50% e no instante 531 segundos observou-se uma perda de 19,04%.

O gráfico da figura 27 ilustra todas as porcentagens de perdas dos pacotes UDP do serviço de Vídeo Conferência para as três simulações realizadas: proposta 1, proposta 2 e no cenário onde não há qualquer tipo de falha.

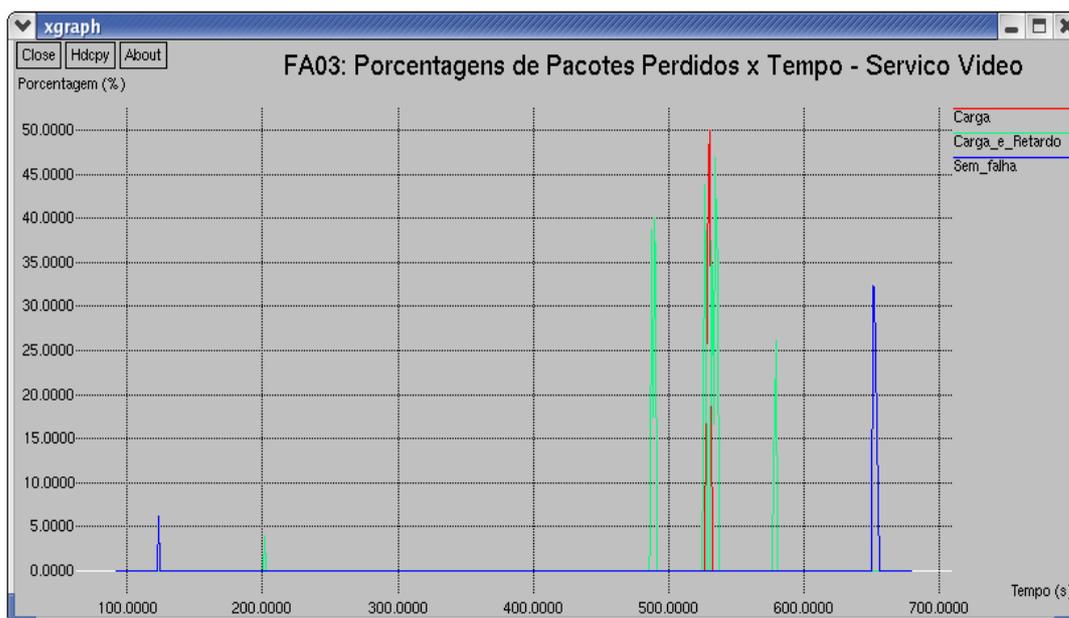


Figura 27 - Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência para três cenários simulados.

Para o serviço FTP foram registradas perdas de pacotes TCP tanto na nova proposta quanto na proposta 2. Já na simulação em que não ocorre nenhuma falha dos Agentes de Mobilidade não foi registrada nenhuma porcentagem de perda para os pacotes desse serviço. Na proposta 2 registrou-se 20% de perdas nos pacotes TCP no instante 528 segundos e no instante 529 segundos foi registrada 50% de perdas. Na nova proposta também foi observado um aumento na ocorrência dessas perdas. As linhas da tabela 36 abaixo informam os instantes que essas perdas ocorreram e a porcentagem de perdas registradas.

Tabela 36 - Primeira falha(falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
488	33,33
525	33,33
526	50,0
527	100,0
533	25,0
534	66,67
536	100,0
578	100,0

O gráfico da figura 28 ilustra as porcentagens de perdas dos pacotes de dados para o serviço FTP tanto para a nossa proposta como para proposta 2.

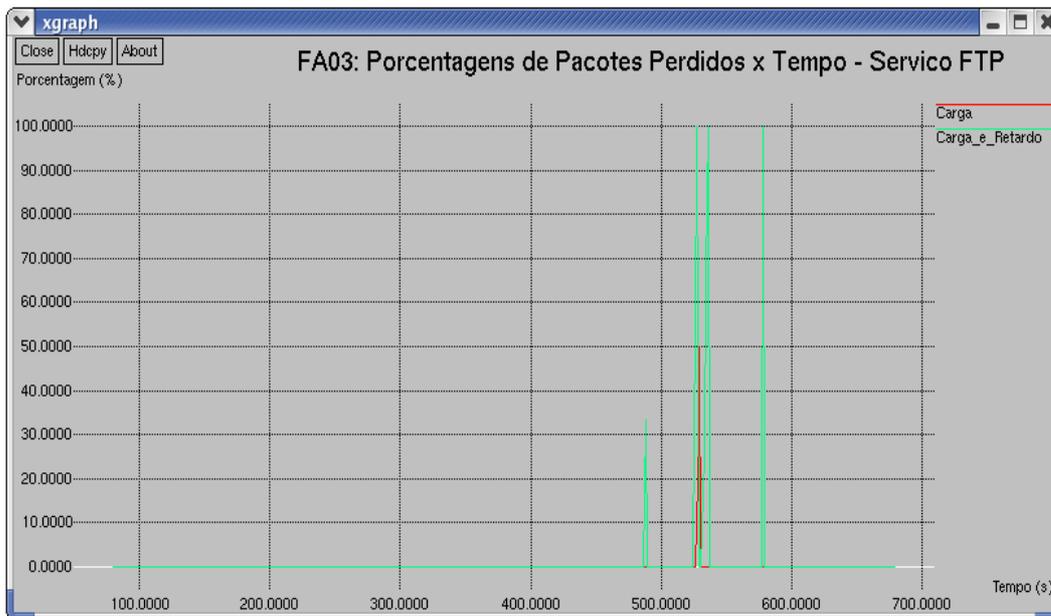


Figura 28 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Para o serviço VoIP, as perdas de pacotes UDP registradas ocorreram somente para a nova proposta. As porcentagens de perdas registradas foram de 9,09% no instante 202 segundos e 25% no instante 203 segundos. Essas porcentagens de perdas podem ser observadas no gráfico da figura 29 abaixo.

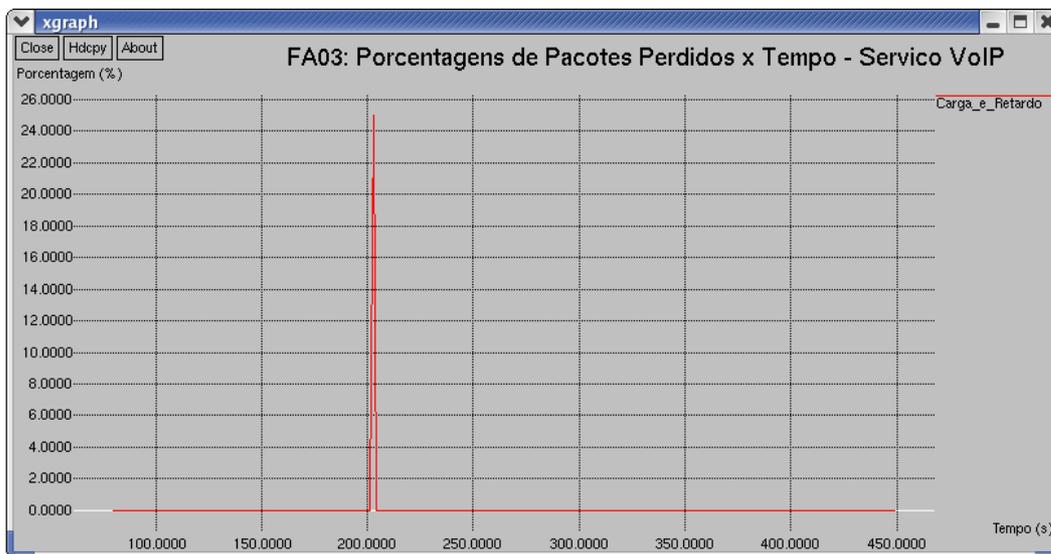


Figura 29 - Primeira falha (falha do FA02): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.

As explicações para ocorrência de todas essas perdas podem ser encontradas ao analisar o gráfico da figura 30 que descreve o comportamento dos retardos médios medidos até o roteado de borda da rede estrangeira de número 3

(Edge03), pois esses retardos refletem o nível de carga de tráfego que o Agente Estrangeiro de número 3 passa a experimentar ao tornar-se membro de backup do FA02 defeituoso.

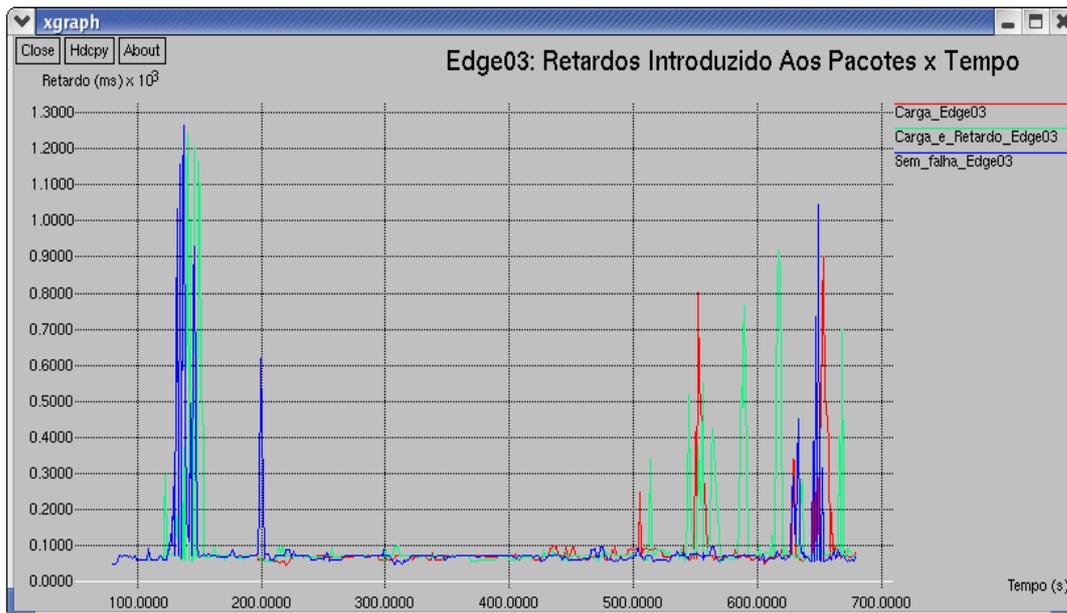


Figura 30 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge03).

Na simulação onde não ocorreu qualquer tipo de falha nos roteadores, foram observados picos de retardos que variaram de 133,55ms à um pouco mais de 1,2s na faixa de tempo que foi de 127 à 148 segundos da simulação. Esses grandes picos de retardos refletem as sobrecargas que ocorrem no FA03 durante esse intervalo de tempo e explicam a porcentagem de perda de 6,25% dos pacotes de dados do serviço de Vídeo Conferência que ocorreu no instante 127 segundos da simulação. Já na simulação da nova proposta não se observou a ocorrência dessa perda nesse mesmo instante, pois no instante 113 segundos da simulação ocorreu a primeira falha do roteador da rede estrangeira, o FA02. Este fato revela que o processo de sinalização tanto para o conhecimento das novas rotas de roteamento como do processo de registro dos novos usuários que foram atingidos pela falha desse Agente Estrangeiro produziram retardos de enfileiramentos nos roteadores do Core Network fazendo com que aquela perda não fosse registrada naquele instante no link em análise. Provavelmente essa perda ou parte dela deve ter ocorrido em algum roteador do Core Network próximo do Agente Estrangeiro analisado, FA03. Através deste gráfico é possível notar que o processo de sinalização referido acima realmente aumentou um pouco mais a faixa de tempo em que os picos de retardos ocorreram (122 à 153 segundos).

A pequena porcentagem de perda de 3,25% para os pacotes do serviço de Vídeo Conferência registrada na simulação da nova proposta no instante 202 segundos também pode ser explicada pelo efeito que aquele processo de sinalização teve sobre o Time To Live desses pacotes de dados, pois como pode ser visto no gráfico da figura 30 não foi registrado nenhum pico de retardo significativo próximo e no instante que essa perda foi observada. Essa explicação estende-se para as porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP registradas nos instantes 202 e 203 segundos da simulação da nova proposta. Outras porcentagens de perdas que ocorreram na nova proposta nos instantes que variam de 486 à 489 segundos também não podem ser explicadas pela ocorrência de picos de retardos (sobrecarga do buffer desse dispositivo de rede), este fato resulta na seguinte conclusão: o Time To Live de alguns desses pacotes de dados provavelmente tenha expirado.

Outra observação importante, na análise dos gráficos que ilustram as porcentagens de perdas dos pacotes de dados dos serviços de Vídeo Conferência e FTP na simulação da proposta 2 (figura 27 e 28), é o registro de perdas desses pacotes nos instantes que variam de 527 à 531 segundos da simulação. Observe no gráfico da figura 27 que na simulação onde não há ocorrências de falhas dos Agentes de Mobilidade não é registrada nenhuma porcentagem de perda de pacotes de dados nesse mesmo intervalo de tempo. Isto indica que a carga de tráfego de dados adicional que foi direcionada para o Agente Estrangeiro da rede estrangeira de número 1, FA01, na proposta 2 afeta o desempenho do FA03 que nesta proposta não é membro de backup do agente defeituoso (FA02). Vale lembrar que na proposta 2 somente o FA01 é membro de backup do FA02, gerenciando as atividades de oito Estações Base Transceptoras. O efeito do direcionamento dessa carga de tráfego adicional para o FA01 também pode ser observada no gráfico da figura 30 que ilustra picos de retardos na faixa de tempo que varia de 500 à 600 segundos da simulação.

Ainda analisando o intervalo de tempo entre 500 à 600 segundos da simulação na mesma figura 30 é possível notar que na simulação da nova proposta, proposta 1, os picos de retardos passam a ocorrer mais vezes do que ao comparado com a proposta 2, assim como na simulação onde não há falhas dos Agentes de Mobilidade. Isto ocorre, pois além do efeito que a carga de tráfego adicional direcionada para o FA01 produz, há o efeito da carga de tráfego

adicional que o FA03 recebe ao tornar-se também membros de backup do FA02. Vale lembrar que na nova proposta no instante da ocorrência da falha do FA02, o FA01 passa a gerenciar as atividades de sete Estações Base Transceptoras e o FA03 de cinco Estações Base Transceptoras. Esses picos de retardos observados na nova proposta são frutos das sobrecargas que o FA03 registra neste intervalo de tempo e explicam as porcentagens de perdas que ocorrem nessa mesma faixa de tempo.

Outra comparação realizada entre as propostas 1 e 2 foi quanto ao retardo médio introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se a Estação Base Tranceptora de número 8. Essa comparação pode ser vista na figura 31 abaixo.

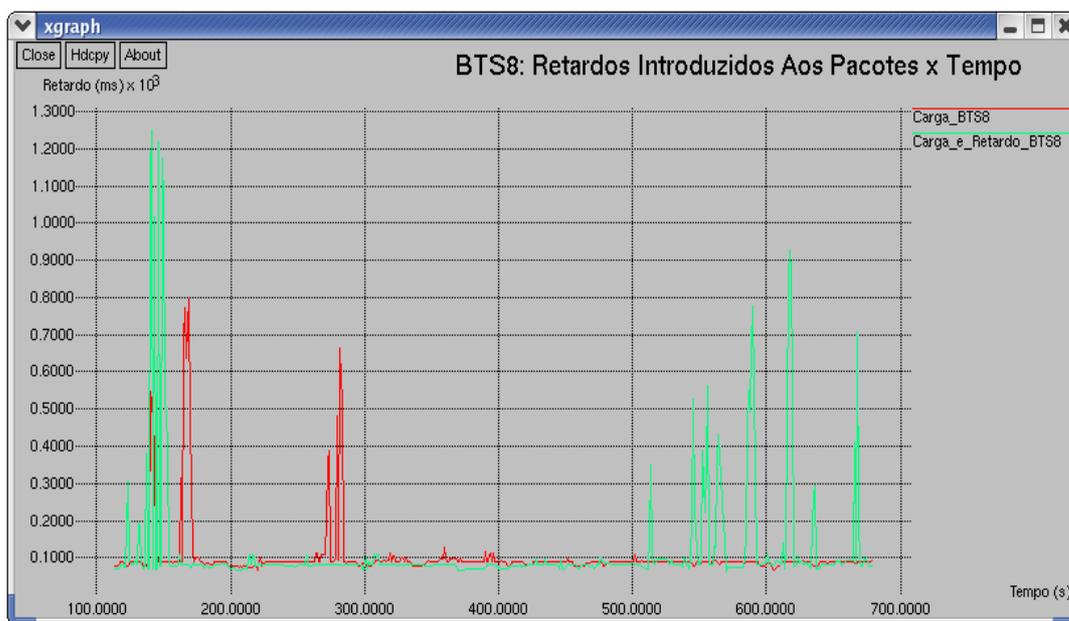


Figura 31 - Primeira falha (falha do FA02): Retardos médios medidos até BTS8.

Como já foi dito anteriormente, na proposta 1 o software da gerência de configuração determina que no instante da falha do FA02, a BTS8 possua um caminho lógico ativo que a conecte com o roteador de borda da rede estrangeira de número 3, Edge03, e na proposta 2 essa mesma BTS deve ter um caminho lógico ativo que a conecte com o Edge01. Portanto, as diferenças existentes entre as curvas de ambas as propostas são explicadas pelo fato desta BTS estar conectada a diferentes roteadores da rede estrangeira. Embora haja diferenças notórias entre essas curvas, pode-se observar que na maior parte da simulação esses retardos estão bem próximos. Isso se deve ao fato de que ambos os membros

de backup determinado em cada proposta estão próximos do Agente Estrangeiro defeituoso, FA02.

#### 6.2.1.1.2.1.

#### Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA03

Neste membro de backup foram registradas perdas de pacotes de dados dos serviços: FTP, Vídeo Conferência e VoIP ao se utilizar o RED como mecanismo de gerenciamento de buffer na nova proposta. As porcentagens de perdas de pacotes para estes serviços ao se utilizar o RED foram comparadas com as porcentagens de perdas desses mesmos pacotes de serviços ao empregar-se o FIFO como o gerenciador de buffer.

Com a introdução do mecanismo RED na nova proposta foram registradas as seguintes porcentagens de perdas de pacotes TCP: no instante 133 segundos registrou-se 100% de perdas, no instante 146 segundos essa perda foi de 33,33%, no instante 151 segundos a perda foi de 66,66%, no instante 152 segundos foi registrada 16,67% de perda e nos instantes 639, 642 e 644 segundos foram registradas 100% de perdas. Essas porcentagens de perdas podem ser vistas no gráfico da figura 32 onde é ilustrado o efeito do RED ao se comparar com o mecanismo FIFO de gerenciador de buffer. Novamente o termo *Carga\_e\_Retardo\_Sem\_RED* refere-se ao emprego do mecanismo FIFO de gerenciamento de fila do buffer.

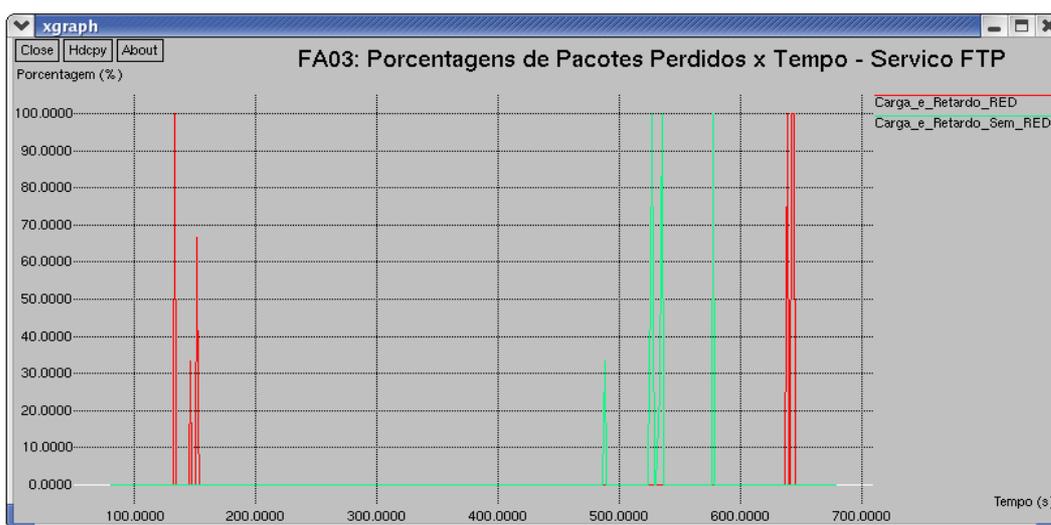


Figura 32 - Primeira falha (falha do FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.

Para o serviço de Vídeo Conferência, os instantes em que são registradas as perdas dos pacotes UDP bem como a porcentagem dessas perdas podem ser vistos na tabela 37 abaixo.

Tabela 37 - Primeira falha (falha do FA02): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
146	21,88
147	6,67
149	7,14
150	6,25
151	36,36
637	3,84
638	4,76
640	9,09
641	3,85
642	15,38
643	100,0
644	100,0
645	19,23
646	4,17
659	3,33
660	3,13
661	4,35
662	9,09

O gráfico da figura 33 abaixo ilustra as porcentagens de perdas (informadas na tabela acima) dos pacotes de dados para o serviço de Vídeo Conferência e as comparam com as porcentagens de perdas registradas ao utilizar-se o FIFO como gerenciador de buffer.

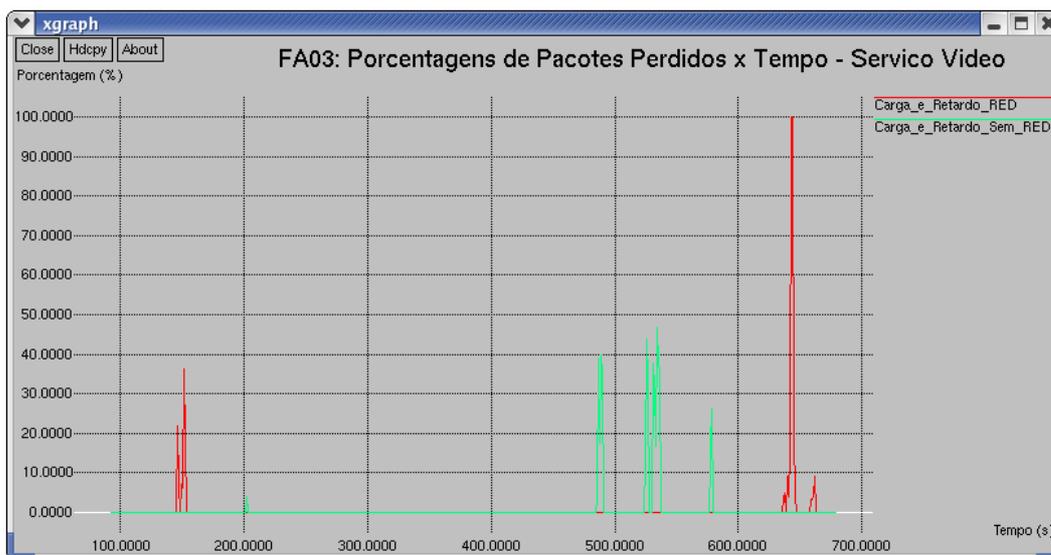


Figura 33 - Primeira falha (falha o FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço Vídeo Conferência.

Com a introdução do mecanismo RED na nova proposta foi registrado no instante 148 segundos 25% de perda de pacotes UDP do serviço VoIP. No gráfico da figura 34 é ilustrada a comparação das porcentagens de perdas registradas para os pacotes de dados desse serviço com a utilização do RED e do FIFO como gerenciador de buffer.

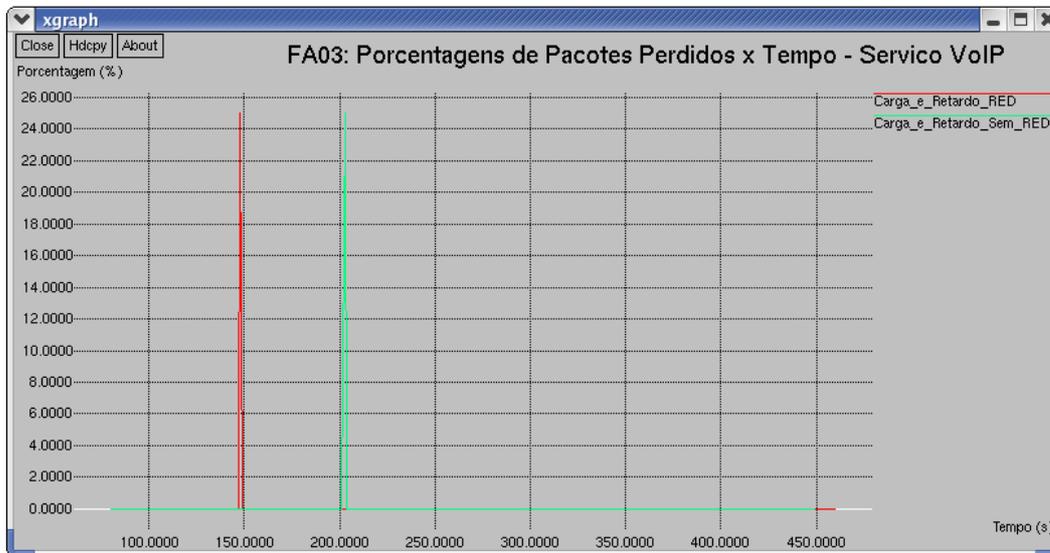


Figura 34 - Primeira falha (falha o FA02): Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.

Para explicar as porcentagens de perdas para os pacotes dos diferentes tipos de serviços quando se introduz na nova proposta o mecanismo RED, foi monitorado no buffer desse Agente Estrangeiro em análise (FA03) a probabilidade de descarte dos pacotes ( $p_d$ ) de dados que é calculada pelo algoritmo RED ao longo da simulação. É importante lembrar que no mecanismo RED a probabilidade de descarte ou de marcação dos pacotes varia linearmente entre 0 à um valor muito próximo a  $max_p$  ( $0 \leq p_d < max_p$ ) quando o tamanho médio da fila do buffer ( $avg$ ) varia entre os valores dos limiares do número mínimo e máximo de pacotes no buffer ( $min_{th} \leq avg < max_{th}$ ). Quando o tamanho médio da fila do buffer desse dispositivo é maior ou igual ao limiar do número máximo de pacotes, todos os pacotes que chegam ao buffer desse dispositivo no instante em que esse tamanho médio foi registrado serão descartados ou marcados. Na nova proposta de tolerância à falha dos Agentes Estrangeiros quando a condição  $max_{th} \leq avg$  for encontrada todos os pacotes de dados que chegam ao buffer no instante da determinação dessa condição serão descartados e

não marcados, pois não é desejado nenhum tipo de cooperação dos dispositivos geradores de pacotes de dados (servidores de aplicações da rede).

O simulador utilizado efetua o cálculo da probabilidade de descarte ou marcação dos pacotes empregando a fórmula (2) para o intervalo entre os dois limiares dos números de pacotes do buffer ( $min_{th} \leq avg < max_{th}$ ). Na simulação dessa nova proposta o valor empregado para  $max_p$  foi de 0,1 que é o valor default do simulador para esse parâmetro. Já os valores dos parâmetros  $min_{th}$  e  $max_{th}$  foram respectivamente 5 e 15 pacotes. O gráfico da figura 35 ilustra as probabilidades de descarte dos pacotes para o buffer do FA03 quando temos a seguinte condição:  $min_{th} \leq avg < max_{th}$ .

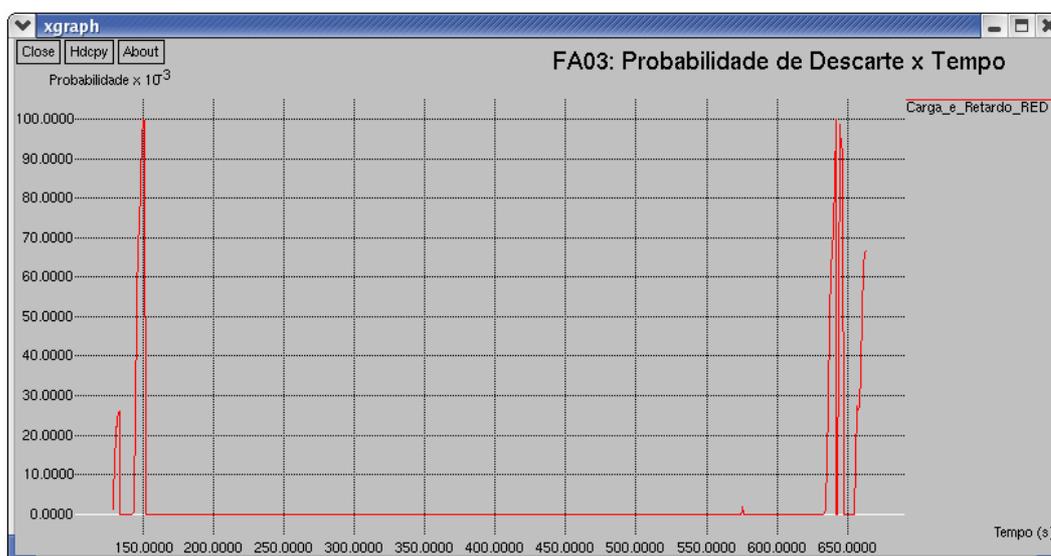


Figura 35 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA03.

As porcentagens de perdas dos pacotes de dados dos diferentes serviços que foram registradas no intervalo que varia de 133 a 152 segundos da simulação encaixam-se perfeitamente sob as curvas da probabilidade de descarte de pacotes. A pequena curva da figura 35 que apresenta um pico de probabilidade de descarte de 0,026 tem início no instante 128,94 segundos e termina no instante 133,44 segundos, sendo assim a perda registrada no instante 133 segundos encontra-se dentro deste primeiro pico. As porcentagens de perdas de pacotes registradas nos instantes que variam de 146 a 152 segundos estão sob o segundo pico de probabilidade apresentado no gráfico desta figura. Já as perdas de pacotes de dados registradas no intervalo que variam de 637 a 662 segundos encontram-se sob os picos de probabilidades de descarte que iniciam no instante 634,04 e terminam no instante 663,18 segundos da simulação.

Uma importante observação a ser comentada diz respeito a uma certa semelhança existente entre os instantes em que as porcentagens de perdas foram registradas na simulação onde não há ocorrência de falhas nos Agentes de Mobilidade (figura 27) e nos instantes em que essas perdas são registradas na simulação da nova proposta empregando o RED como mecanismo de gerenciamento de buffer deste roteador (figuras 32, 33 e 34). Contudo na nova proposta empregando o RED, essas perdas passaram a ocorrer em uma maior intensidade e em um número de vezes maior.

O aumento na duração e na intensidade com que essas porcentagens de perdas são registradas podem ser explicadas pelo princípio básico de funcionamento do RED: que consiste em não esperar até que o buffer de um roteador fique cheio para iniciar o seu mecanismo de gerenciamento da fila do seu buffer. A forma com que este mecanismo gerencia essa fila é descartando pacotes de dados com uma certa probabilidade de descarte para manter o controle do tamanho médio da fila do buffer, o que conduz ao controle do retardo de enfileiramento dos pacotes e conseqüentemente da taxa de transmissão desses pelo roteador. O efeito desse mecanismo de controle de congestionamento pode ser observado no gráfico da figura 36 onde nota-se uma pequena redução na ocorrência dos picos de retardos na proposta empregando o mecanismo RED. Entretanto esses picos apresentaram uma intensidade maior.

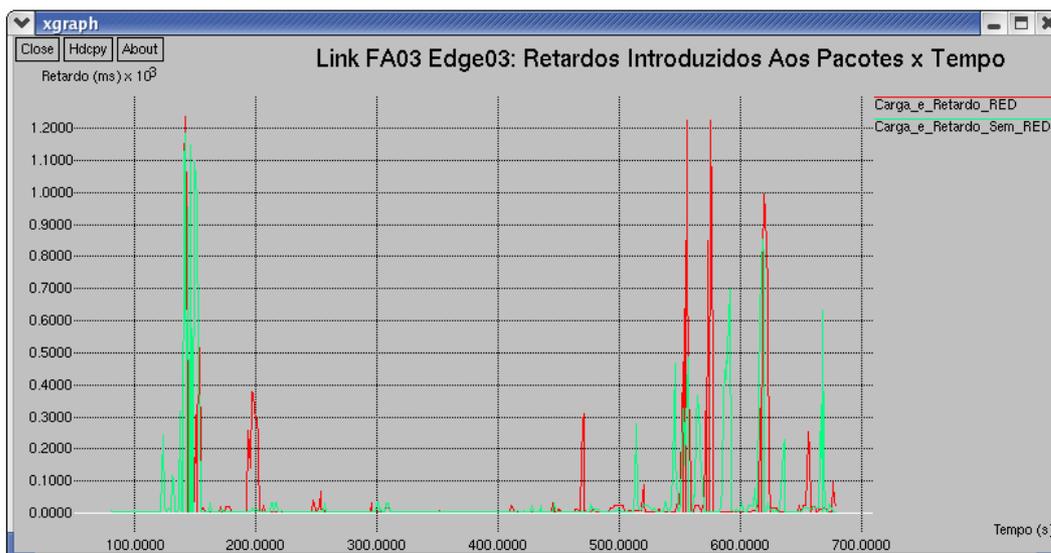


Figura 36 - Primeira falha (falha o FA02): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA03 Edge03.

### **6.2.1.2. Ocorrência da segunda falha**

A segunda falha ocorreu no instante 143 segundos da simulação sob o Agente Estrangeiro de número 4 (FA04) e todas as BTSs atingidas pela falha desse agente, BTS13, BTS14, BTS14, BTS15 e BTS16, foram configuradas para operarem com o FA de número 5 (FA05) tanto na proposta 1 como na proposta 2. No APÊNDICE A são descritos os resultados das execuções de todos os procedimentos para a determinação desse membro de backup (FA05) na ocorrência da segunda falha.

Na subseção seguinte será analisado o desempenho do Agente Estrangeiro de número 5 quando este agente torna-se membro de backup do Agente Estrangeiro de número 4. Portanto, será analisado o link que conecta o Agente Estrangeiro de número 5 ao seu roteador de borda (Edge05).

#### **6.2.1.2.1. Link que conecta FA05 ao seu roteador de borda**

Não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados dos três tipos de serviços simulados. Porém, foi monitorada a quantidade de pacotes de dados desses três tipos de serviços que chegam ao Agente Estrangeiro de número 5 em duas situações diferentes. Na primeira situação só há falha do Agente Estrangeiro de número 2, que ocorreu no instante 113 segundos. Na segunda situação ocorrem duas falhas, a falha do Agente Estrangeiro de número 2 no instante 113 segundos e a falha do Agente Estrangeiro de número 4 no instante 143 segundos.

Na simulação onde há apenas uma falha do Agente Estrangeiro registrou-se as seguintes quantidades de pacotes de dados para os três diferentes tipos de serviços: 508 pacotes UDP do serviço VoIP, 288 pacotes UDP do serviço de Vídeo Conferência e 451 pacotes TCP do serviço FTP. Já na simulação onde há duas falhas dos Agentes Estrangeiros foram registradas as seguintes quantidades: 798 pacotes UDP do serviço VoIP, 777 pacotes UDP do serviço de Vídeo Conferência e 615 pacotes TCP. Portanto, observou-se um aumento de 75,6% na chegada de pacotes de dados no FA05 quando este se torna membro de backup do FA04. O gráfico da figura 37 compara as quantidades de pacotes que chegam ao FA05 para ocorrência de 1 e 2 falhas.

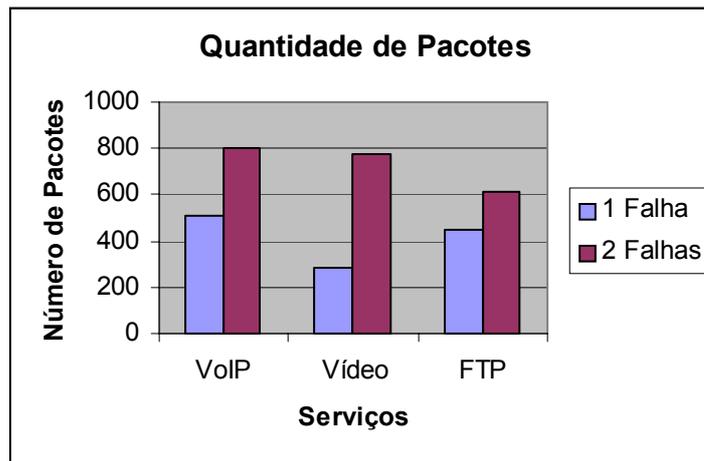


Figura 37 - Número de pacotes que chegam ao FA05 em duas situações diferentes.

Outro parâmetro medido para analisar o efeito que esta carga de tráfego adicional produz sobre o buffer deste membro de backup (FA03) foi o retardo médio introduzido aos pacotes de dados que partem ou destinam-se as diferentes Estações Base Transceptoras que foram configuradas para operarem com este membro de backup. O gráfico da figura 38 abaixo ilustra o comportamento desses retardos ao longo da simulação.

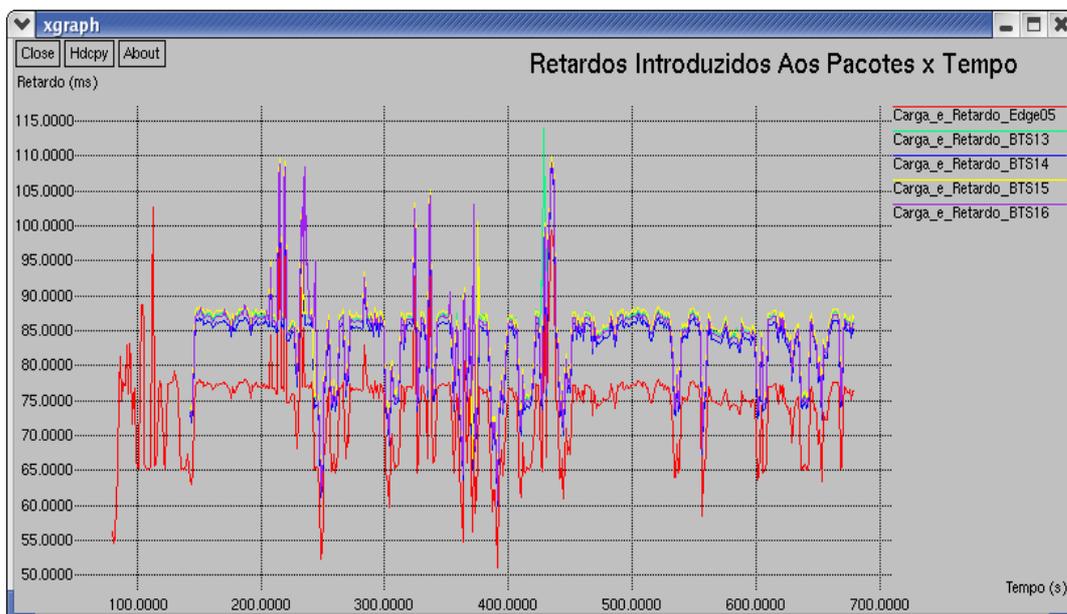


Figura 38 - Segunda falha (falha do FA04): Retardos médios medidos até Edge05 e as diferentes BTSs.

Como pode ser visto no gráfico acima não foram registrados grandes picos de retardos, o maior registrado foi de 113,94ms na Estação Base Transceptora de número 13 no instante 429 segundos da simulação. O comportamento das curvas

desse gráfico nos mostra que mesmo com uma carga de tráfego adicional o buffer desse Agente Estrangeiro não experimentou grandes sobrecargas, pois o retardo de enfileiramento apresentou pequena variação ao longo da simulação. Logo, o retardo médio total ilustrado no gráfico da figura acima apresentou pequenos picos.

Outra observação a ser comentada sobre este gráfico diz respeito à proximidade entre as curvas que descrevem o comportamento dos retardos médios introduzidos as diferentes BTSs. Como essas quatro BTSs possuem caminhos lógicos que as conectam com o mesmo roteador de borda da rede estrangeira, Edge05, e estão conectadas a mesma Estação Base Controladora (BSC) é de se esperar que os retardos médios medidos sejam bem próximos, com algumas pequenas diferenças entre eles. Essas diferenças são provenientes do retardo fixo de propagação e do retardo de enfileiramento de pacotes. O gráfico da figura 39 abaixo ilustra o gráfico da figura anterior em uma faixa de tempo menor (140 à 200 segundos). Neste gráfico é possível notar as pequenas diferenças existentes nos retardos médios medidos.

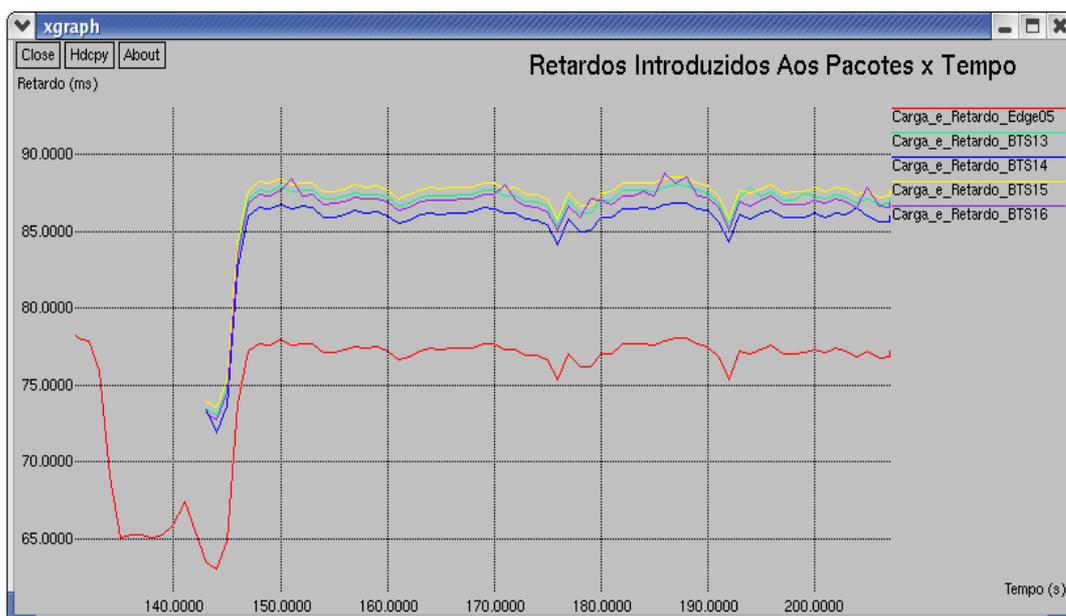


Figura 39 - Gráfico da figura anterior em uma faixa de tempo menor.

#### 6.2.1.2.1.1.

#### Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA05

Na análise do efeito da introdução do mecanismo RED na nova proposta de tolerância à falha os Agentes Estrangeiros, foi verificado que este mecanismo promove algumas perdas de pacotes de dados dos três tipos de serviços simulados.

As três tabelas a seguir (tabelas 38, 39 e 40) informam os instantes e as porcentagens de perdas registradas para os pacotes do serviço: FTP, Vídeo Conferência e VoIP.

Tabela 38 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
217	28,57
218	57,14
219	75,0
220	100,0
221	100,0
239	16,67
240	14,29
241	50,0

Tabela 39 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
217	56,6
218	60,42
219	72,5
220	100,0
221	91,67
236	3,33
237	6,45
238	5,88

Tabela 40 - Segunda falha (falha do FA04): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
218	66,67
219	40,0
220	100,0
221	66,67

Para cada uma das três tabelas mostradas acima são ilustrados os seus respectivos gráficos que mostram essas porcentagens de perdas registradas.

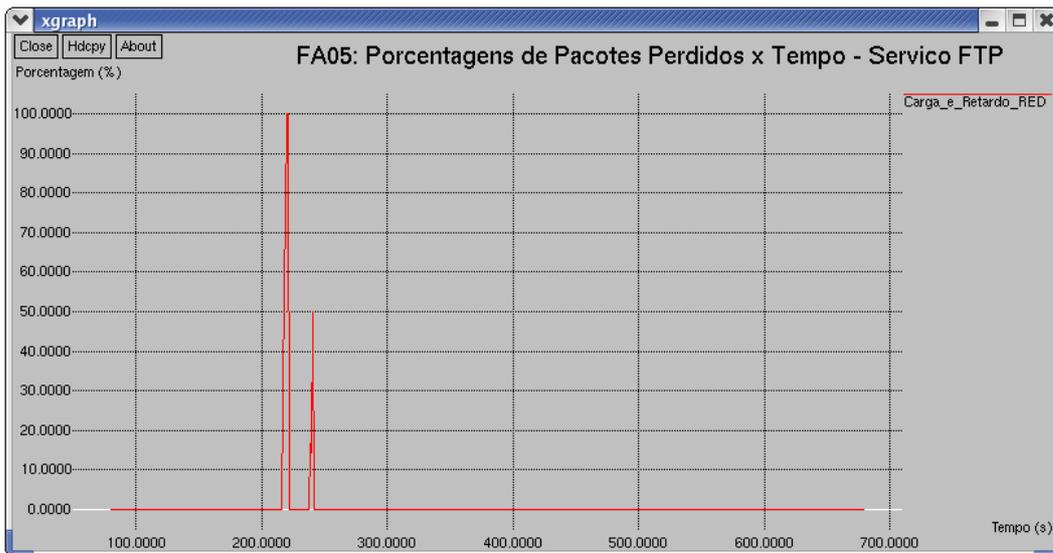


Figura 40 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.

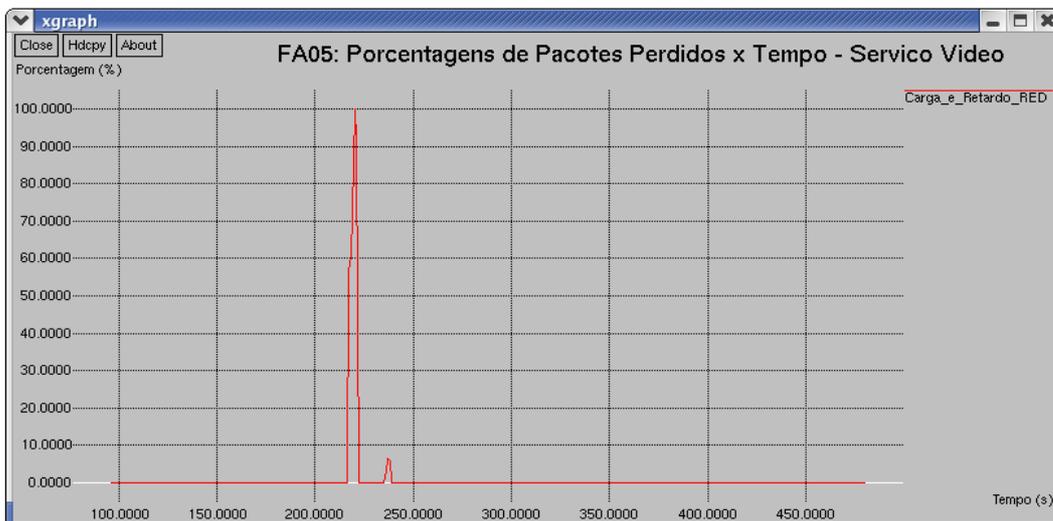


Figura 41 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

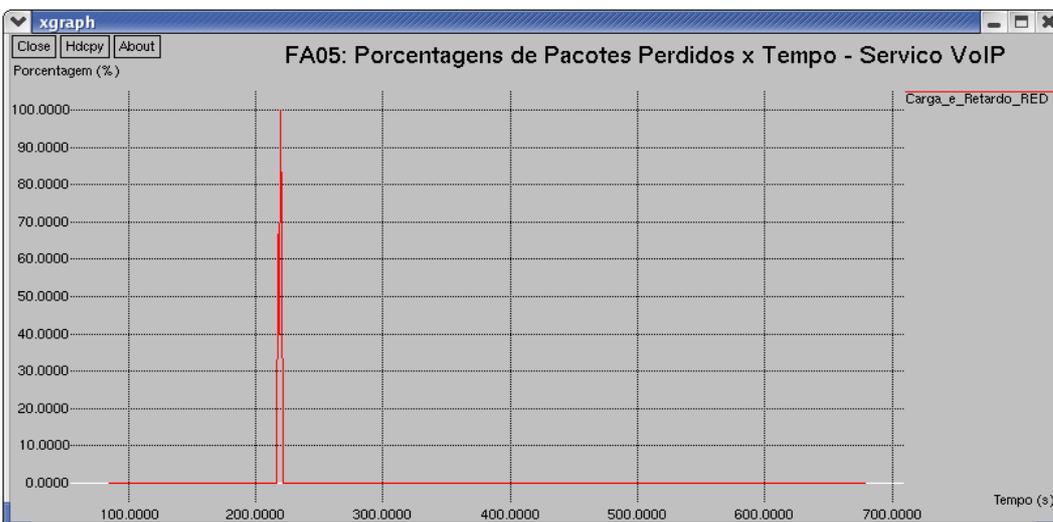


Figura 42 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.

Além da ocorrência dessas perdas foi possível notar que o mecanismo RED permitiu um aumento de 20,41% no número de pacotes de dados que chegam a esse membro de backup (FA05). Ou seja, esse mecanismo de controle do tamanho médio das filas dos buffers dos Agentes Estrangeiros produziu um efeito positivo sobre a taxa de transmissão média da rede, uma vez que um dos objetivos desse mecanismo é evitar que oscilações nas taxas de transmissão da rede ocorram de forma freqüente. Sendo assim, esse aumento no número de pacotes de dados pode ser explicado por este efeito positivo na taxa de transmissão da rede. O gráfico da figura 43 abaixo compara as quantidades de pacotes que chegam ao FA05 até o instante 241 segundos da simulação para a situação em que os mecanismos RED e FIFO são empregados na simulação em que ocorrem duas falhas. Foi escolhido o instante 241 segundos, pois foi neste instante que foi registrado a última perda de pacote.

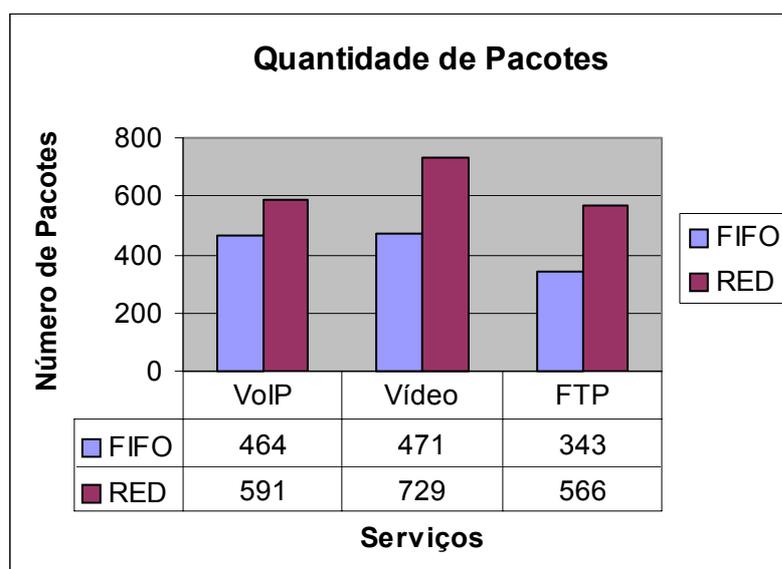


Figura 43- Número de pacotes que chegaram ao FA05 até o instante 240s da simulação.

A partir das informações do gráfico acima é possível observar que até o instante 241 segundos da simulação o número de pacotes que chegam a este membro de backup empregando o mecanismo RED nos Agentes Estrangeiros aumentou em 47,57% comparado com a mesma simulação em que estes agentes utilizam FIFO como mecanismo de gerenciamento de buffer. Portanto, este aumento no número de pacotes produziu um aumento no tamanho médio da fila do buffer (*avg*) do FA05 sobrecarregando um pouco mais o buffer deste dispositivo de rede. Logo a probabilidade de descarte ( $p_d$ ) cresceu com esse

aumento médio e o retardo de enfileiramento neste FA também aumentou explicando assim as ocorrências dessas perdas de pacotes. O gráfico da figura 44 abaixo ilustra a probabilidade de descarte medida no buffer deste membro de backup (FA05) e o gráfico da figura 45 ilustra os retardos introduzidos aos pacotes de dados que trafegam pelo link que conecta o FA05 ao seu roteador de borda (Edge05).

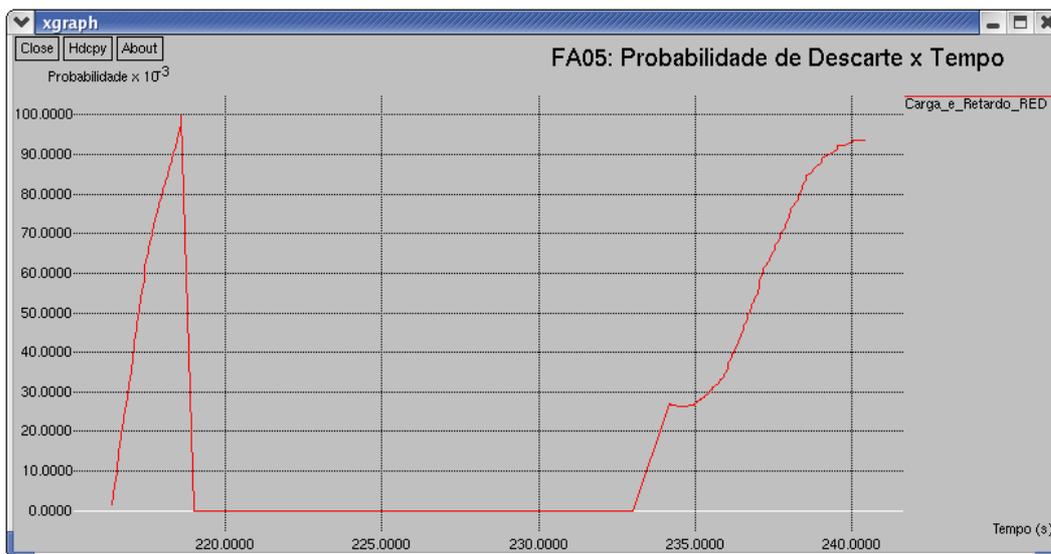


Figura 44 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA05.

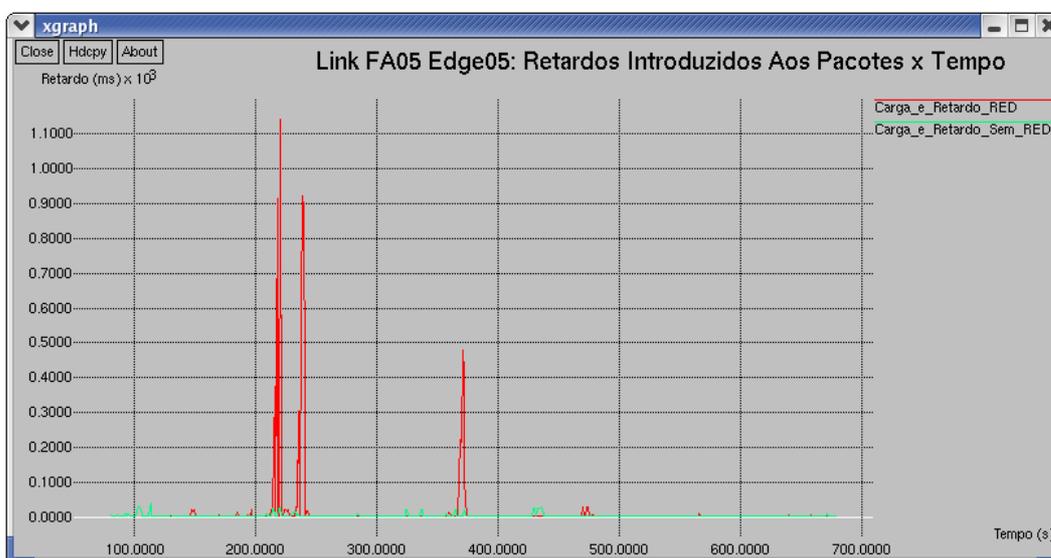


Figura 45 - Segunda falha: Efeito do mecanismo RED sobre o link FA05 Edge05.

Através dos gráficos das duas figuras acima é possível notar que com exceção da janela de tempo que se estende do instante 368 a 372 segundos que as curvas de probabilidade de descarte estão dentro dos intervalos de tempo em que foram registrados os picos de retardos ilustrados na figura 45 acima. Com exceção

das perdas que ocorreram nos instantes 219, 220 e 221 segundos da simulação todas as outras perdas estão sob as curvas da primeira ou segunda janela de tempo em que a probabilidade de descarte manifestou um valor maior do que zero. Porém, estes três instantes estão dentro da faixa de tempo que se inicia no instante 215 e termina no instante 221 segundos, onde registram-se as ocorrências dos maiores picos de retardos. Ou seja, provavelmente nos instantes 219 e 221 segundos o tamanho médio da fila esteve abaixo do limiar do número mínimo de pacotes ( $min_{th}$ ), mas a duração e a intensidade com que os picos de retardos ocorreram até este instante explicam as perdas registradas nesse dois instantes. Isto é, provavelmente esses pacotes tiveram o seu Time To Live expirados em virtude de ficarem expostos a um retardo de enfileiramento intenso e duradouro.

No instante 220 segundos foram registradas perdas de 100% em todos os pacotes de dados dos três serviços simulados e um pico de retardo de 1139,7ms, o que resulta na conclusão que neste instante o tamanho médio da fila do buffer do FA05 tenha igualado ou excedido o limiar do número máximo de pacotes ( $max_{th}$ ) o que explica o motivo da ocorrência dessas perdas de pacotes. Vale lembrar novamente que o gráfico que descreve comportamento da probabilidade de descarte só monitora essas probabilidades para o intervalo  $min_{th} \leq avg < max_{th}$ , logo para o instante 220 segundos quando a condição  $max_{th} \leq avg$  possivelmente ocorreu o gráfico não mostrou a probabilidade de descarte de 100%.

### 6.2.1.3.

#### Ocorrência da terceira falha

A terceira falha ocorreu no instante 243 segundos da simulação sob o Agente Estrangeiro de número 3 (FA03). Agora são cinco Estações Base Transceptoras atingidas pela falha do Agente Estrangeiro de número 3 (BTS8, BTS9, BTS10, BTS11 e BTS 12), pois na ocorrência da segunda falha o FA03 passou a gerenciar a carga de tráfego da BTS8. Com o emprego da nova proposta (proposta 1) na determinação dos membros de backup, o Agente Estrangeiro de número 1 (FA01) passa a gerenciar a carga de tráfego da BTS8 a partir do instante 243 segundos. Já as demais BTSs (BTS9, BTS10, BTS11 e BTS12), a partir deste mesmo instante, serão gerenciadas pelo FA05. Com o emprego da proposta 2,

todas essas 5 Estações Base Transceptoras passarão a ser gerenciadas pelo FA01 a partir do instante 243 segundos da simulação.

Nas duas subseções seguintes serão analisados os desempenhos desses membros de backup utilizando as proposta 1 e a proposta 2, bem como o efeito da introdução do mecanismo RED em nossa proposta.

#### **6.2.1.3.1.**

##### **Link que conecta FA01 ao seu roteador de borda**

Na nova proposta, o Agente Estrangeiro de número 1 ao alocar a carga de tráfego da Estação Base Transceptora de número 8, passou a gerenciar a carga de tráfego de 8 BTSs, pois na ocorrência da primeira falha este FA passou a gerenciar a carga de tráfego de mais 3 BTSs além das 4 BTSs que originalmente ele já gerenciava. Já na proposta 2 ao ocorrer a terceira falha esse FA passa a gerenciar a carga de tráfego de 12 BTSs, pois além das 7 BTSs que este agente já gerenciava após a ocorrência da primeira falha passou a gerenciar a carga de tráfego das 5 BTSs atingidas pela falha do FA03. Como foi visto na seção 6.2.1.1.1 (Link que conecta FA01 ao seu roteador de borda) em que o FA01 tornou-se membro de backup do FA02 na ocorrência da primeira falha não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados na nova proposta, somente na proposta 2 que utiliza apenas um parâmetro para determinação dos membros de backup. Entretanto, este Agente Estrangeiro (FA01) ao tornar-se membro de backup do Agente Estrangeiro de número 3 (terceira falha) passou a registrar perdas de pacotes de dados dos três tipos de serviços simulados também na nova proposta.

No serviço FTP foram registradas perdas de pacotes TCP na nova proposta nos instantes 308 e 309 segundos da simulação com as respectivas porcentagens de perdas 50% e 25%. Já na proposta 2 estas perdas foram registradas em um número maior de vezes e com uma maior intensidade. A tabela 41 informa os instantes e as porcentagens de perdas com que estas foram registradas na simulação da proposta 2.

Tabela 41 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
277	100,0
278	40,0
279	100,0
280	50,0
296	100,0
297	100,0
298	50,0
299	60,0
300	100,0
301	100,0
367	66,67
368	50,0
369	100,0

O gráfico da figura 46 abaixo ilustra essas porcentagens de perdas para os pacotes do serviço FTP para ambas as propostas.

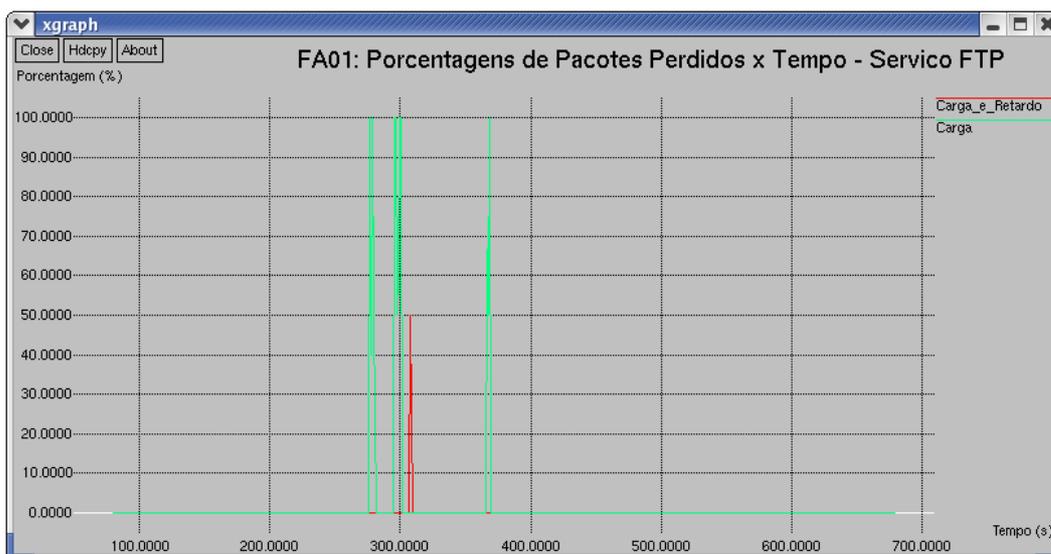


Figura 46 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

No serviço de Vídeo Conferência registrou-se perdas de pacotes UDP na nova proposta nos instantes 308 e 309 segundos da simulação com porcentagens de perdas de 6,25% e 37,25% respectivamente. Para este mesmo tipo de serviços na proposta 2 verifica-se que essas porcentagens tornaram-se maiores e ocorreram em uma maior frequência. A tabela 42 ilustra os instantes e as porcentagens de perdas registradas para este tipo de serviço para a simulação da proposta 2 e no gráfico da figura 47 são ilustradas as porcentagens de perdas para ambas as propostas.

Tabela 42 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço Vídeo Conferência.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
277	39,39
278	58,06
279	59,38
280	65,63
281	45,83
282	21,43
289	18,75
290	20,0
295	4,55
296	59,38
297	57,69
298	18,75
299	66,67
300	75,0
301	55,17
366	39,13
367	65,71
368	57.69
369	45.45

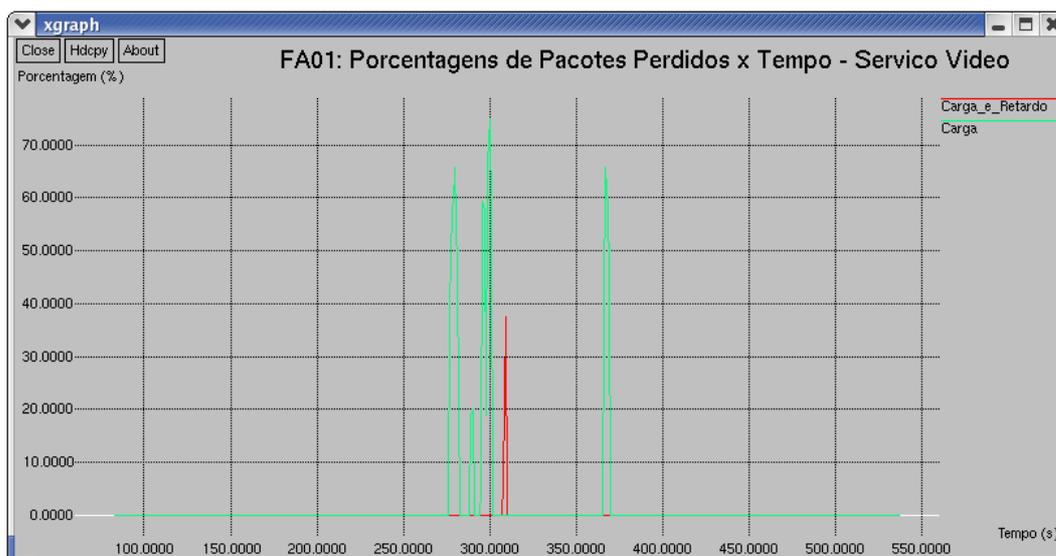


Figura 47 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

Na nova proposta as perdas de pacotes UDP para o serviço VoIP também ocorreram nos instantes 308 e 309 segundos da simulação com as respectivas porcentagens: 28,57% e 33,33%. Já na proposta 2 as perdas para esse tipo de serviço também ocorreram em apenas dois instantes, 297 e 298 segundos da simulação, porém com porcentagens maiores, 50% para o instante 297 segundos e 100% para o instante 298 segundos. O gráfico da figura 48 ilustra essas perdas para ambas as propostas.

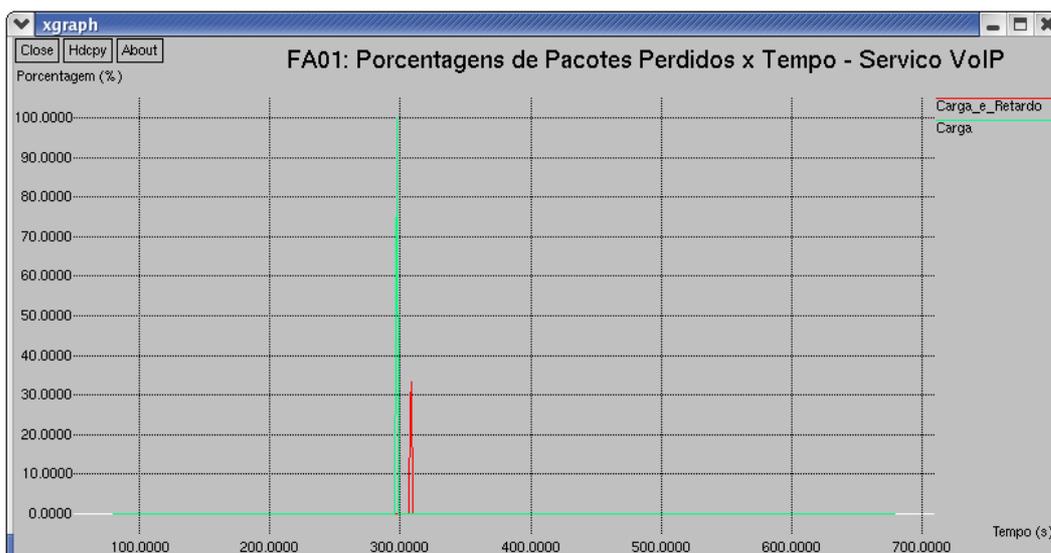


Figura 48 - Terceira falha (falha do FA03): porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.

Novamente para explicar as ocorrências dessas porcentagens de perdas foram medidos os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se ao roteador de borda da rede estrangeira de número 1 (Edge01) como forma de analisar as sobrecargas dos buffers dos dispositivos dessa rede, FA01 e Edge01. A figura 49 ilustra o comportamento desses retardos. Como pode ser visto neste gráfico os picos de retardos registrados na nova proposta passaram a ocorrer em um número maior de vezes especialmente na faixa de tempo de 282 à 391 segundos da simulação comparados com os retardos medidos na proposta 2. Porém esses picos de retardos possuem na maioria das vezes um valor menor comparados com aqueles que ocorreram na proposta 2. Portanto, é possível concluir que, embora na nova proposta os buffers desses dispositivos apresentem uma sobrecarga mais constante durante o intervalo de tempo de 282 à 391 segundos, essas sobrecargas foram mais suportáveis pelos buffers desses dispositivos do que as sobrecargas que ocorreram na simulação da proposta 2. Esta conclusão fica bem clara ao se comparar as quantidades de vezes e as intensidades com que essas porcentagens de perdas foram registradas em ambas as propostas. Essa conclusão também pode ser vista nas figuras 46, 47, 48 e 49.

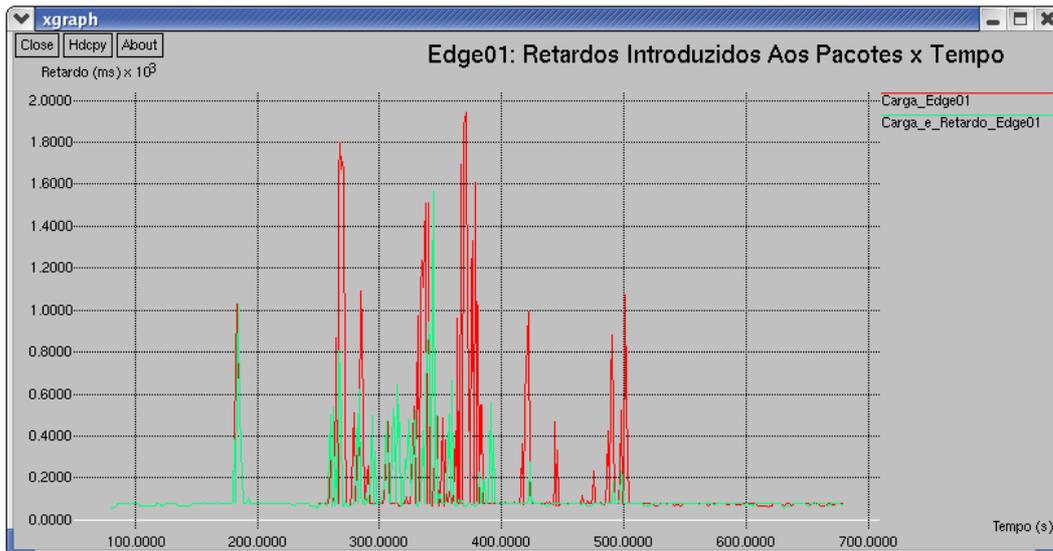


Figura 49 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge01).

No gráfico da figura 50 abaixo são comparados os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se a BTS8 na simulação das duas propostas. Embora em ambas propostas o FA01 possui um caminho lógico que a conecta a BTS8, na proposta 2 este agente passa a gerenciar a carga de tráfego de 12 BTSs, enquanto que na nova proposta este mesmo FA gerencia a carga de tráfego de 7 BTSs. Portanto, esse número adicional de BTSs produz uma sobrecarga nos buffers desses dispositivos de rede e conseqüentemente produz um aumento nos retardos introduzidos aos pacotes de dados que trafegam por esses dispositivos.

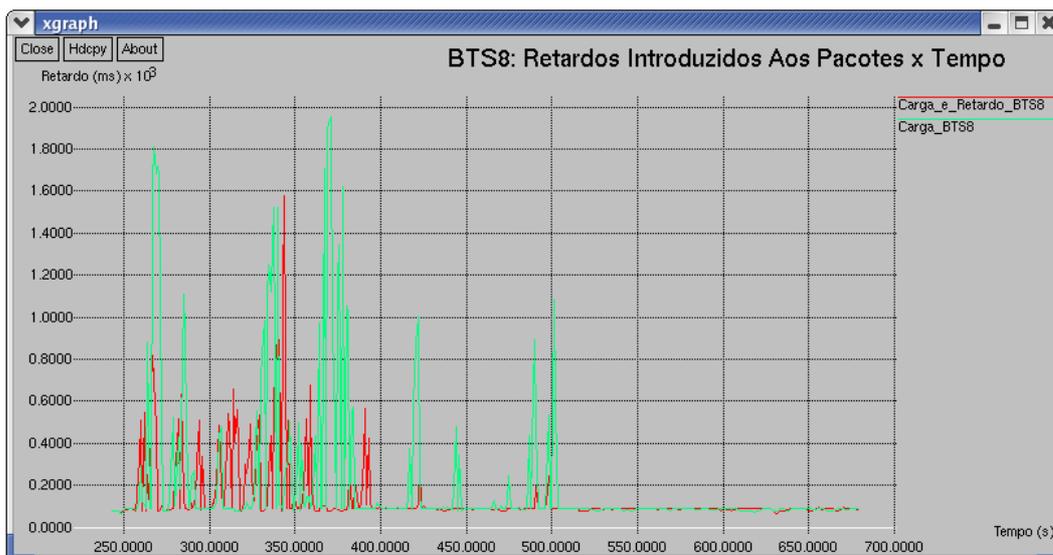


Figura 50 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS8.

### 6.2.1.3.1.1.

#### Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA01

Novamente será analisado o efeito da introdução do mecanismo RED na nova proposta. Portanto, serão comparadas as porcentagens de perdas dos pacotes dos diferentes tipos de serviços e os retardos introduzidos a esses pacotes de dados utilizando o FA01 como membro de backup tanto na situação que este agente emprega o RED e o FIFO como mecanismo de gerenciamento de buffer.

A primeira análise refere-se as porcentagens de perdas dos pacotes de dados dos diferentes tipos de serviços de dados. Para esses três tipos de serviços foram registradas perdas dos seus pacotes quando o mecanismo RED foi introduzido na nova proposta. As três tabelas (43, 44, e 45) abaixo informam os instantes e as porcentagens com que essas perdas ocorreram para cada um dos três tipos de serviços.

Tabela 43 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço FTP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
337	25,0
338	33,33
339	60,0
340	100,0
341	100,0
342	100,0
344	50,0
347	60,0
348	100,0
349	100,0
358	50,0
359	50,0
360	100,0

Tabela 44 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
182	6,67
186	3,13
187	7,69
334	6,67
336	5,56
337	31,25
338	25,0
339	62,5
340	100,0
341	100,0
342	88,89
343	25,0
344	18,75
345	6,25
346	7,41
347	11,11
353	3,85
354	4,17
355	6,25
356	8,33
358	6,25
359	87,5
360	62,5
361	7,69
364	6,25
365	7,14
366	6,67
370	7,41

Tabela 45 - Terceira falha (falha do FA03): Porcentagens de perdas dos pacotes do serviço VoIP.

Tempo (s)	Porcentagens de Perdas (%)
347	33,33
348	100,0

Para cada uma das três tabelas mostradas acima são ilustrados os seus respectivos gráficos (figuras: 51, 52 e 53) que mostram o efeito do mecanismo RED na nova proposta.

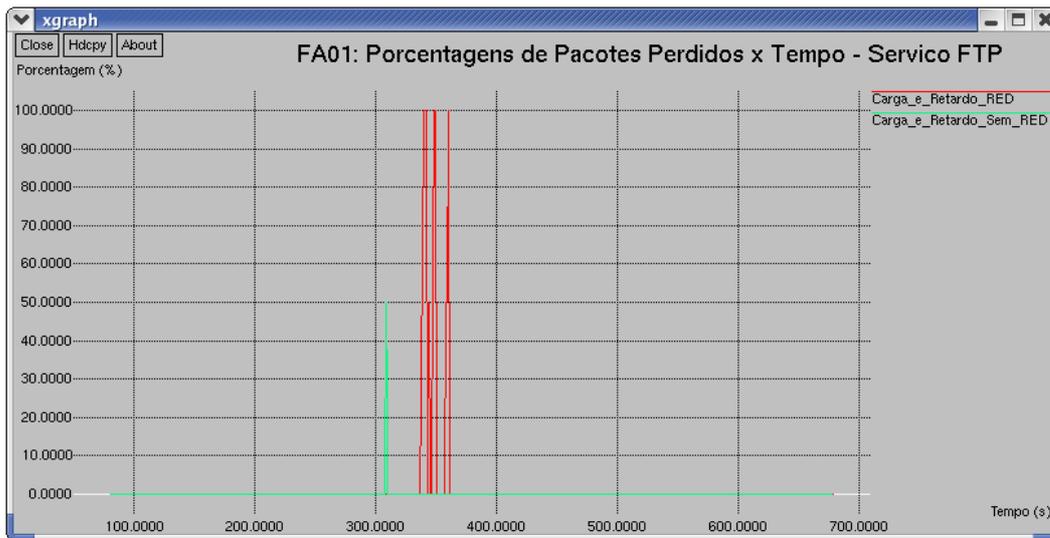


Figura 51 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço FTP.

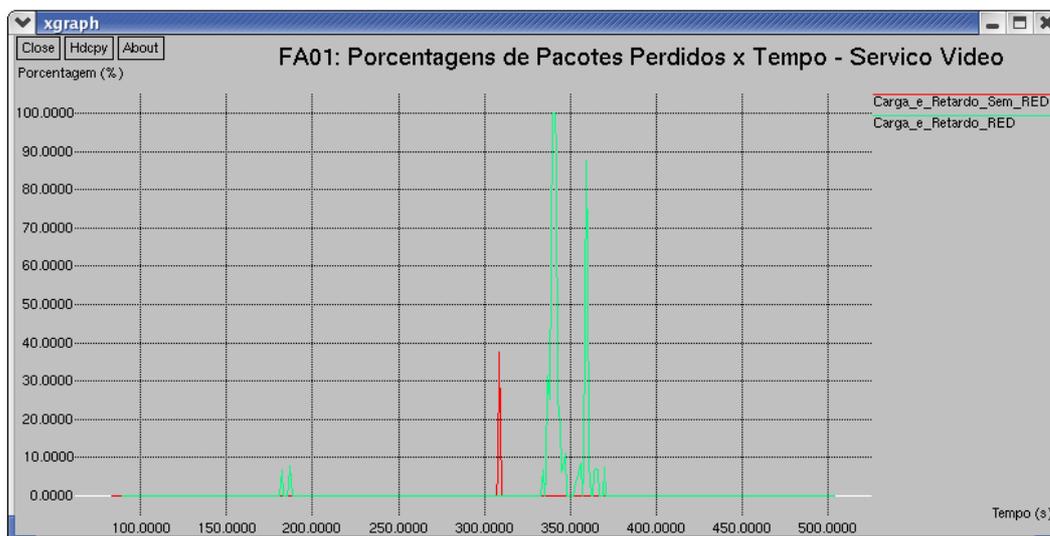


Figura 52 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço de Vídeo Conferência.

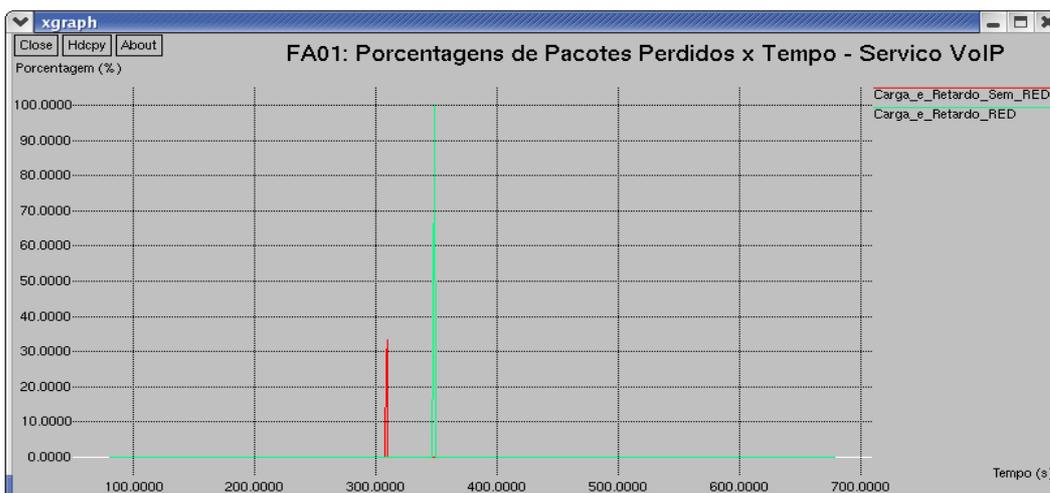


Figura 53 - Terceira falha: Efeito do mecanismo RED sobre os pacotes do serviço VoIP.

Na proposta 1 (nova proposta) ao se utilizar o RED como mecanismo de gerenciamento da fila do buffer dos Agentes Estrangeiros observou-se um aumento de 23,20% no número de pacotes que chegam ao FA01. Portanto, este aumento provocou uma sobrecarga um pouco maior no buffer do FA01 produzindo um aumento no tamanho médio da fila do buffer desse agente e, por conseguinte um aumento na probabilidade de descarte e dos retardos de enfileiramentos dos pacotes. O gráfico da figura 54 abaixo ilustra os valores para as probabilidades de descartes dos pacotes medidas no buffer deste membro de backup (FA01) para a condição  $min_{th} \leq avg < max_{th}$ . A outra forma onde é possível verificar o efeito da introdução do mecanismo RED na nova proposta é medindo os retardos introduzidos aos pacotes que trafegam no link que conecta esse FA ao seu roteador de borda e comparado-os com os valores dos retardos medidos no mesmo link quando empregado o mecanismo de gerenciamento FIFO nos Agentes Estrangeiros. O gráfico da figura 55 ilustra essa comparação.

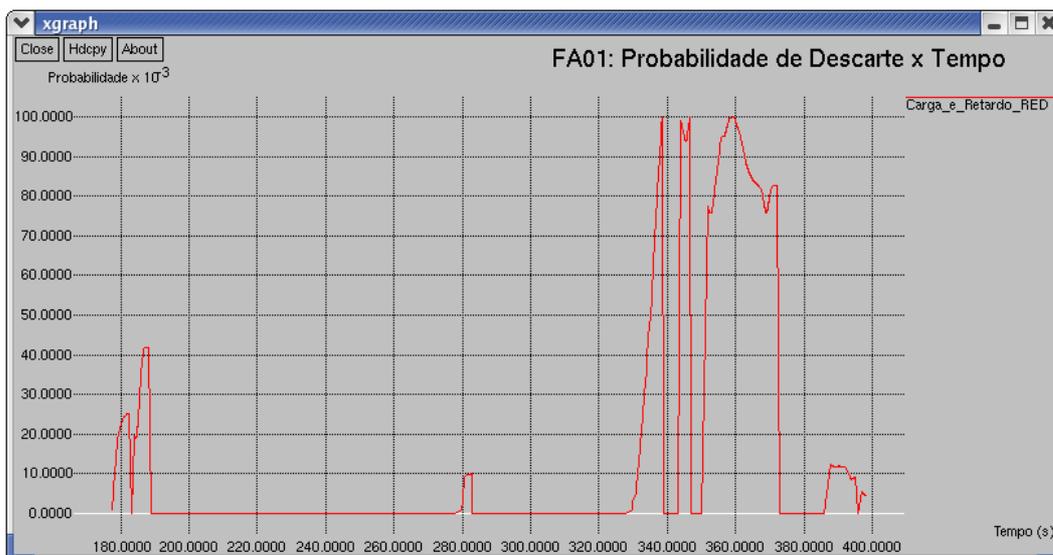


Figura 54 - Probabilidade de descarte de pacotes monitorada no buffer do FA01.

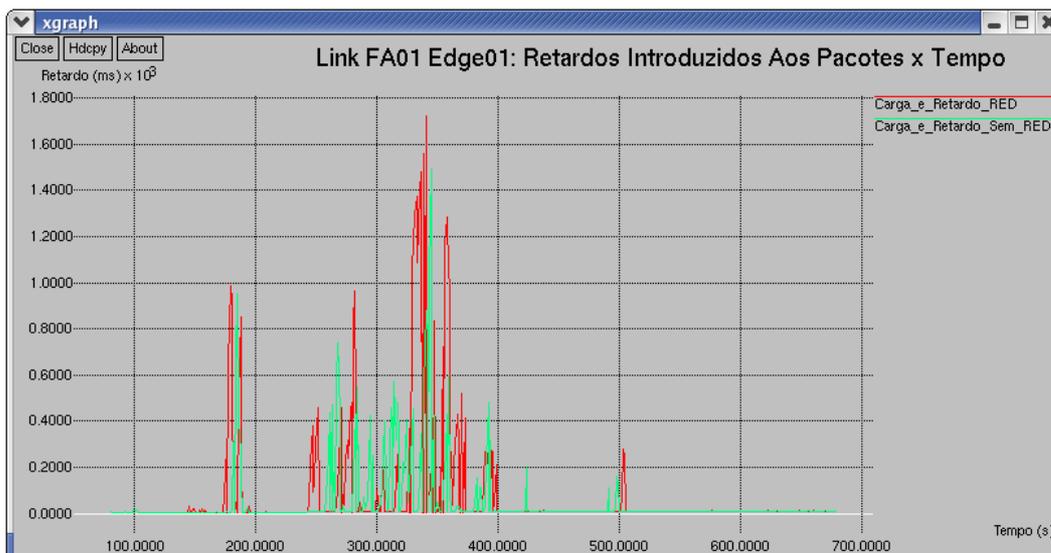


Figura 55 - Terceira falha (falha do FA03): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA01 Edge01.

Mais uma vez foi observado que as curvas de probabilidade de descarte estão dentro dos intervalos de tempo em que os picos de retardos mais intensos ilustrados na figura 55 acima ocorreram. Com exceção das perdas de pacotes registradas nos intervalos entre 339 e 342 segundos e entre o intervalo de 347 a 349 segundos todas as demais perdas ocorreram sob as curvas que descrevem essa probabilidade de descarte. As perdas de pacotes registradas fora destas curvas que descrevem o comportamento da probabilidade de descarte ao longo do tempo podem ser explicadas pelos grandes picos de retardos registrados nos instantes que antecederam essas perdas, e que ocorreram exatamente dentro dos intervalos em que essas probabilidades de descartes se manifestaram.

#### 6.2.1.3.2.

##### **Link que conecta FA05 ao seu roteador de borda**

Na proposta 1 o Agente Estrangeiro de número 5 ao alocar a carga de tráfego de 4 Estações Base Transceptoras atingidas pela falha do FA03, passou a gerenciar a carga de tráfego de 12 BTSs, pois na ocorrência da segunda falha este membro de backup passou a gerenciar a carga de tráfego de mais 4 BTSs além das 4 BTSs que originalmente ele já gerenciava. Já na proposta 2 ao ocorrer a terceira falha esse FA não aloca mais nenhuma carga de tráfego adicional, ou seja, permanece gerenciando a carga de tráfego de 8 BTSs que ele já gerenciava antes da ocorrência da terceira falha. Como foi visto na seção em que o FA05

tornou-se do membro de backup do FA04 na ocorrência da segunda falha (seção 6.2.1.2.1 Link que conecta o FA05 ao seu roteador de borda) não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados na nova proposta e nem na proposta 2. Logo como era de se esperar, na simulação da ocorrência da terceira falha na proposta 2 também não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados.

Na análise comparativa entre a proposta 1 e a proposta 2, observou-se que na proposta 1 ocorreu um aumento de 37,34% no número de pacotes de dados que chegaram ao FA05 quando este agente tornou-se membro de backup do FA03 (ocorrência da terceira falha). Porém, não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados dos três tipos de serviços no link que conecta este Agente Estrangeiro ao seu roteador de borda (Edge05), o que permite concluir que este aumento percentual no número de pacotes que chegaram ao FA05 não produziu sobrecargas significativas sobre o buffer de cada dispositivo dessa rede (FA05 e Edge05). Para verificar esse pequeno efeito sobre os buffers desses dispositivos de rede foram medidos os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partiram ou que se destinaram ao Edge05. O gráfico da figura 56 abaixo ilustra o comportamento desses retardos ao longo da simulação comparando a nova proposta com a proposta 2.

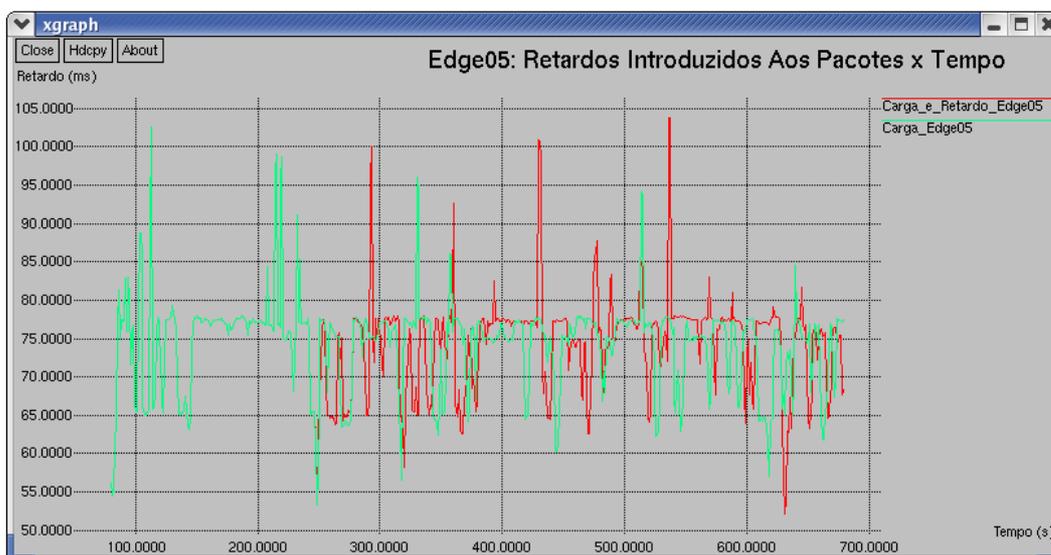


Figura 56 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até o roteador de borda (Edge05).

No gráfico acima é possível notar que o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados permaneceu o mesmo até o instante 243 segundos da simulação para ambas as propostas. Isso ocorreu, pois no intervalo de

80 a 113 segundos de simulação não houve nenhuma falha, do instante 113 a 143 segundos também não foi observada nenhuma diferença nas curvas de retardos para ambas as propostas, o que permite concluir que a ocorrência da primeira falha (instante 113 segundos da simulação) não produziu qualquer tipo de efeito sobre esse agente. No instante 143 segundos ocorreu a segunda falha, porém a configuração encontrada pelo software da gerência de configuração para ambas as propostas indicaram que o FA05 seria o membro de backup do segundo agente defeituoso. Após o instante 243 segundos já foi possível observar diferenças entre essas curvas, pois neste instante ocorreu a terceira falha e o software da gerência de configuração encontrou diferentes membros de backup para cada proposta. Por esse motivo, só é possível enxergar uma curva para esse intervalo de tempo, ou seja, há uma sobreposição das curvas para essas duas propostas durante esse intervalo de tempo. O gráfico da figura 57 abaixo ilustra em separado o comportamento desses retardos para a situação em que três falhas ocorreram na simulação da nova proposta (proposta1).

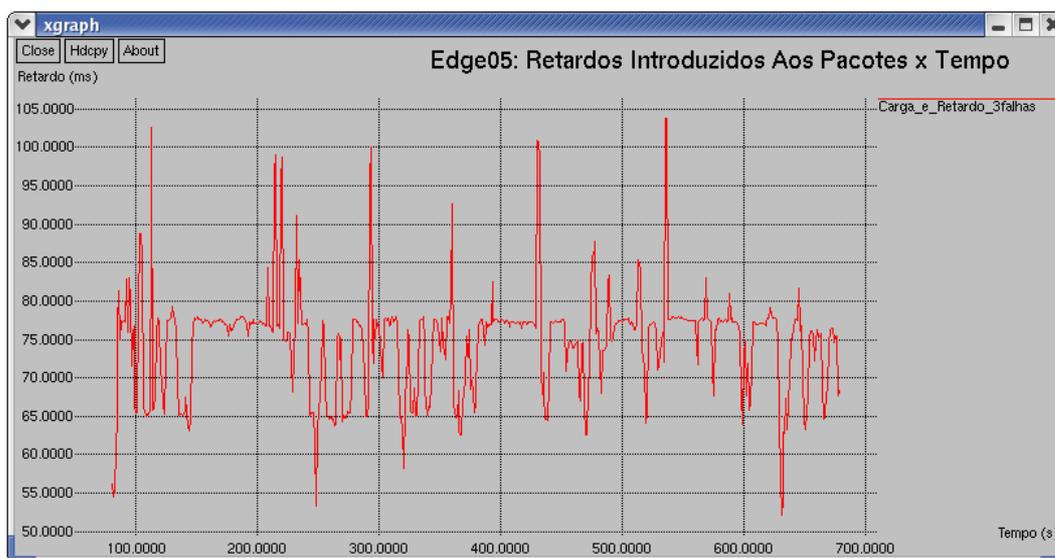


Figura 57 - Destaque da curva Carga\_e\_Retardo do gráfico da figura anterior.

O gráfico da figura 58 ilustra o gráfico da figura 56 para o intervalo de tempo de 250 à 680 segundos da simulação. Neste intervalo nota-se melhor o pequeno efeito que a carga de tráfego adicional produziu sobre os buffers dos dispositivos da rede estrangeira de número 5. Observe que para alguns intervalos de tempos os retardos medidos na proposta 1 estão um pouco acima dos retardos

medidos na proposta 2 e além disso foram registrados na proposta 1 picos de retardos ligeiramente maiores do que na proposta 2.

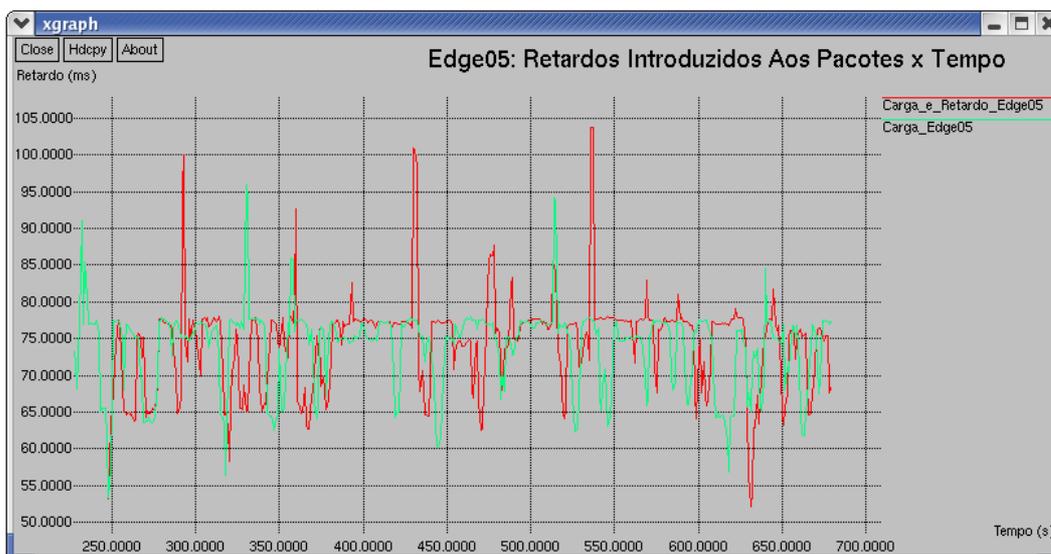


Figura 58- Retardos médios medidos até Edge05 para o intervalo de 250 à 680s.

Os próximos 4 gráficos, figuras 59, 60, 61 e 62, comparam as duas propostas quanto aos retardos médios introduzidos aos pacotes de dados que partem ou destinam-se as diferentes BTSs (BTS9, BTS10, BTS11 e BTS12). Nestes 4 gráficos os retardos medidos na proposta 2 apresentaram picos maiores e ocorreram mais vezes do que na proposta 1. Antes da explicação desse fato é importante lembrar que na proposta 2 essas BTSs foram configuradas para terem caminhos lógicos que as conectam ao FA01, que apresentou a maior carga de tráfego disponível no instante 243 segundos (ocorrência da segunda falha). Já na proposta 1 (nova proposta) essas BTSs a partir desse instante passam a ser gerenciadas pelo FA05.

Agora sim, voltando a explicação do fato referido, a carga de tráfego adicional que o FA01 passa receber dessas BTSs após o instante 243 segundos e principalmente a carga de tráfego que a partir desse instante são destinadas para as 4 BTSs que são controladas pela BSC da rede estrangeira do FA01 se tornaram bem maiores do que a carga de tráfego que foi direcionada para o FA05 na proposta 1. Isto pôde ser observado pelo fato de que na proposta 1 também se teve 12 BTSs gerenciadas pelo FA05 e mesmo assim não foi registrada nenhuma perda de pacotes de dados no link que conecta FA05 ao Edge05. Portanto, não se pode afirmar para esta particular situação que o principal fator para o melhor

desempenho desses dispositivos de redes (Agentes Estrangeiros) tenha sido a introdução de mais um parâmetro para determinação dos membros de backup, mas sim a carga de tráfego direcionada para o FA05 após a ocorrência da terceira falha. No entanto, a introdução de mais um parâmetro para a determinação dos membros de backup, como é feita na nova proposta, auxilia na melhor distribuição da carga de tráfego das BTSs atingidas pelas falhas dos Agentes Estrangeiros como ocorreu nesta situação.

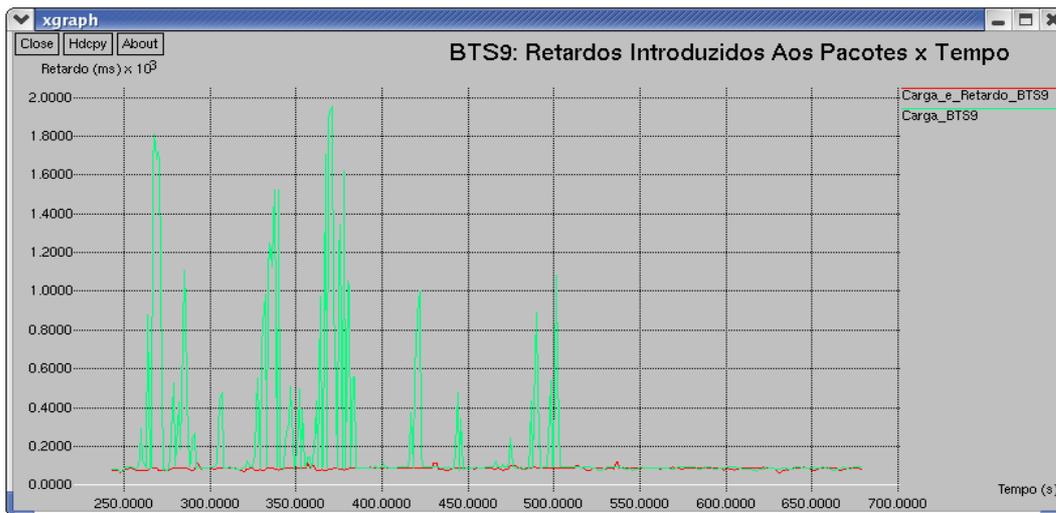


Figura 59 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS9.

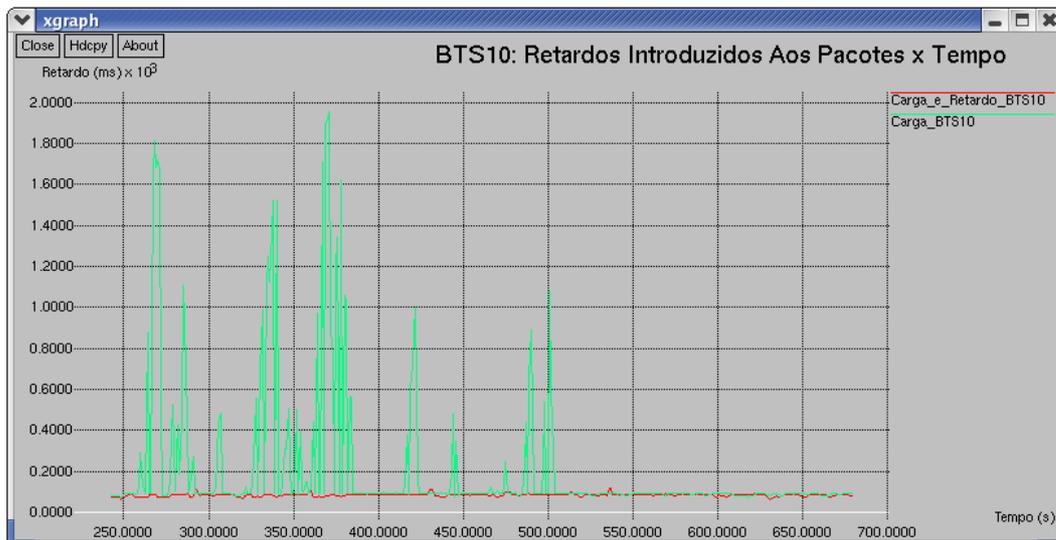


Figura 60 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS10.

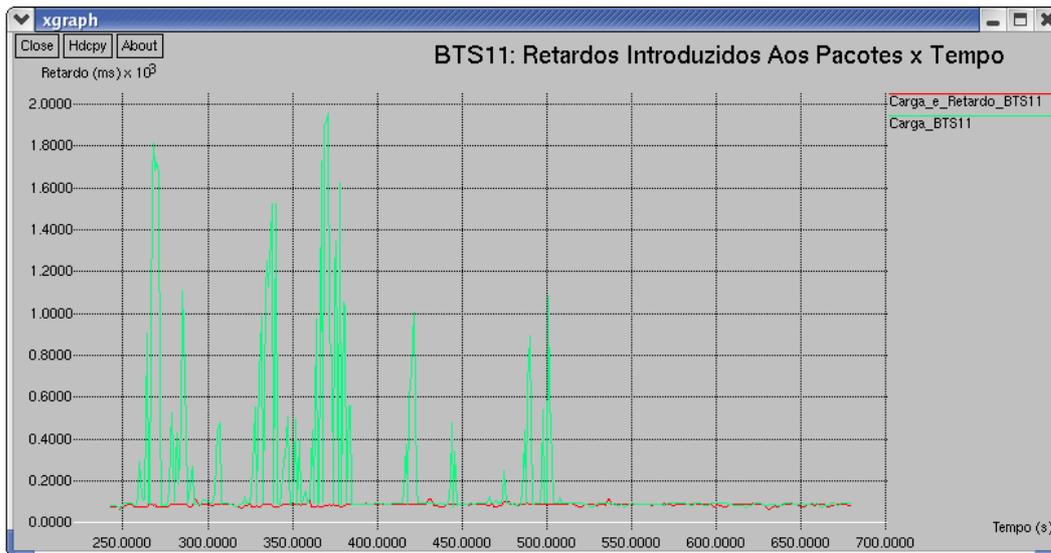


Figura 61 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS11.

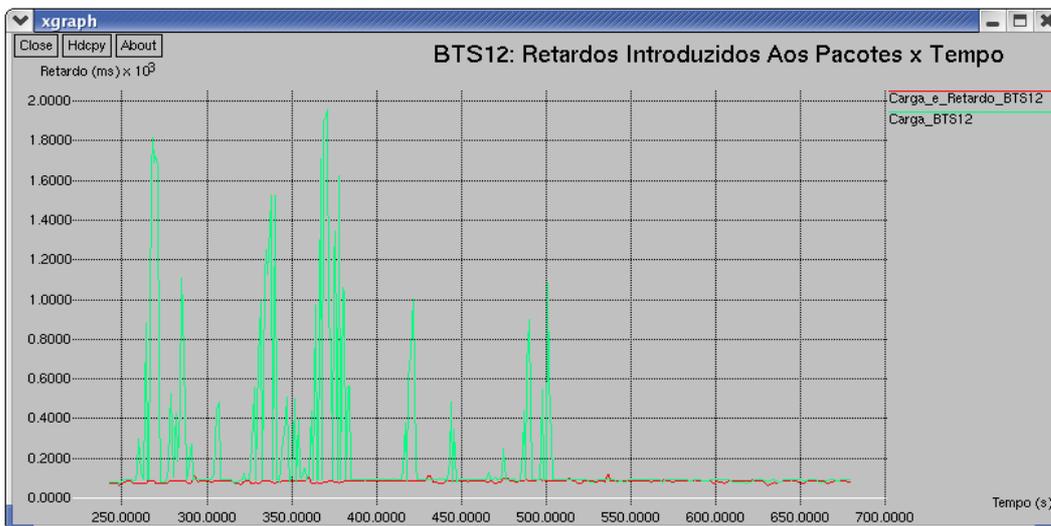


Figura 62 - Terceira falha (falha do FA03): Retardos médios medidos até BTS12.

#### 6.2.1.3.2.1.

#### Efeito do mecanismo RED na nova proposta analisando o FA05

Na análise do efeito da introdução do mecanismo RED na proposta 1 na ocorrência de três falhas foi observado que não houve perdas de pacotes de dados dos três tipos de serviços simulados após o instante 243 segundos. Porém, notou-se que houve um aumento de 16,78% no número de pacotes de dados que chegaram ao Agente Estrangeiro de número 5. Portanto, esse pequeno aumento não foi suficiente para produzir sobrecarga no buffer desse agente e conseqüentemente produzir perdas de pacotes de dados após a ocorrência da terceira falha.

O efeito desse pequeno aumento percentual sobre os buffers dos dispositivos dessa rede (FA05 e Edge05) pode ser visto melhor na figura 63 abaixo onde é feita à comparação dos retardos introduzidos aos pacotes que trafegam pelo link que conecta o FA05 ao seu roteador de borda (Edge05) para duas situações: cenário com duas e três falhas.

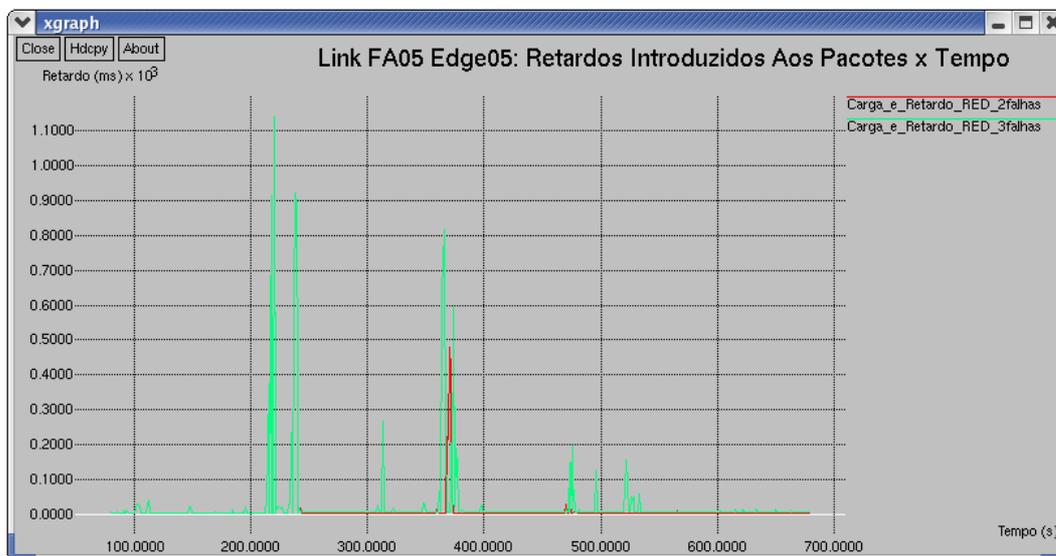


Figura 63 - Terceira falha (falha do FA03): Efeito do mecanismo RED sobre o link FA05 Edge05.

Para os intervalos de tempo entre 215 a 221 segundos e de 235 a 240 segundos onde são observados grandes picos de retardos no gráfico da figura acima as curvas dos retardos ilustradas nesse gráfico mostram uma sobreposição entre essas duas situações (2 e 3 falhas). O que era de se esperar já que a terceira falha ocorre somente no instante 243 segundos. A partir desse instante já é possível observar diferenças entre as curvas dessas duas situações. Observe que após a ocorrência da terceira falha foram registrados alguns picos de retardos que não ocorreram na situação em que as duas falhas aconteceram. Essas diferenças ficam mais claras quando separadas essas curvas em gráficos diferentes. Veja os gráficos da figura 64 e 65.

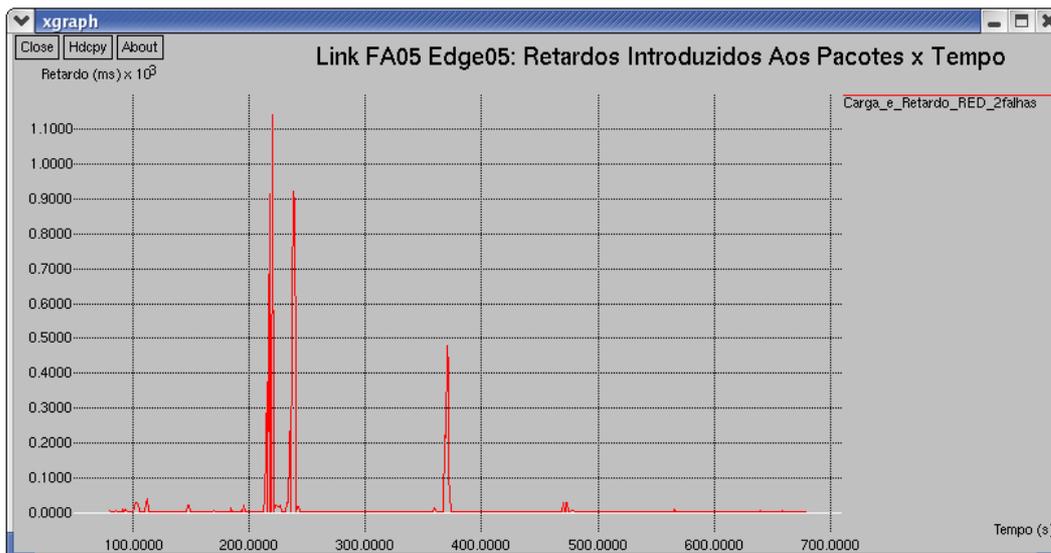


Figura 64 - Efeito do mecanismo RED na nova proposta na ocorrência de duas falhas.

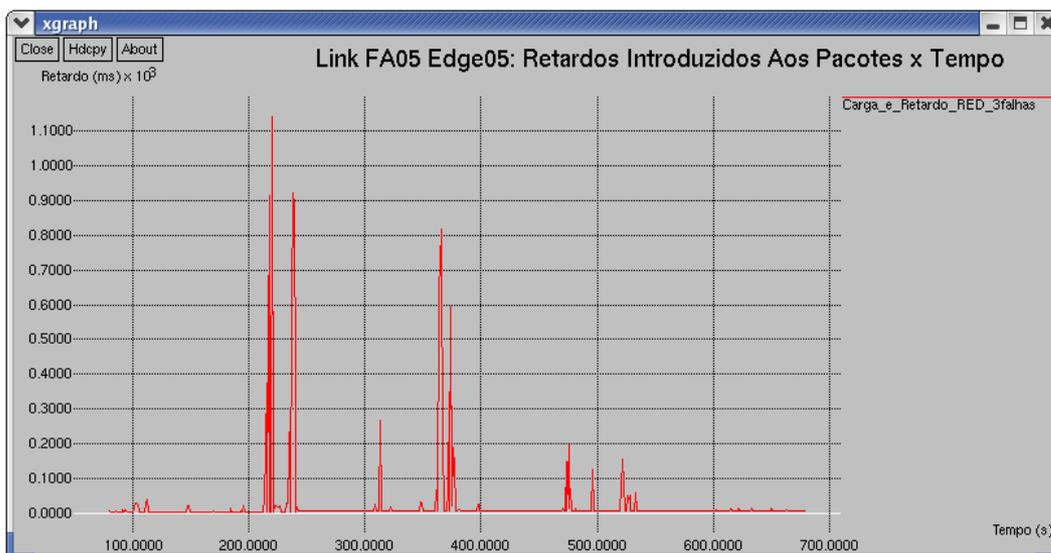


Figura 65 - Efeito do mecanismo RED na nova proposta na ocorrência de três falhas.

### 6.2.2. Falha dos Agentes de Origem

Nesta seção será analisado o desempenho da nova proposta de tolerância à falha dos Agentes de Origem descrita na seção 5.2 (Tolerância à falha dos Agentes de Origem). Para que o efeito dessa nova proposta seja investigado serão comparados os resultados obtidos na simulação da proposta 1 (nova proposta) com os resultados obtidos na simulação da proposta 2, onde apenas um parâmetro é empregado para alocação dos usuários atingidos pela falha dos seus respectivos Agentes de Origem.

Como já foi tido no capítulo 5 onde foi apresentada a nova proposta de tolerância à falha dos Agentes de Origem, a principal diferença existente entre ambas as propostas é que na proposta 2 os usuários afetados pela falha de seu Agente de Origem (HA) tentarão ser alocados no HA de maior carga de tráfego disponível. Porém nem sempre esta opção de membro de backup é a melhor em termos de retardos introduzidos aos pacotes de dados, pois para algumas BTSs essa opção de membro de backup pode introduzir um retardo maior aos pacotes de dados ao comparar-se com outras opções de Agentes de Origem ativos existentes. Portanto, na nova proposta para cada BTS serão investigadas todas as opções de Agentes de Origem ativos com intuito de determinar qual é a melhor opção quanto aos retardos introduzidos aos pacotes de dados.

Em seguida as estações móveis afetadas pela falha do seu HA e que se encontram sob as áreas de coberturas dessas BTSs serão analisadas quanto à introdução de suas cargas de tráfegos neste HA de melhor opção quanto ao retardo médio introduzido aos pacotes de dados. Como os usuários das próximas gerações dos sistemas celulares passarão a consumir com maior intensidade diferentes tipos de serviços de dados, logo serão registradas várias taxas de dados como carga de tráfego. Portanto, para que a gerência de configuração saiba qual o tipo de serviço que um usuário esteja “consumindo” em qualquer instante é proposto a introdução de um campo de informação que tenha esse propósito tanto na lista que associa os endereços IP das diferentes estações móveis com os seus respectivos Care-of-Addresses (listas existentes nos HAs) como na lista de estações móveis visitantes em uma rede estrangeira (listas existentes nos FAs).

Assim, toda vez que as listas das estações móveis dos FAs forem atualizadas o mesmo ocorrerá com as informações de quais tipos de serviços os diferentes usuários estão usufruindo. Logo, no momento em que a gerência de configuração consegue recuperar essas listas de associações dos endereços IP das estações móveis com os seus respectivos CoAs, também é recuperada a informação de qual tipo de serviço cada usuário afetado pela falha de seu HA estava utilizando no momento da ocorrência dessa falha. Assim, a gerência de configuração poderá estimar para cada estação móvel atingida pela falha do seu HA a taxa de dados necessária para o bom desempenho desse serviço no terminal móvel do usuário e poderá alocar essas estações móveis seguindo o grau de prioridade quanto às exigências de retardos para esses serviços.

Com a finalidade de analisar e comparar ambas as propostas foi simulado no cenário já descrito até três falhas nos roteadores da rede de origem (HA). Cada falha de um Agente de Origem ocorreu em instantes de tempos diferentes e seus resultados serão comentados em subseções diferentes.

### 6.2.2.1. Ocorrência da primeira falha

A primeira falha ocorreu no instante 277 segundos da simulação sob o Agente de Origem de número 2 (HA02). A partir de agora serão descritos os resultados dos procedimentos para alocações dos usuários nas opções de Agentes de Origem ativos para ambas as propostas e os resultados obtidos das comparações realizadas entre estas propostas.

Tanto na proposta 1 como na proposta 2 a gerência de desempenho obtém para cada Agente de Origem ativo (HA) o mesmo conjunto de informações para que se desencadeie os procedimentos para a determinação dos membros de backup. Portanto, as informações apresentadas na tabela 46 abaixo são utilizadas por ambas as propostas.

Tabela 46 - Parâmetros monitorados até ocorrência da primeira falha.

Número do HA	Largura de Banda do Link (bits/s)	Largura de Banda Consumida no Link (bits/s)	Largura de Banda Disponível no Link (bits/s)
01	20000000	1542793,85343	18457206,1466
03	20000000	1562864,97725	18437135,0228
04	20000000	1414611,80095	18585388,1991
05	20000000	872022,83699	19127977,6163

Na nova proposta o próximo passo é determinar para cada BTS que possui pelo menos uma estação móvel afetada pela falha do Agente de Origem de número 2 os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados tendo cada HA ativo (livre de falha) como possível membro de backup. Cada uma das 11 tabelas abaixo informa os retardos introduzidos aos pacotes de dados utilizando diferentes Agentes de Origem no instante da falha. Nessas tabelas os Agentes de Origem já estão organizados por ordem crescente quanto ao retardo introduzido aos pacotes de dados.

Tabela 47 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS2.

BTS2	
HAx	Retardo (ms)
HA01	80,6
HA05	90,5625
HA03	92,0625
HA04	102,778571429

Tabela 48 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS5.

BTS5	
HAx	Retardo (ms)
HA04	79,8785714286
HA01	80,6
HA05	83,0125
HA03	84,6125

Tabela 49 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS6.

BTS6	
HAx	Retardo (ms)
HA04	79,8785714286
HA01	80,6
HA05	83,0125
HA03	84,6125

Tabela 50 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS7.

BTS7	
HAx	Retardo (ms)
HA04	81,0785714286
HA01	81,8
HA05	84,2125
HA03	85,8125

Tabela 51 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS8.

BTS8	
HAx	Retardo (ms)
HA04	81,4785714286
HA01	82,2
HA05	84,6125
HA03	86,2125

Tabela 52 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS9.

BTS9	
HAx	Retardo (ms)
HA05	75,0125
HA04	79,8285714286
HA03	84,6125
HA01	88,05

Tabela 53 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS10.

<b>BTS10</b>	
<b>HAx</b>	<b>Retardo (ms)</b>
HA05	75,0125
HA04	79,8285714286
HA03	84,6125
HA01	88,05

Tabela 54 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS11.

<b>BTS11</b>	
<b>HAx</b>	<b>Retardo (ms)</b>
HA05	76,2125
HA04	81,0285714286
HA03	85,8125
HA01	89,25

Tabela 55 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS12.

<b>BTS12</b>	
<b>HAx</b>	<b>Retardo (ms)</b>
HA05	76,6125
HA04	81,4285714286
HA03	86,2125
HA01	89,65

Tabela 56 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS13.

<b>BTS13</b>	
<b>HAx</b>	<b>Retardo (ms)</b>
HA05	67,5625
HA04	72,3785714286
HA03	84,6125
HA01	103,65

Tabela 57 - Primeira falha: opções de HAs como membro de backup para BTS15.

<b>BTS15</b>	
<b>HAx</b>	<b>Retardo (ms)</b>
HA05	68,7625
HA04	73,5785714286
HA03	85,8125
HA01	104,85

Como foi visto nas 11 tabelas acima cada BTS possui um Agente de Origem que introduz o menor retardo médio aos pacotes de dados, e como descrito no quarto procedimento da nova proposta na seção 5.2.1 (Critérios de alocações dos HAs como membros de backup), as Estações Base Transceptoras que possuem em comum o mesmo HA serão filtradas para uma mesma lista de informações. Portanto, foram criadas 3 listas de informações, uma para as BTSs que possuem como a primeira opção de membro de backup o HA01, uma outra lista para as

BTSs que possuem como primeira opção de membro de backup o HA04 e por fim as BTSs que possuem como primeira opção de membro de backup o HA05. Note que para o Agente de Origem de número 3 nenhuma BTS foi filtrada para sua lista como tendo este agente como primeira opção de membro de backup. As três listas de informações podem ser vistas na figura 66 abaixo. Estas três listas já ilustram as Estações Base Transceptoras organizadas por ordem crescente quanto ao retardo médio introduzidos aos pacotes de dados.

HA01	HA04	HA05
BTS02	BTS05	BTS13
	BTS06	BTS15
	BTS07	BTS09
	BTS08	BTS10
		BTS11
		BTS12

Figura 66 - Primeira falha: lista criada para cada HA ativo como 1ª opção de backup.

No procedimento seguinte para cada lista criada no procedimento anterior serão criadas duas listas: uma para as estações móveis atingidas pela falha do HA02 e que utilizam os serviços de dados que possuem taxas de dados definidas como os serviços de Vídeo Conferência e VoIP e uma outra lista para os usuários também atingidos pela falha de seu Agente de Origem (HA02) mas que utilizam serviços que empregam pacotes TCP na camada de transporte, como o serviço FTP. A razão para esta divisão é que os serviços que utilizam pacotes TCP tendem a ter uma taxa de dados (vazão) que tende a aumentar até alcançar a máxima largura de banda do link enquanto não é detectada nenhuma perda de pacotes TCP (enquanto o mecanismo de backoff exponencial não é acionado). Ou seja, a gerência de configuração não teria um valor estimado para as taxas de dados de tais serviços que pudessem ser empregadas no processo de alocação dessas estações móveis. A partir de agora essas duas listas serão referidas como sub-listas dos Agentes de Origem.

Para cada sub-lista dos diferentes HAs essas estações móveis serão organizadas seguindo a mesma ordem em que as BTSs foram organizadas na execução do quarto procedimento, vide figura 66 para verificar a ordem em que as BTSs foram organizadas. Por exemplo, para a lista do HA04 as estações móveis atingidas pela falha do HA02 e que se encontram sob a área de cobertura da BTS06 terão uma maior prioridade de serem alocadas nessa opção de membro de

backup (HA04) em relação às estações móveis atingidas pela falha do HA02 e que estão sob a área de cobertura da BTS07. Convém lembrar que cada Agente de Origem, antes de se tornar membro de backup de um ou mais Agentes de Origem defeituosos, gerencia as atividades de 64 estações móveis. Portanto, na ocorrência da primeira falha existem 64 usuários atingidos. Agora será verificado como ficou a distribuição desses usuários nos demais HAs ativos utilizando a proposta 1 no momento em que a primeira falha ocorreu. Para isso vide a tabela 58 abaixo.

Tabela 58 - Distribuição das estações móveis atingidas pela falha do HA02.

<b>HA01: Número de Estações Móveis (MSs) Atingidas.</b>			
<b>Vídeo Conferência</b>	<b>VoIP</b>	<b>FTP</b>	<b>Total</b>
2	2	0	4

<b>HA04: Número de Estações Móveis (MSs) Atingidas.</b>			
<b>Vídeo Conferência</b>	<b>VoIP</b>	<b>FTP</b>	<b>Total</b>
14	12	6	32

<b>HA05: Número de Estações Móveis (MSs) Atingidas.</b>			
<b>Vídeo Conferência</b>	<b>VoIP</b>	<b>FTP</b>	<b>Total</b>
8	10	10	28

O passo seguinte na proposta 1 é tentar alocar essas estações móveis atingidas pela falha do HA02 e que se encontram sob a área de cobertura das diferentes BTSs, já citadas, nos seus respectivos Agentes de Origem de primeira opção de membro de backup (aquele que possui o menor retardo). Esse processo de alocação dessas estações móveis é executado para cada um dos três Agentes de Origem acima (HA01, HA04 e HA05) da seguinte maneira: primeiro tenta-se alocar as estações móveis que no momento da falha do seu HA (HA02) usufruem dos serviços de Vídeo Conferência e VoIP. Logo dessas estações móveis aquelas que se encontram na área de cobertura da BTS que encabeça a listas de BTSs organizadas por ordem crescente quanto ao retardo introduzido aos pacotes de dados terão uma maior prioridade dentre as demais que possui o mesmo HA como primeira opção de membro de backup. Além disso, dentro desta mesma BTS, lembrando que neste momento apenas a sub-lista de estações móveis que usufruem dos serviços de Vídeo Conferência e VoIP está sendo analisada, será

dada uma maior prioridade as estações móveis que “consomem” o serviço de Vídeo Conferência do que as estações que usufruem do serviço VoIP. Portanto, dentro da mesma BTS os usuários dos serviços de Vídeo Conferência serão os primeiros a serem alocados dos que os usuários do serviço VoIP. Logicamente, cada estação móvel atingida pela falha de seu HA só terá sua carga de tráfego adicionada na sua primeira opção de membro de backup se a carga de tráfego disponível neste mesmo membro de backup for maior ou igual à carga de tráfego adicional.

Imediatamente após serem feitas as alocações das estações móveis da primeira sub-lista começa o processo de alocação das demais estações móveis que pertencem a segunda sub-lista (estações que usufruem do serviço FTP). A tentativa de alocação de cada estação móvel dessa segunda sub-lista será feita na sua respectiva primeira opção de membro de backup quanto ao menor retardo introduzido aos pacotes de dados. Como neste tipo de serviço não se tem uma estimativa da taxa de dados a ser empregada para o processo de alocação dessas estações móveis como já foi tido anteriormente, a carga de tráfego disponível desse HA membro de backup após ser feita a alocação da última estação móvel da primeira sub-lista deve ser dividida pelo número de estações móveis dessa segunda sub-lista. Após essa divisão, observou-se que o resultado dessa divisão foi bem maior do que o valor do parâmetro limiar de largura de banda que é proposto na nova proposta (100Kb/s), ou seja, todas as estações móveis que utilizavam o serviço de transferência de dados foram alocadas nos seus Agentes de Origem de primeira opção de membro de backup.

Após a execução da primeira tentativa do processo de alocação de todas essas 64 estações móveis empregando os procedimentos da nova proposta foi observado que todas essas estações móveis foram alocadas nas suas melhores opções de membro de backup quanto ao menor retardo introduzido aos pacotes de dados. Portanto, na nova proposta o Agente de Origem de número 1 passou a gerenciar a carga de tráfego de mais quatro estações móveis além das 64 estações que ele já gerenciava. O Agente de Origem de número 4 passou a gerenciar a carga de tráfego de mais 32 estações móveis e por fim o Agente de Origem de número 5 passou a gerenciar a carga de tráfego de mais 28 estações móveis.

Todos os procedimentos executados para cada Agente de Origem determinado como melhor opção de membro de backup ao empregar-se a nova

proposta para alocação das estações móveis atingidas pela falha do HA02 serão agora executados somente no Agente de Origem de maior carga de tráfego disponível (HA05). A tabela 59 abaixo ilustra as opções de membro de backup organizadas por ordem decrescente quanto à carga de tráfego disponível nestes Agentes de Origem. Caso exista alguma estação móvel que não possa ser alocada neste agente de maior carga de tráfego disponível será tentado o segundo HA de maior carga de tráfego disponível e assim por diante até que esta estação seja alocada em um dos membros de backup.

Tabela 59 - Falha do HA02: HAs organizados por ordem decrescente.

Opções de membros de backup	Carga de tráfego disponível (bit/s)
HA05	19127977,6163
HA04	18585388,1991
HA01	18457206,1466
HA03	18437135,0228

Executando todos esses procedimentos no primeiro Agente de Origem de maior carga de tráfego disponível (HA05) observou-se que todas aquelas 64 estações móveis foram alocadas neste Agente de Origem. Logo este Agente de Origem passou a gerenciar as atividades de 128 estações móveis a partir da ocorrência da primeira falha.

A partir de agora serão ilustrados gráficos comparando os retardos médios introduzidos aos pacotes de dados ao utilizar-se os membros de backup determinados pelos procedimentos de ambas às propostas. Para cada uma das 11 BTSs será ilustrado um gráfico. Lembrando que o termo *Carga* nos gráficos a seguir refere-se a proposta 2 e logicamente esse termo está associado ao HA05 que alocou a carga de tráfego de todas as estações móveis atingidas. O termo *Carga\_e\_Retardo* refere-se a nova proposta (proposta 1) e está associado a diferentes HAs como membro de backup.

As estações móveis que foram atingidas pela falha do HA02 e que estavam sob a área de cobertura da BTS2 no instante da ocorrência desta falha foram alocadas pelo HA01 na nova proposta. Já utilizando a proposta 2 esta alocação foi feita no HA05. O gráfico da figura 67 compara os retardos introduzidos aos pacotes de dados que partem ou se destinam a BTS2 empregando ambas as propostas. Como não se sabe quanto tempo essas estações móveis permaneceram

sob a área de cobertura desta BTS esses retardos foram medidos a partir da ocorrência dessa falha até o final da simulação (680 segundos).

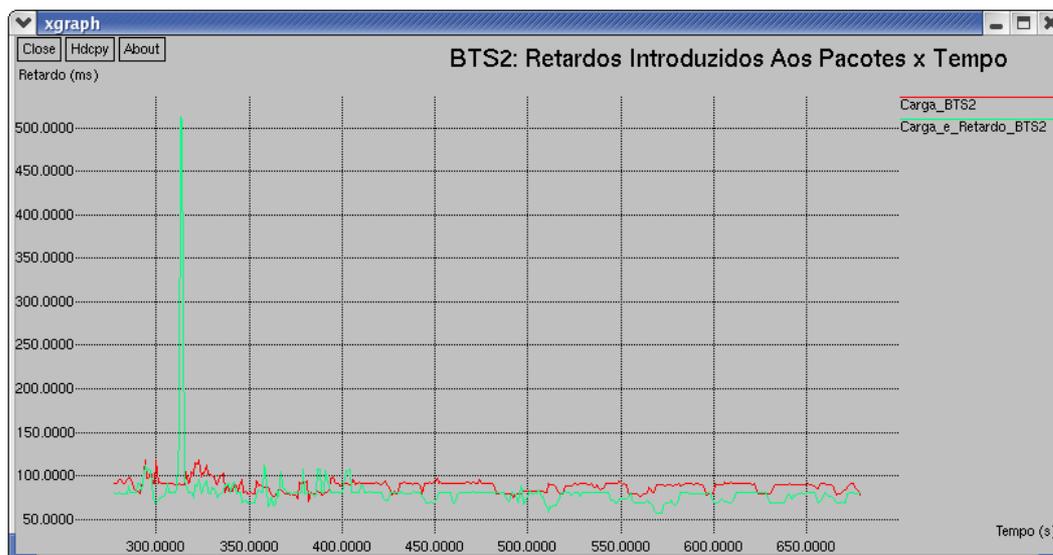


Figura 67 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS2.

No gráfico acima é possível observar que embora a curva que descreve o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes na proposta 1 está um pouco abaixo em relação à curva que descreve o comportamento dos retardos ao se utilizar a proposta 2, em boa parte do tempo, nota-se que por alguns instantes a curva de retardo da nova proposta apresenta retardos maiores do que a curva da proposta 2, especialmente no instante 313 segundos onde foi registrado um pico de retardo de 512,33 ms. Essa proximidade entre essas curvas que ocorrem especialmente nos instantes imediatamente após 277 segundos pode ser explicada pelo fato de que o HA05 ter sido a segunda opção de membro de backup quanto ao retardo introduzido aos pacotes de dados, isto pode ser visto na tabela 47 acima. Já o fato de nossa proposta apresentar por alguns instantes valores maiores de retardos comparados com os valores medidos na proposta 2 especialmente nos instantes imediatamente após o instante 277 segundos pode ser explicada pelo fato do HA01 ser a penúltima opção de membro de backup quanto a carga de tráfego disponível, isto pode ser verificado na tabela 59 acima.

Conclui-se que se essas estações móveis que estão sob a área de cobertura dessa BTS permaneceram sob esta área de cobertura apenas por um período curto de tempo (até um pouco mais de 400 segundos de simulação) a nova proposta realmente não apresenta grandes vantagens em relação à proposta 2. Isto é chega a apresentar um desempenho até pior devido ao grande pico de retardo registrado no

instante 313 segundos. Porém se essas mesmas estações permaneceram sob esta área de cobertura até o fim da simulação, é possível afirmar que a proposta 1 apresentou uma opção melhor de membro de backup especialmente a partir do instante 400 segundos da simulação.

Os quatro próximos gráficos ilustram as comparações dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao se utilizar ambas as propostas para as Estações Base Transceptoras de número 5, 6, 7 e 8 e podem ser vistos nas figuras 68, 69, 70 e 71 respectivamente.

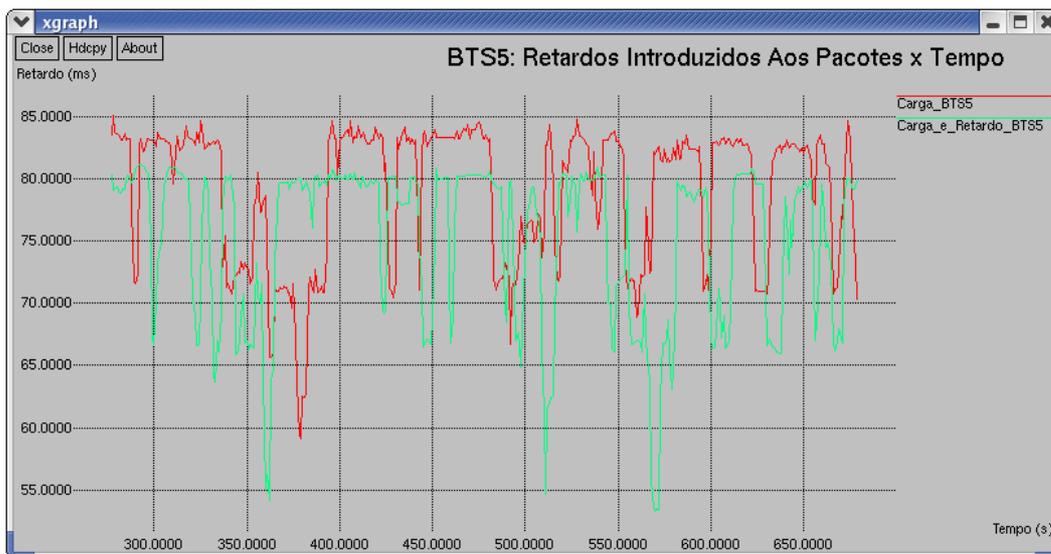


Figura 68 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS5.

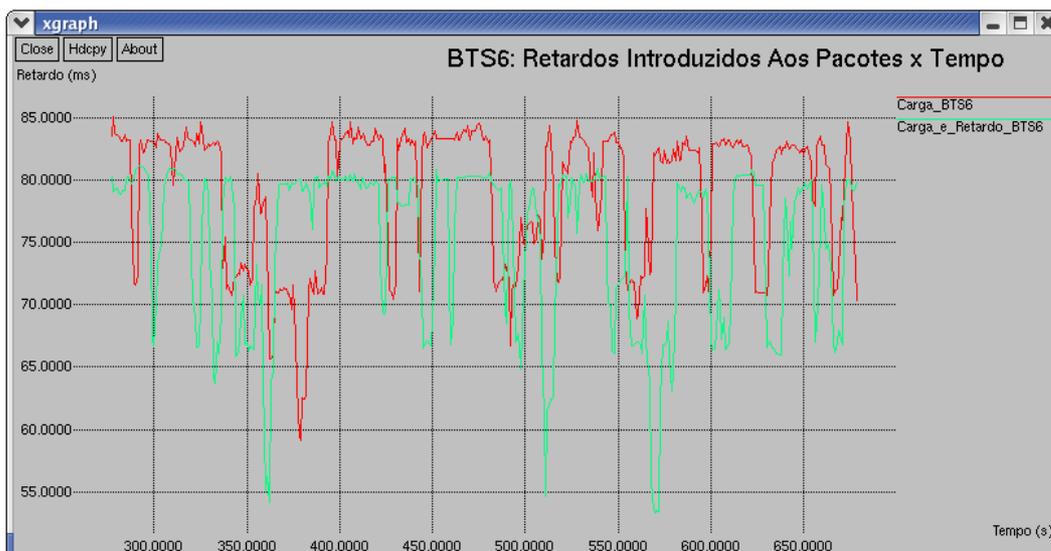


Figura 69 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS6.

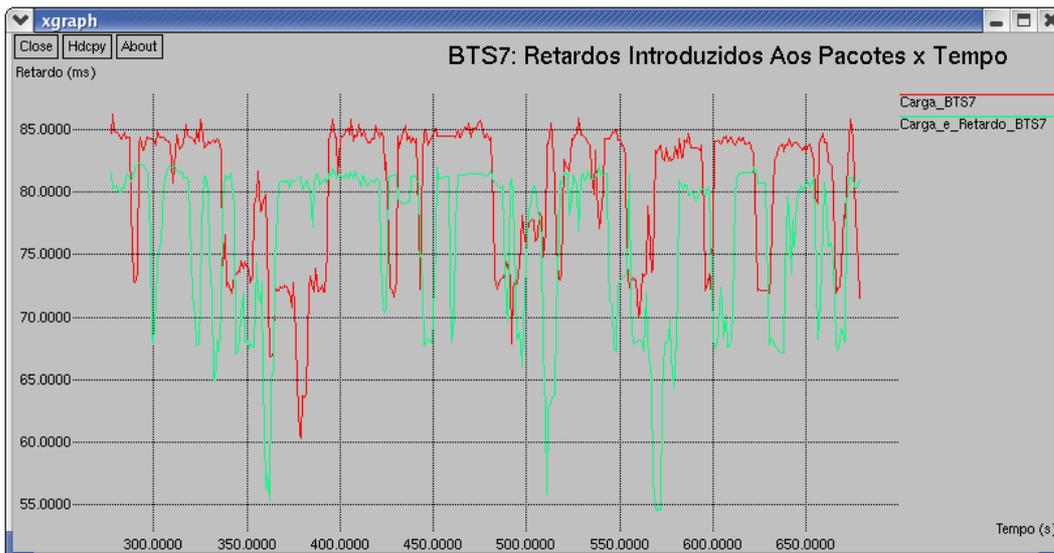


Figura 70 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS7.

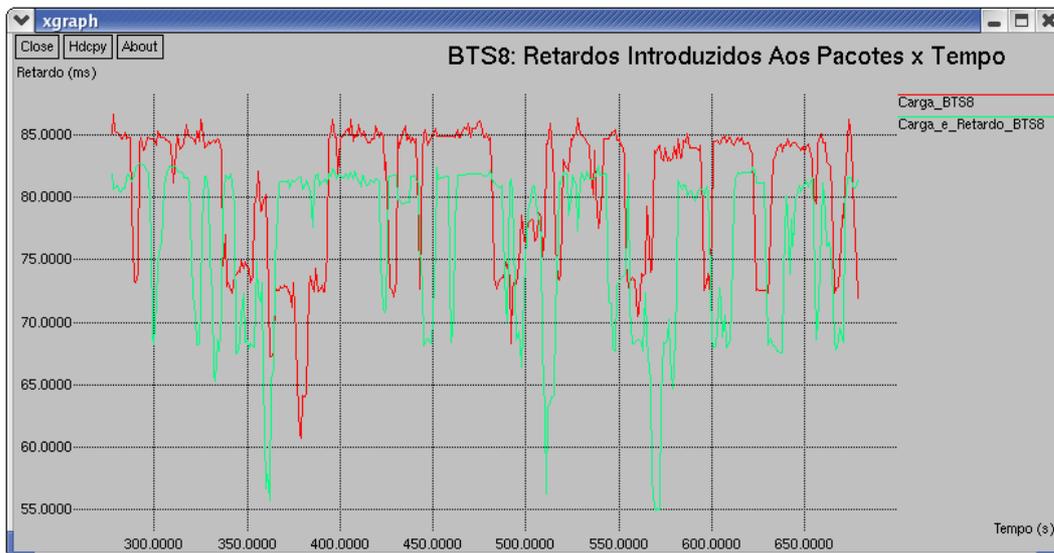


Figura 71 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS8.

Para cada proposta foi observado que esses quatro gráficos apresentaram curvas bem parecidas para essas 4 Estações Base Transceptoras, o que já era esperado pois essas BTSs pertencem a uma mesma Estação Base Controladora. Ou seja, para cada membro de backup das duas propostas em análise há na maior parte do tempo um mesmo caminho lógico que liga estas BTSs aos seus respectivos membro de backup. As pequenas diferenças existentes entre os retardos dessas curvas são provenientes dos retardos fixo de propagação e de enfileiramento dos pacotes de dados, sobretudo nos links que conectam essas BTSs a sua BSC. Convém lembrar que para as estações móveis atingidas pela falha do HA02 e que se encontram na área de cobertura dessas 4 BTSs no

momento da ocorrência dessa primeira falha, o HA04 foi a opção de membro de backup encontrada para alocar essas estações móveis ao se executar os procedimentos da nova proposta enquanto para a proposta 2, o HA05 foi a opção de backup encontrada.

Nestes quatro gráficos foi possível verificar que a nova proposta apresentou melhores resultados durante toda a simulação do que a proposta 2. Isso pode ser explicado pelo fato de que na nova proposta o Agente de Origem de número 4 além de ser a primeira opção de membro de backup quanto ao menor retardo introduzido aos pacotes de dados é também a segunda opção de membro de backup quanto a carga de tráfego disponível. Esse fato vem confirmar que a melhor forma de se determinar os membros de backup dos agentes defeituosos é analisando os dois parâmetros: retardo introduzido aos pacotes de dados e a carga de tráfego disponível nesses agentes ativos livres de falha.

Agora serão analisadas as Estações Base Transceptoras que no momento da falha do HA02 possuíam em suas respectivas áreas de cobertura as estações móveis atingidas por essa falha e que foram alocadas no HA05 ao se executar os procedimentos da nova proposta. Portanto, em ambas as propostas essas estações foram alocadas no HA05. Primeiro são ilustrados os gráficos para as 4 BTSs (BTS9, BTS10, BTS11 e BTS12) que estão conectadas a Estação Base Controladora de número 3. Os gráficos para cada uma dessas BTSs podem ser vistos nas figuras 72, 73, 74 e 75 respectivamente.

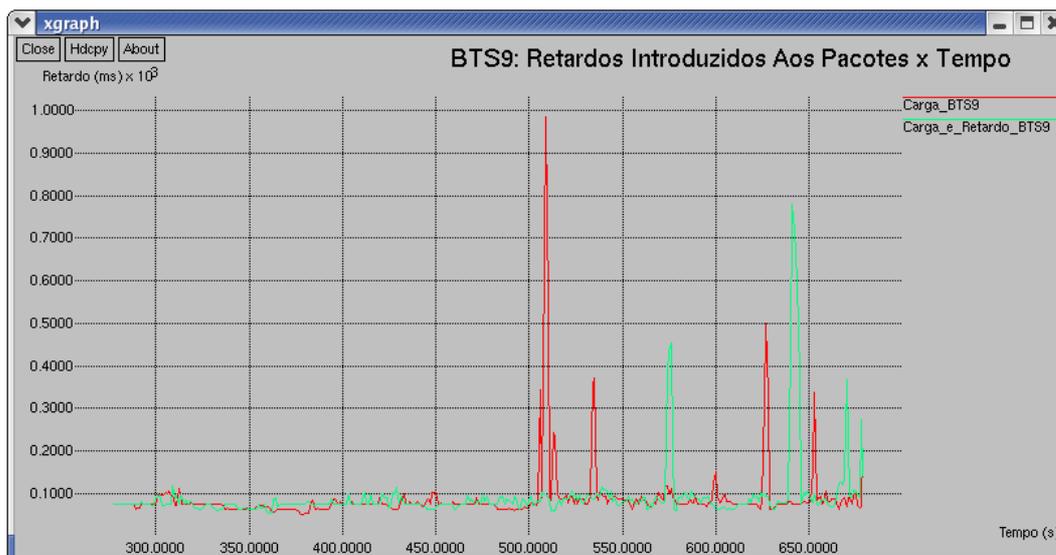


Figura 72 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS9.

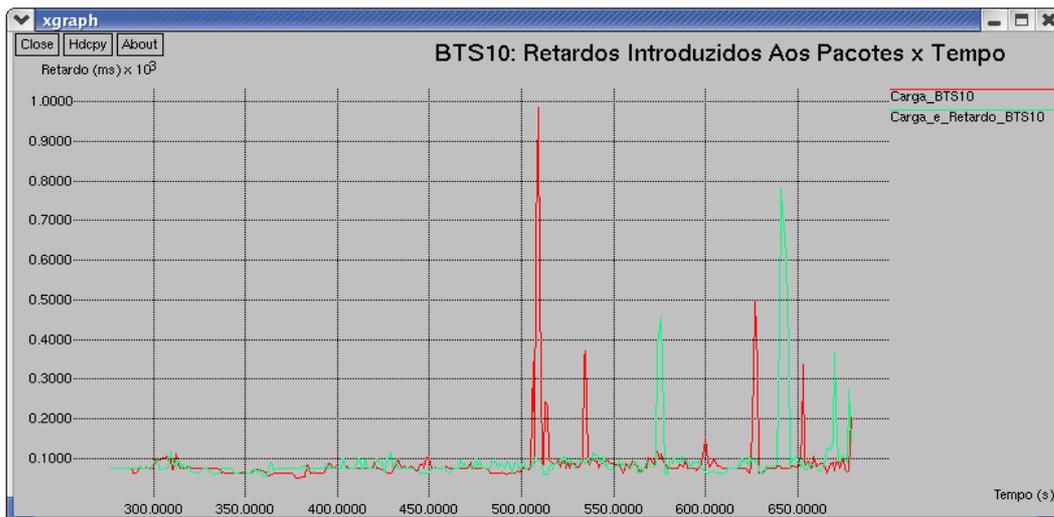


Figura 73 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS10.

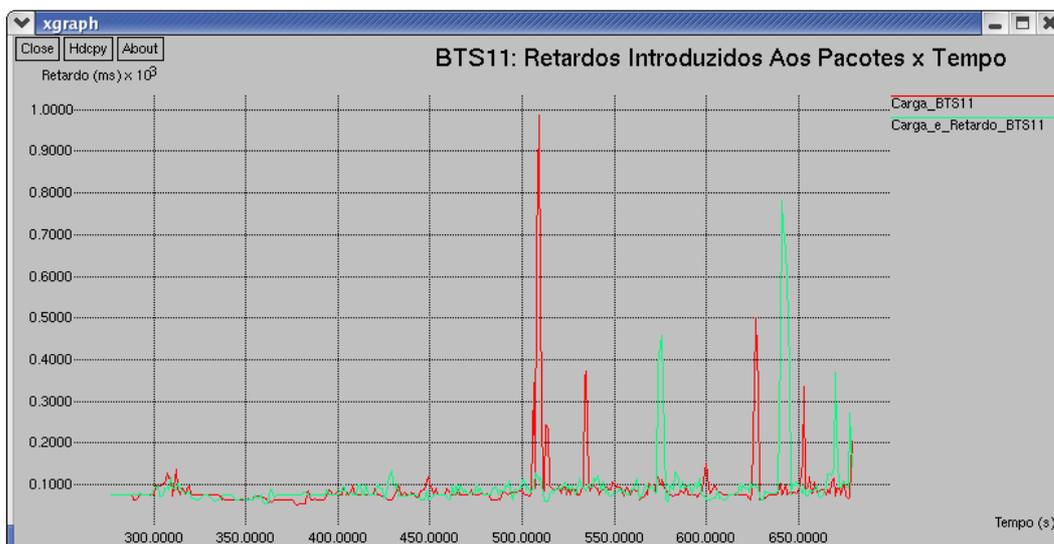


Figura 74 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS11.

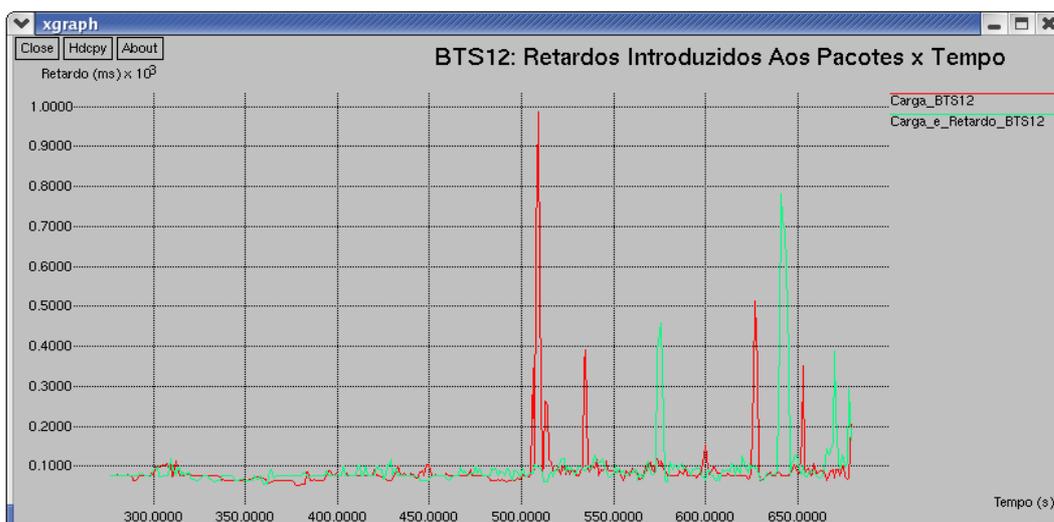


Figura 75 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS12.

Novamente e como foi explicado a três parágrafos acima, para cada proposta simulada foi notada uma similaridade entre as curvas que descrevem os comportamentos dos retardos introduzidos aos pacotes de dados para essas 4 BTSs ao longo da simulação. Essas similaridades podem ser vistas melhor quando as curvas dessas 4 BTSs são colocadas no mesmo gráfico, como é ilustrado na figura 76 abaixo.

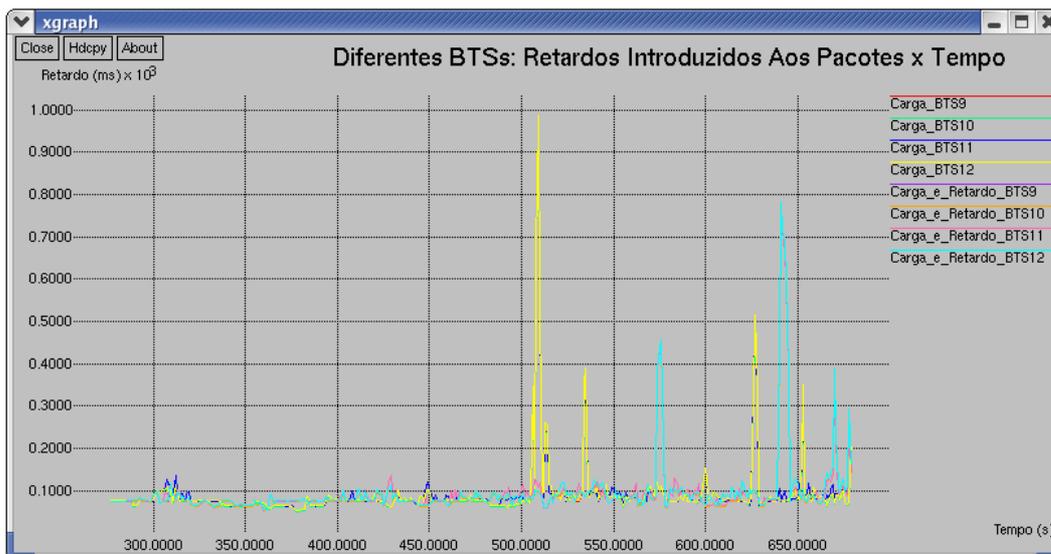


Figura 76 - Primeira falha: Retardos médios medidos até as diferentes BTSs.

Outra informação a ser destacada destes 4 gráficos é a proximidade existente em quase todo o tempo da simulação nos valores dos retardos para as curvas dessas duas propostas. Isso vem mostrar que o número de estações móveis a mais, que esse Agente de Origem gerencia na proposta 2 em relação ao número que este mesmo agente gerencia na proposta 1, não influencia em demasia na sobrecarga do buffer desse Agente Estrangeiro. Conseqüentemente não influencia nos retardos medidos. Entretanto foi notado a ocorrência de picos de retardos de quase 1 segundo em instantes imediatamente após 500 segundos da simulação da proposta 2.

Se estas estações móveis permaneceram sob a área de cobertura dessas BTSs até o instante próximo de 500 segundos da simulação não houve nenhuma vantagem significativa para essas estações móveis em serem alocadas nesse HA empregando os procedimentos da nova proposta ou da proposta 2. Já se estas estações móveis permaneceram durante toda a simulação nessas mesmas áreas de cobertura fica claro que a nova proposta alternou momentos bons e ruins quanto

aos retardos medidos em relação a proposta 2 a partir do instante 500 segundos da simulação. Os “melhores momentos” da nova proposta em relação a simulação da proposta 2 podem ser vistos nos instantes de 508, 509 e 510 segundos da simulação, pois para esses instantes ocorreram grandes picos de retardos na simulação da proposta 2 que não foram observados na simulação da nova proposta. Os “piores momentos” observados nessa nova proposta ocorreram quando foram registrados picos de retardos levemente maiores em relação aos picos de retardos medidos na proposta 2, porém é possível afirmar que a partir do instante 500 segundos de simulação a nova proposta apresentou um desempenho um pouco melhor uma vez que não foram registrados os picos de retardos de quase 1s como foram registrados na proposta 2.

Agora serão analisadas as duas Estações Base Transceptoras (BTS13 e BTS15) que estão conectadas a Estação Base Controladora de número 4 e que possuíam no momento da falha do HA02 algumas estações móveis sob suas respectivas áreas de cobertura. Essas estações móveis também foram alocadas no HA05 ao empregar-se a nova proposta para alocação de tais estações móveis. Os gráficos para cada uma dessas BTSs podem ser vistos nas figuras 77 e 78.

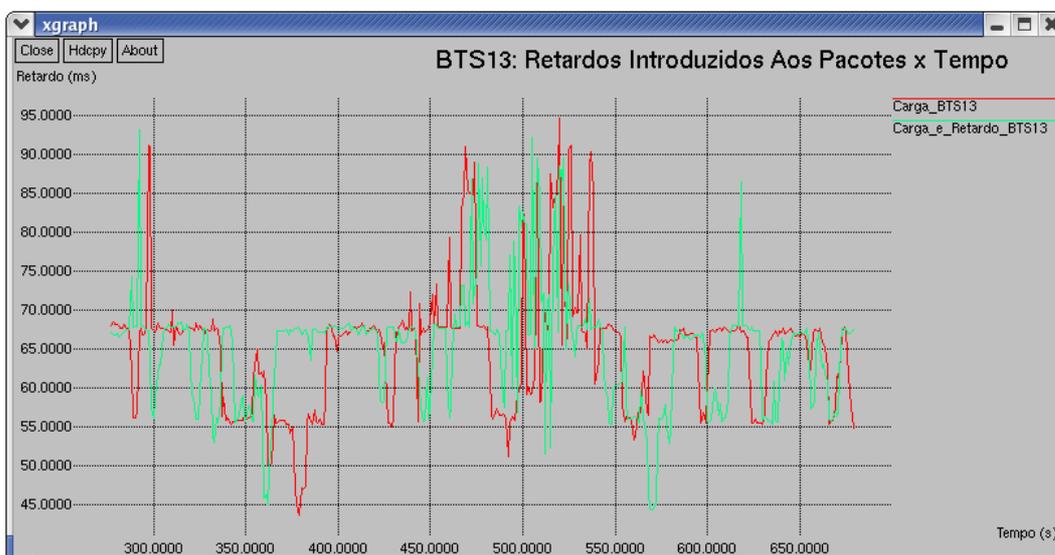


Figura 77 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS13.

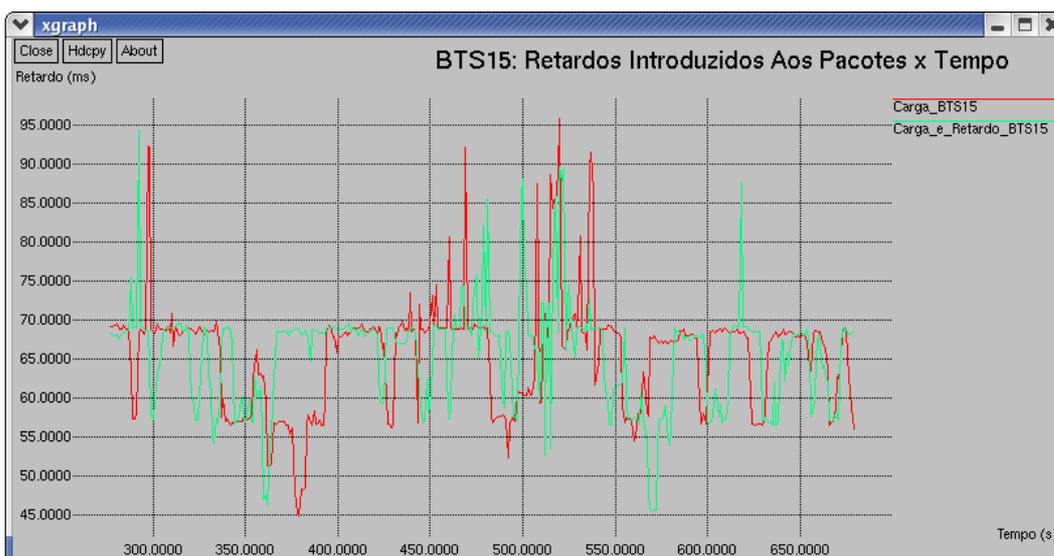


Figura 78 - Primeira falha: Retardos médios medidos até BTS15.

Novamente observa-se a proximidade existente nos valores dos retardos para as curvas dessas duas propostas, pois como foi comentado anteriormente o número a mais de estações móveis que HA05 aloca ao utilizar a proposta 2 em relação ao número que este mesmo agente aloca ao empregar a proposta 1 não chega a influenciar nos retardos medidos.

#### 6.2.2.2. Ocorrência da segunda falha

A segunda falha ocorreu no instante 344 segundos da simulação sob o Agente de Origem de número 4 (HA04). Todos os resultados das execuções dos procedimentos para a determinação dos Agentes de Origem como membro de backup na ocorrência da segunda falha estão descritos no APÊNDICE C.

Agora serão analisadas as curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao se utilizar as propostas 1 e 2 para alocar as estações móveis atingidas pela falha do HA04 e que no momento desta falha estavam sob as áreas de cobertura das Estações Base Transceptora de número 2 e 4. Na proposta 1 estas estações móveis foram alocadas no HA01, enquanto na proposta 2 como descrito no APÊNDICE C essas estações foram alocadas no HA03. Os gráficos das figuras 79 e 80 comparam essas curvas de retardos ao empregar-se as duas propostas para alocação de tais estações móveis.

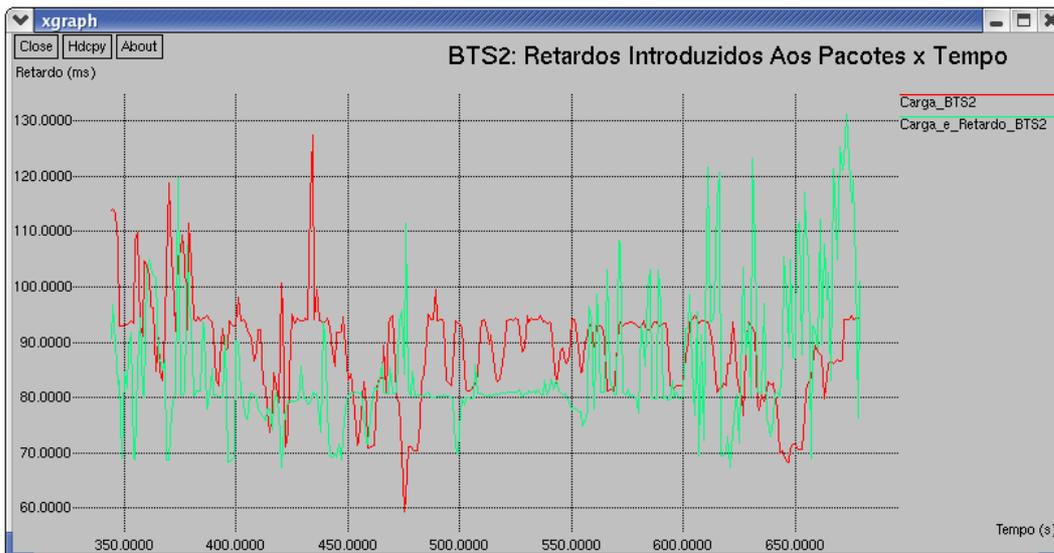


Figura 79 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS2.

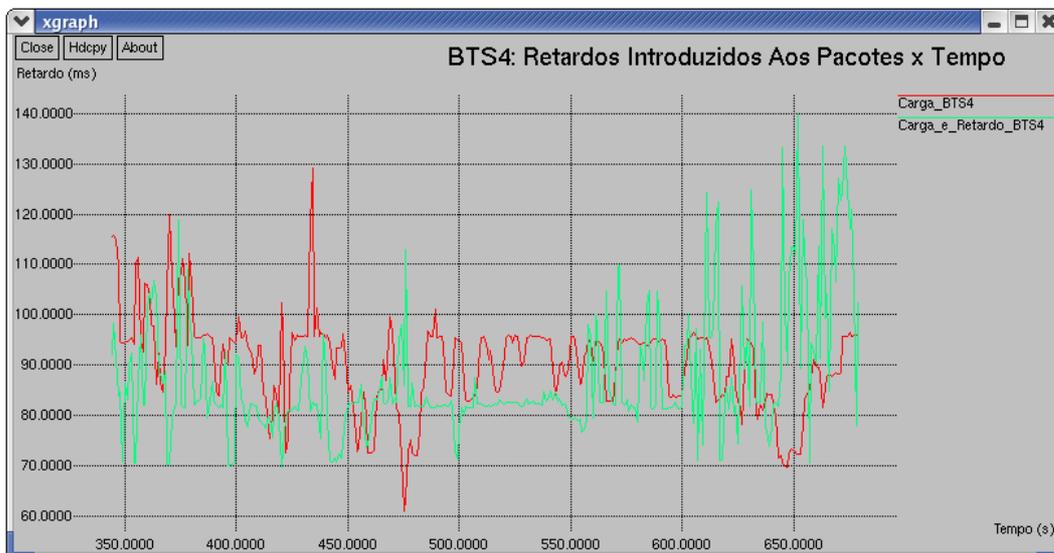


Figura 80 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS4.

Nos dois gráficos acima foi possível notar que para o intervalo de tempo de 344 à 558 segundos de simulação, a proposta 1 apresentou um desempenho quase igual ou um pouco melhor do que a proposta 2, com exceção do ligeiro pico de retardo de um pouco mais de 110 ms que foram medidos para ambas as BTSs no instante 476 segundos da simulação. Já para o intervalo de 558 à 680 segundos da simulação da nova proposta apresentou um péssimo desempenho comparado com a simulação da proposta 2. Portanto, se essas estações móveis permaneceram sob a área de cobertura dessas BTSs para o primeiro intervalo de tempo citado, não houve uma grande vantagem para essas estações móveis em serem alocadas no HA01 (proposta 1) ou no HA03 (proposta 2). Contudo, não se pode dizer o

mesmo para o segundo intervalo de tempo citado, pois ficou claro que a proposta 2 apresentou um melhor desempenho.

A próxima análise será feita para as estações móveis que no momento da falha do HA04 estavam sob a área de cobertura das 4 Estações Base Tranceptoras ligadas a mesma Estação Base Controladora (BSC02), ou seja, BTS5, BTS6, BTS7 e BTS8. Essas estações móveis também foram alocadas no HA01 ao se utilizar a proposta 1 para alocação de tais estações móveis. A comparação das curvas de retardos medidas para ambas as propostas podem ser vistas na figuras 81, 82, 83 e 84.

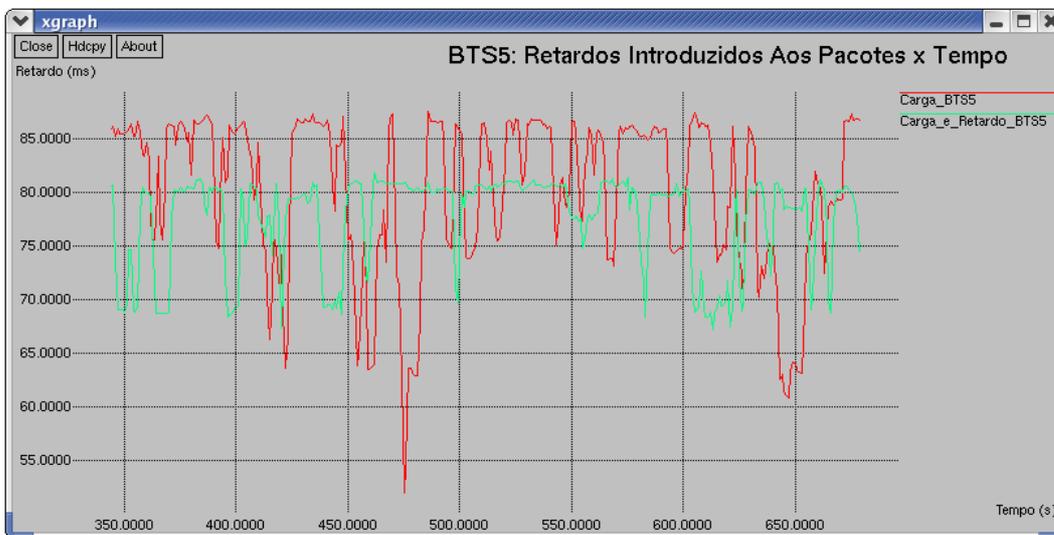


Figura 81 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS5.

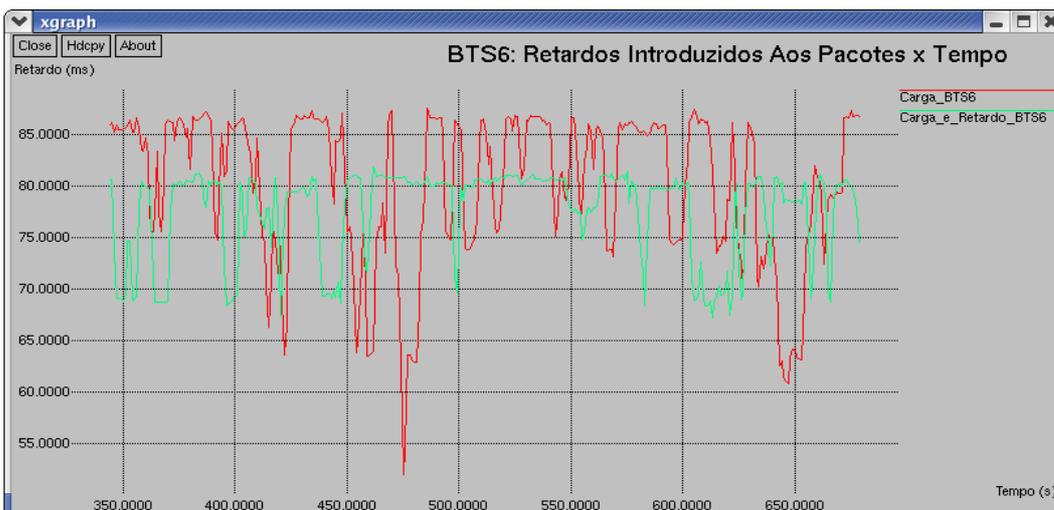


Figura 82 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS6.

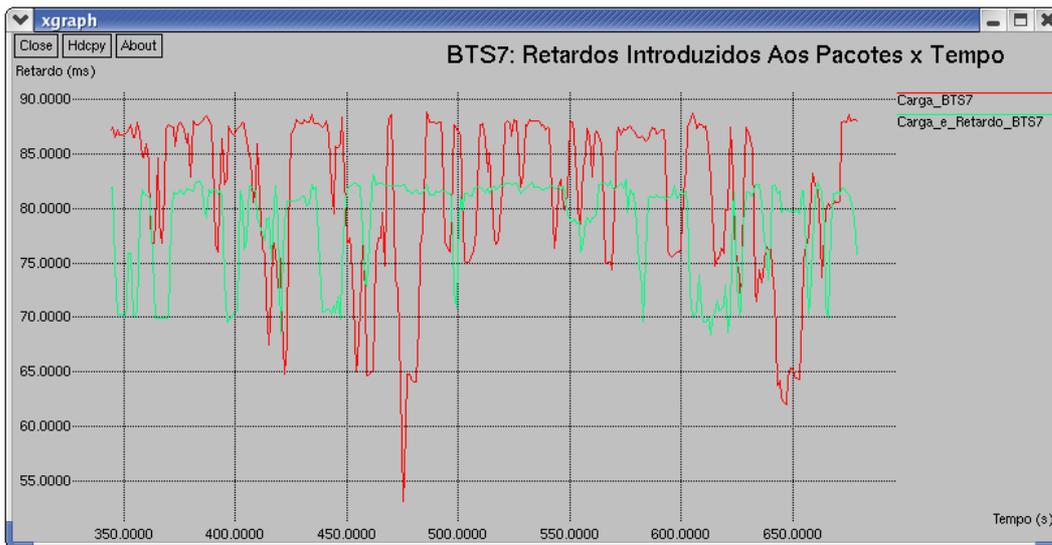


Figura 83 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS7.

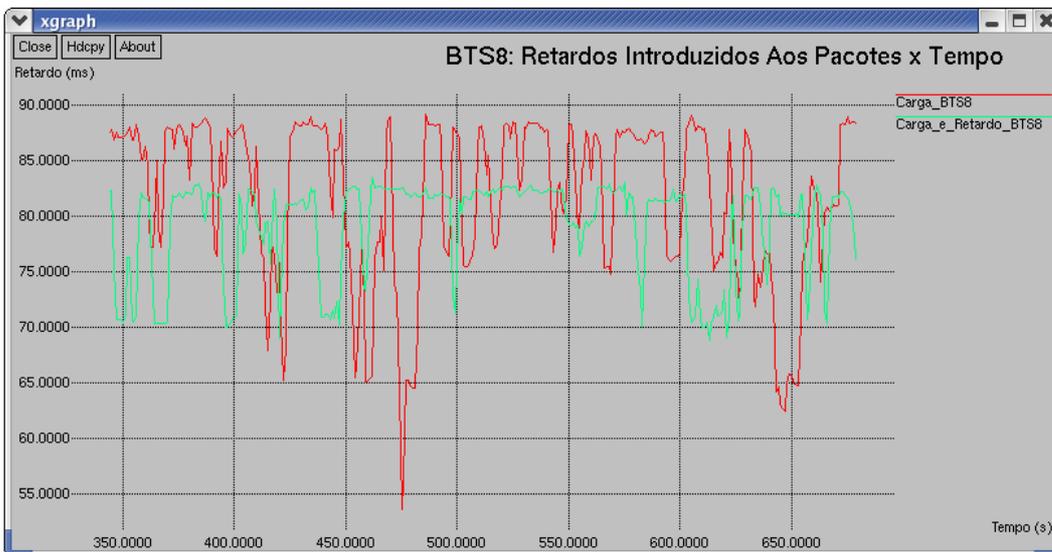


Figura 84 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS8.

Nestes 4 gráficos acima ficou bem notório que o emprego da nova proposta para alocação dessas estações móveis apresentou um desempenho melhor ao longo de toda a simulação em relação ao emprego da proposta 2. Esse fato permite afirmar até este momento dessas análises que principalmente para os instantes imediatamente após a ocorrência de alguma falha a nova proposta quando não apresentou um desempenho melhor comparado com a utilização da proposta 2, ela apresentou um desempenho quase semelhante. Essa restrição quanto aos instantes imediatamente após a ocorrência de falha de algum Agente de Origem é compreensível pelo fato das propostas de determinações dos

membros de backup que não empregam redundâncias de hardwares basearem-se em valores de parâmetros coletados até o instante da ocorrência de tal falha.

O fato de estas BTSs apresentarem curvas de retardos bem parecidas já não é nenhuma novidade pois estas 4 BTSs estão ligadas a uma mesma Estação Base Controladora. A proximidade entre os valores dos retardos para essas curvas podem ser vistas na figura 85 abaixo.

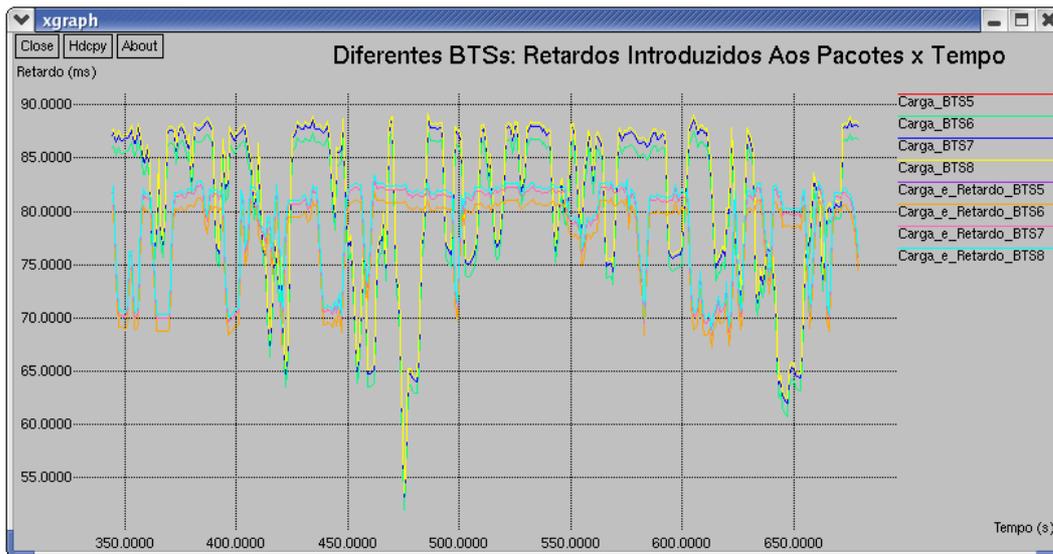


Figura 85 - Segunda falha: Retardos médios medidos até as diferentes BTSs.

Prosseguindo com a investigação serão analisadas agora as curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao empregar-se ambas as propostas para alocar as estações móveis atingidas pela falha do HA04 e que no momento desta falha estavam sob a área de cobertura das Estações Base Transceptora de número 9, 10, 11 e 12. Na nova proposta estas estações móveis foram alocadas no HA05. Vale lembrar novamente que na proposta 2 estas estações foram alocadas no HA03. Os gráficos que ilustram as comparações entre as curvas de retardos de ambas as propostas podem ser vistas nas figuras 86, 87, 88 e 89.

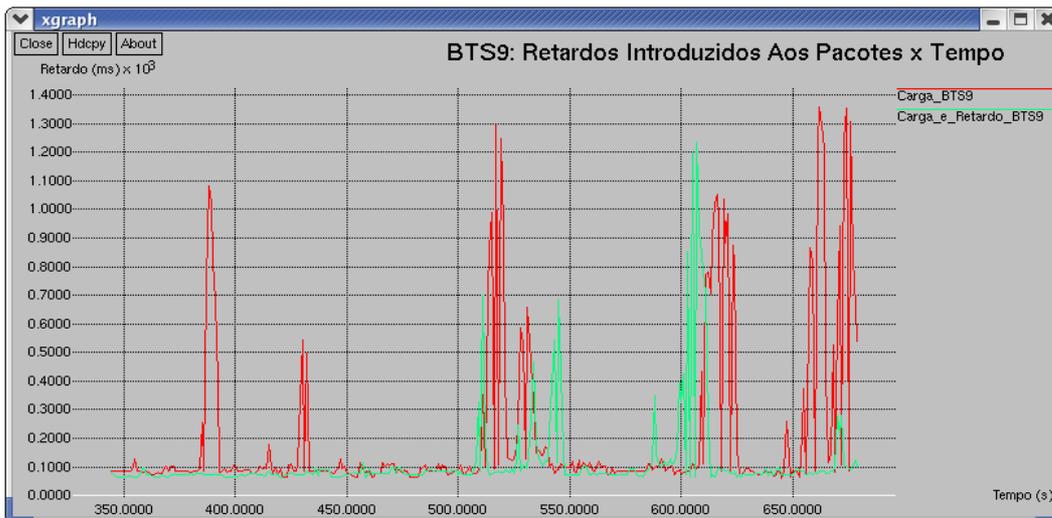


Figura 86 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS9.

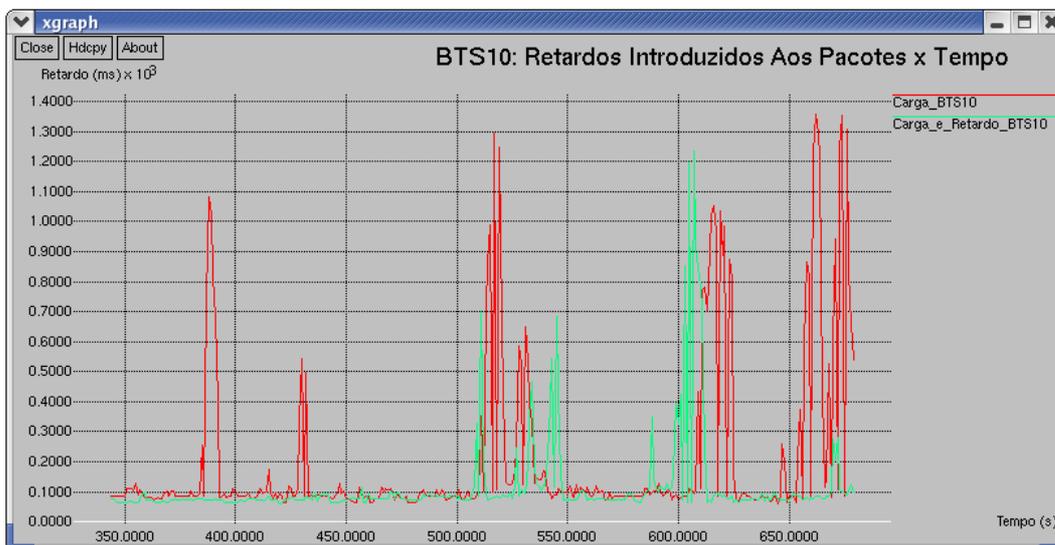


Figura 87 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS10.

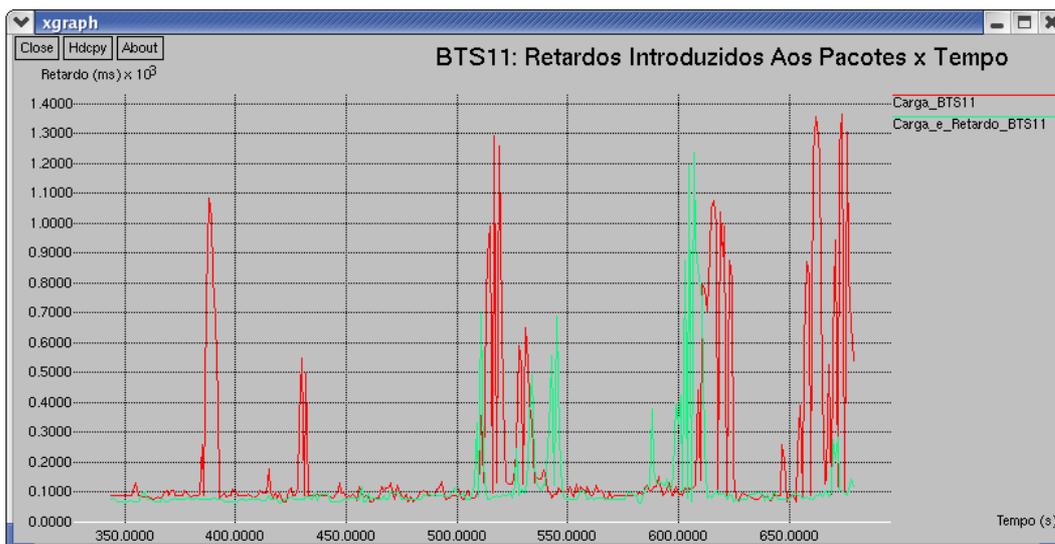


Figura 88 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS11.

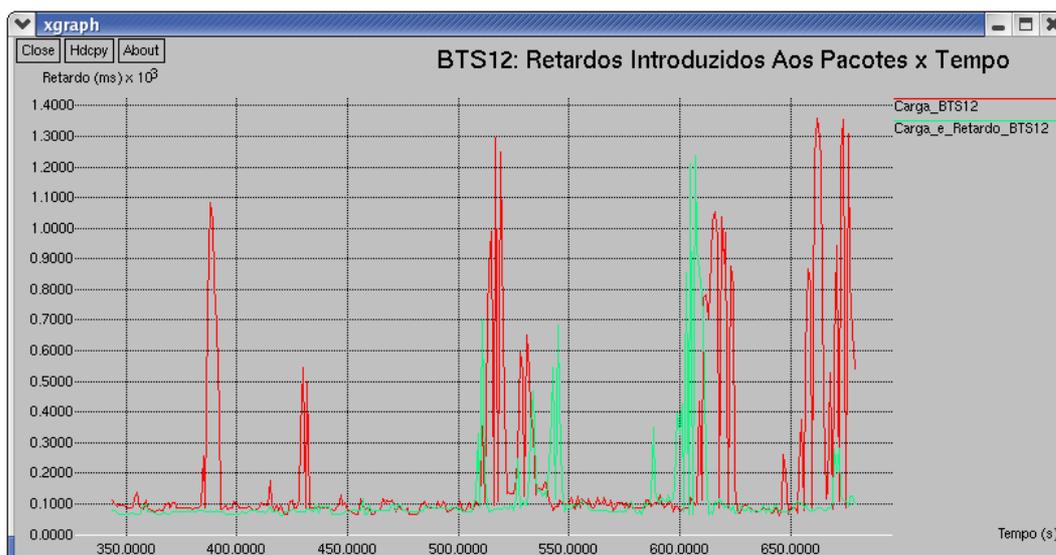


Figura 89 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS12.

Mais uma vez observa-se em grande parte da simulação que a proposta 1 apresentou melhores resultados do que a simulação da proposta 2. O fato mais marcante entre as curvas de retardos destas duas propostas é a ausência de picos de retardos na proposta 1 no intervalo de tempo de 344 a um pouco mais de 500 segundos de simulação. Isso vem ratificar o comentário sobre o bom desempenho da nova proposta principalmente em instantes imediatamente após a ocorrência de alguma falha (falha do Agente de Origem).

A próxima análise será feita para as estações móveis que no momento da falha do HA04 estavam sob a área de cobertura das 4 Estações Base Tranceptoras ligadas a mesma Estação Base Controladora (BSC04), ou seja, BTS13, BTS14, BTS15 e BTS16. Essas estações móveis também foram alocadas no HA05 ao empregar-se a proposta 1 para alocação de tais estações móveis. A comparação das curvas de retardos medidas para ambas as propostas podem ser vistas nas figuras 90, 91, 92 e 93.

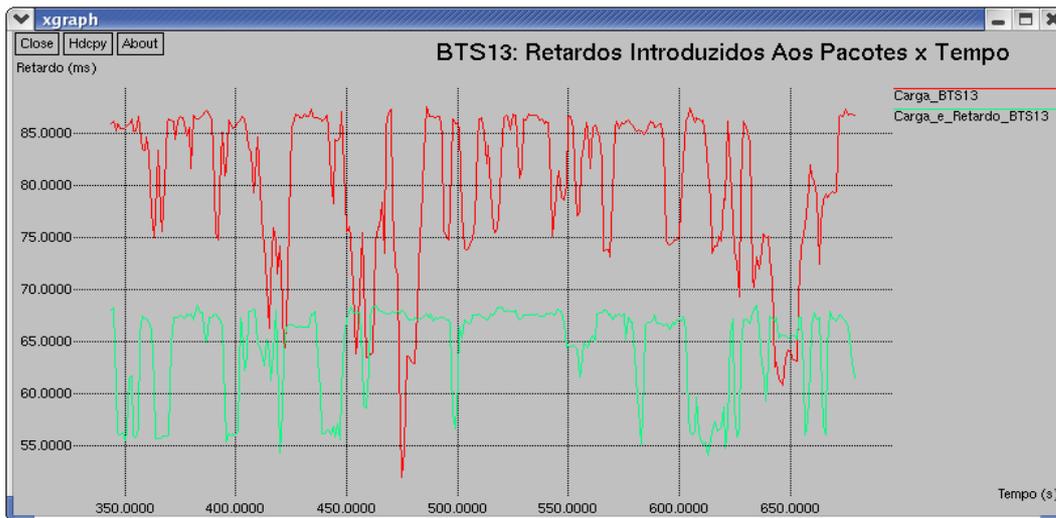


Figura 90 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS13.

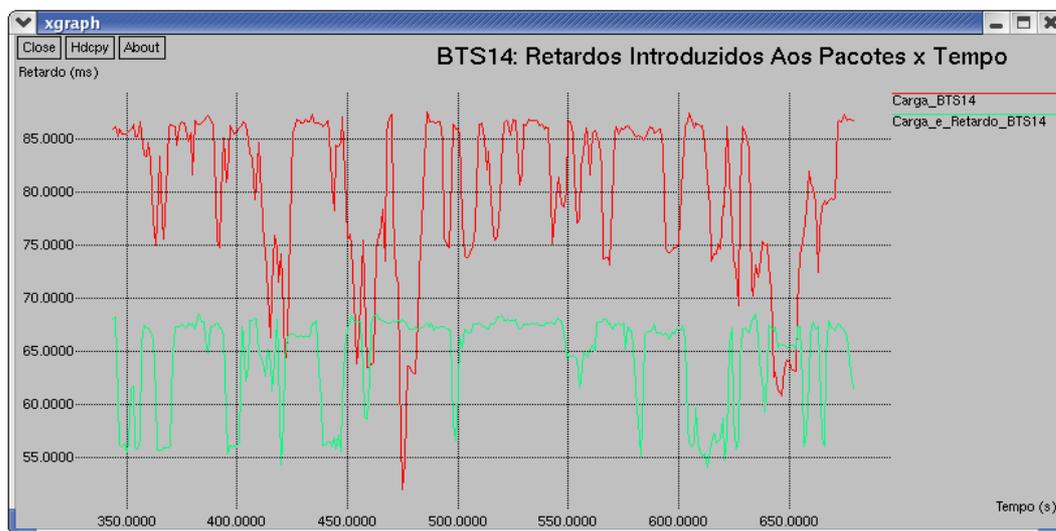


Figura 91 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS14.

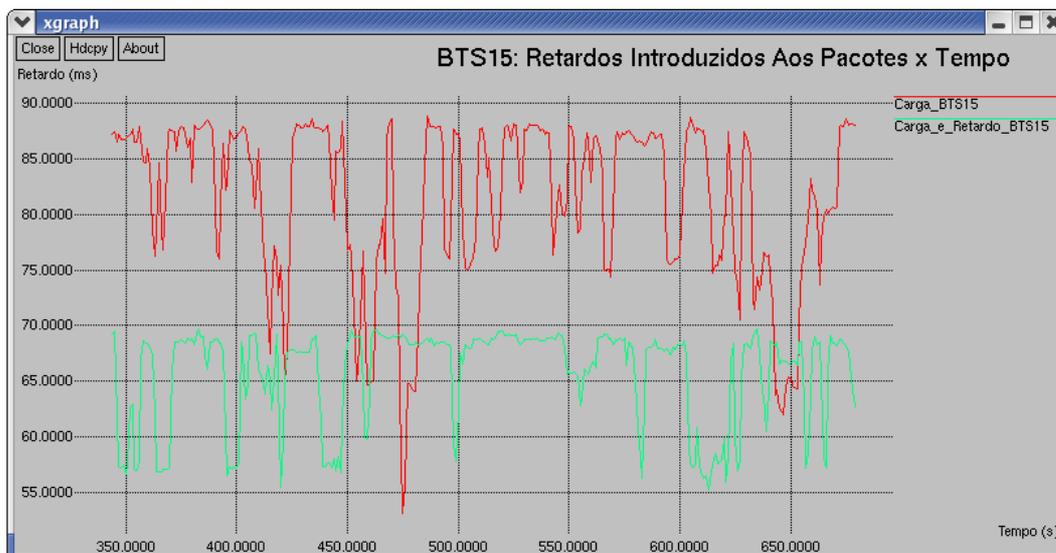


Figura 92 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS15.

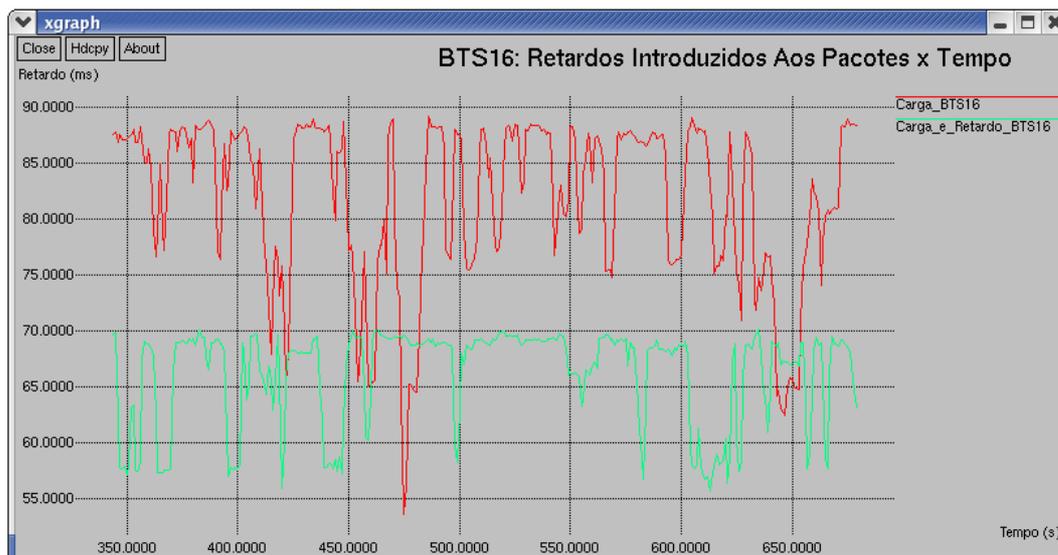


Figura 93 - Segunda falha: Retardos médios medidos até BTS16.

Nestes quatro gráficos observou-se que a proposta 1 apresentou ótimo desempenho em relação a simulação da proposta 2. Esse ótimo desempenho pode ser explicado pelo fato de que na nova proposta as melhores opções de membro de backup são aquelas que apresentam os menores retardos introduzidos aos pacotes de dados. Logo, mas nem sempre estas opções aparecem em regiões (parte da rede) mais próximas da rede onde foi detectada a ocorrência de tal falha, já que os retardos fixos de propagação dos diversos links estão implicitamente envolvidos nessa situação. Em contrapartida, na proposta 2 não ocorre esse fato na maioria das vezes, pois o grande objetivo desta proposta é alocar as estações móveis atingidas pela falha de seu Agente de Origem na primeira opção de membro de backup que possuem a maior carga de tráfego disponível. Sendo assim essa proposta não tem uma maior preocupação quanto ao retardo introduzido aos pacotes de dados como a nova proposta tem. O que foi comentado neste parágrafo pode ser verificado nas tabelas 90, 91, 92 e 93 do APÊNDICE C. Portanto, é possível notar que para o momento da ocorrência da falha do HA04 há uma diferença de quase 19 ms entre o HA03 (proposta 2) e o HA05 (proposta 1).

Finalmente serão analisadas nas duas últimas Estações Base Transceptoras que possuíam estações móveis atingidas pela falha do HA04 no momento que esta falha ocorreu. Ou seja, serão analisadas as curvas de retardos para essas estações móveis que se encontravam sob as áreas de cobertura das Estações Base Transceptoras de número 17 e 19 no momento da ocorrência da segunda falha e que foram alocadas no HA05 ao empregar-se a proposta 1 para alocação de tais

estações móveis. Ambas as BTSs estão ligadas a mesma Estação Base Controladora (BSC05). Como ocorreu para todas BTSs que estão conectadas a uma mesma BSC houve uma grande aproximação entre os valores de retardos medidos para ambas as BTSs na simulação das duas propostas. Além disso, notou-se que a proposta 1 também apresentou um ótimo desempenho ao longo de toda a simulação em relação a simulação da proposta 2, o que ratifica o comentário feito para as 4 BTSs anteriores. As observações feitas nesse parágrafo podem ser vistas no gráfico da figura 94 logo abaixo.

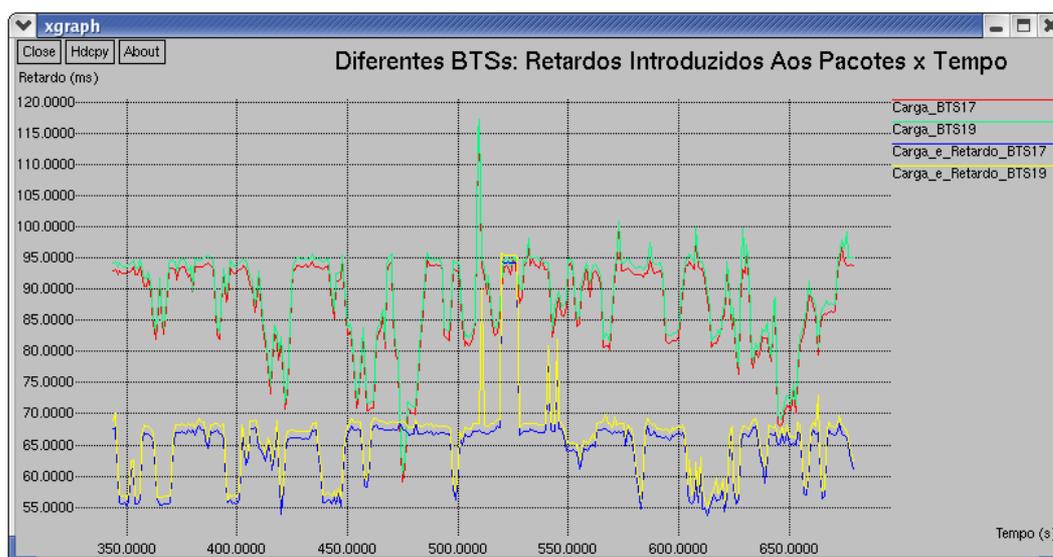


Figura 94 - Segunda falha: Retardos médios medidos até as BTS17 e BTS19.

### 6.2.2.3. Ocorrência da terceira falha

A terceira e última falha ocorreu no instante 419 segundos da simulação sob o Agente de Origem de número 3 (HA03). Todos os resultados das execuções dos procedimentos para a determinação dos Agentes de Origem como membro de backup na ocorrência da terceira falha estão descritos no APÊNDICE D.

A partir de agora serão analisadas as curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao se utilizar as propostas 1 e 2 para alocar as estações móveis atingidas pela falha do HA03 e que no momento desta falha estavam sob a área de cobertura da Estação Base Transceptora de número 2. Na nova proposta estas estações móveis foram alocadas no HA01, portanto tanto na proposta 1 como na proposta 2 estas estações móveis foram alocadas no mesmo HA. O gráfico da figura 95 compara as curvas

de retardos ao empregar-se ambas as propostas para alocação de tais estações móveis.

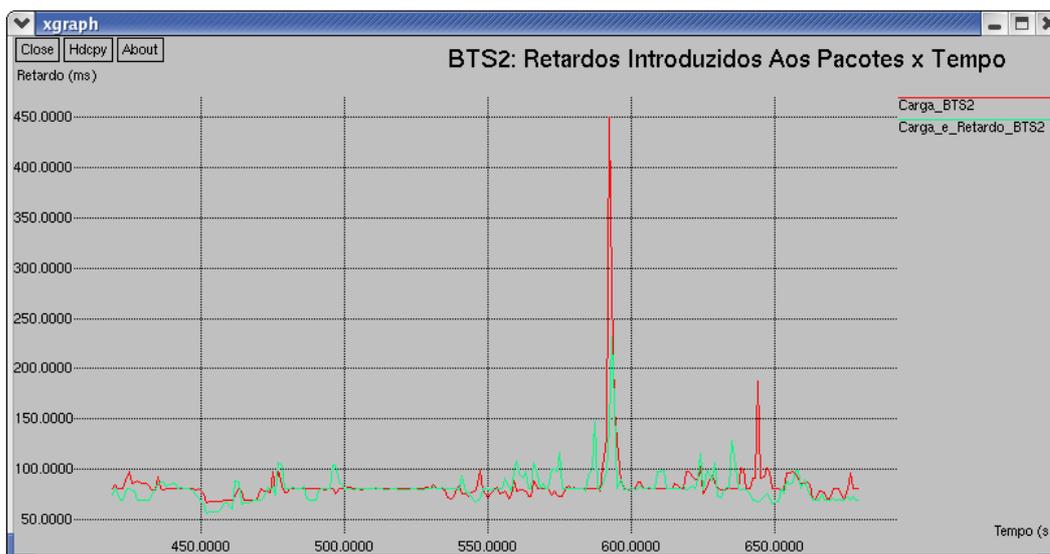


Figura 95 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS2.

O gráfico acima ilustra uma grande proximidade entre os valores dos retardos medidos para as simulações de ambas as propostas, sobretudo para o intervalo de 419 à 550 segundos de simulação. Esse fato revela que embora este HA aloque um número um pouco maior de estações móveis na proposta 2 (192 estações móveis) do que na proposta 1 (125 estações móveis) não há diferenças em se utilizar a proposta 1 ou 2 para alocação de tais estações. Ou seja, não havendo uma grande diferença entre o número de estações móveis alocadas em um mesmo HA utilizando a propostas 1 e 2 os valores dos retardos entre as curvas de ambas as propostas tendem a serem próximos uma vez que a carga de tráfego deste HA não deve ter sofrido grandes mudanças.

A próxima análise será feita para as estações móveis que no momento da ocorrência da terceira falha estavam sob a área de cobertura das 4 Estações Base Tranceptoras ligadas a mesma Estação Base Controladora de número 2 (BSC02), ou seja, BTS5, BTS6, BTS7 e BTS8. Essas estações móveis também foram alocadas no HA01 ao se utilizar a proposta 1 para alocação de tais estações móveis. As comparações das curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados para essas estações móveis podem ser vistas nas figuras 96, 97, 98 e 99.

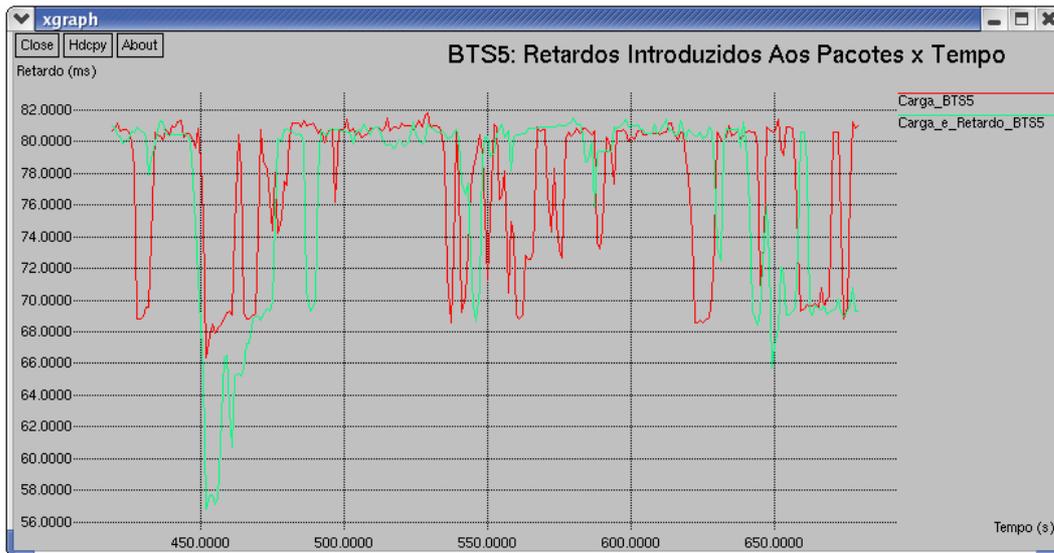


Figura 96 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS5.

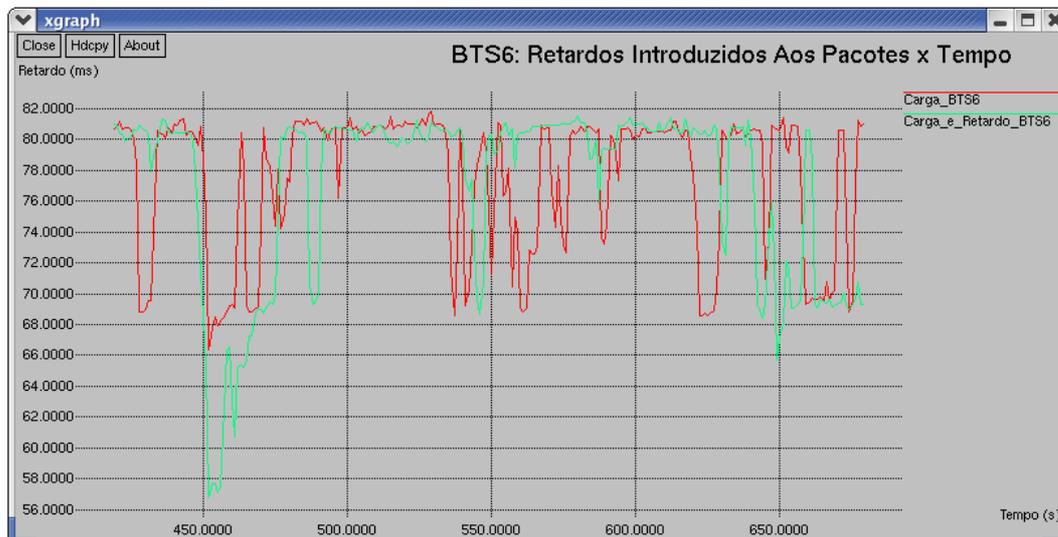


Figura 97 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS6.

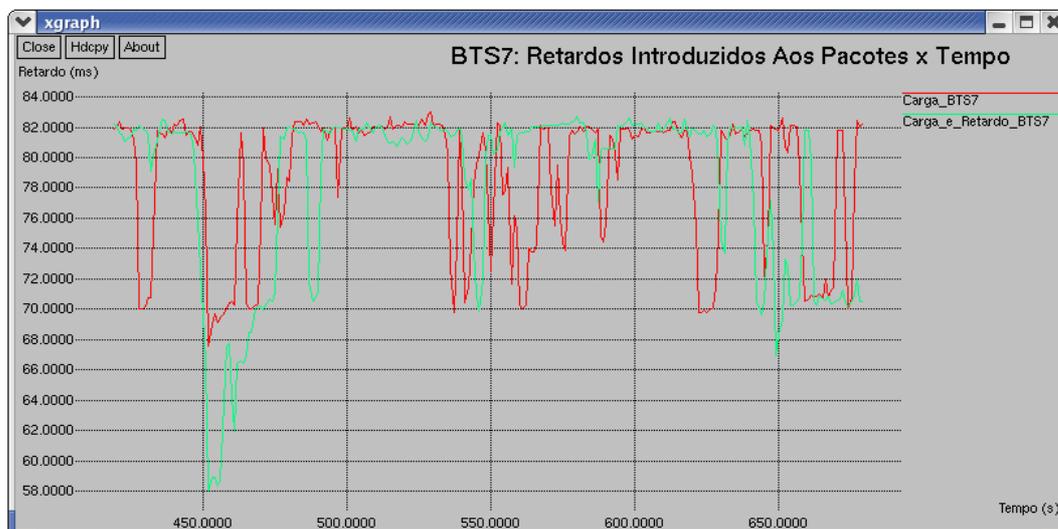


Figura 98 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS7.

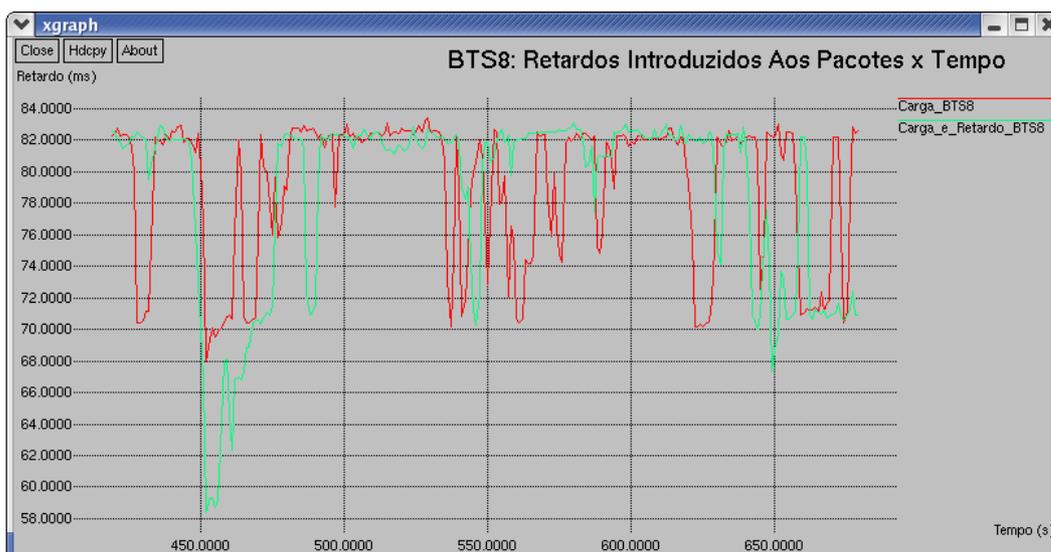


Figura 99 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS8.

Novamente notou-se uma grande aproximação entre os valores dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao empregar-se ambas as propostas para alocação dessas estações móveis atingidas pela falha do HA03. Como já foi explicado na análise das estações móveis que estavam sob a área de cobertura da BTS2 (análise anterior), esse número a mais de estações móveis que o HA01 gerencia ao empregar a proposta 2 ao invés da proposta 1 não foi suficiente para provocar grandes mudanças que pudessem ser verificadas nestas curvas durante toda a simulação.

O novo foco de análise será agora feito sob as estações móveis atingidas pela falha do HA03 e que estavam no instante da ocorrência desta falha sob as áreas de cobertura das Estações Base Tranceptoras de número 9, 10, 11 e 12. Na execução dos procedimentos da nova proposta essas estações móveis foram alocadas no Agente de Origem de número 5, já a execução dos procedimentos da proposta 2 resultou na alocação de tais estações móveis no Agente de Origem de número 1. Nas quatro figuras abaixo (figuras: 100, 101, 102 e 103) são ilustrados os gráficos que comparam as curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados ao empregar-se as proposta 1 e 2 para alocação de tais estações móveis.

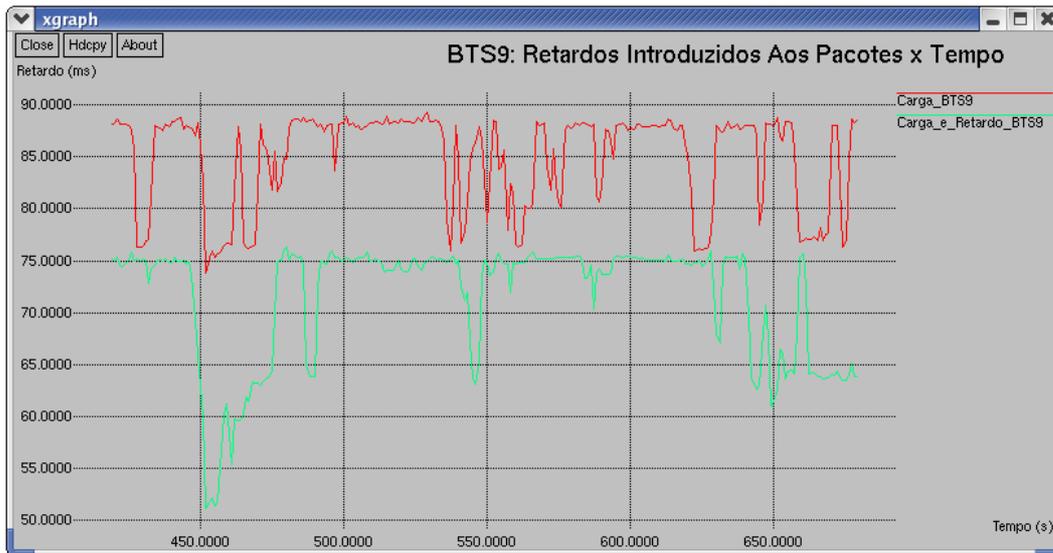


Figura 100 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS9.

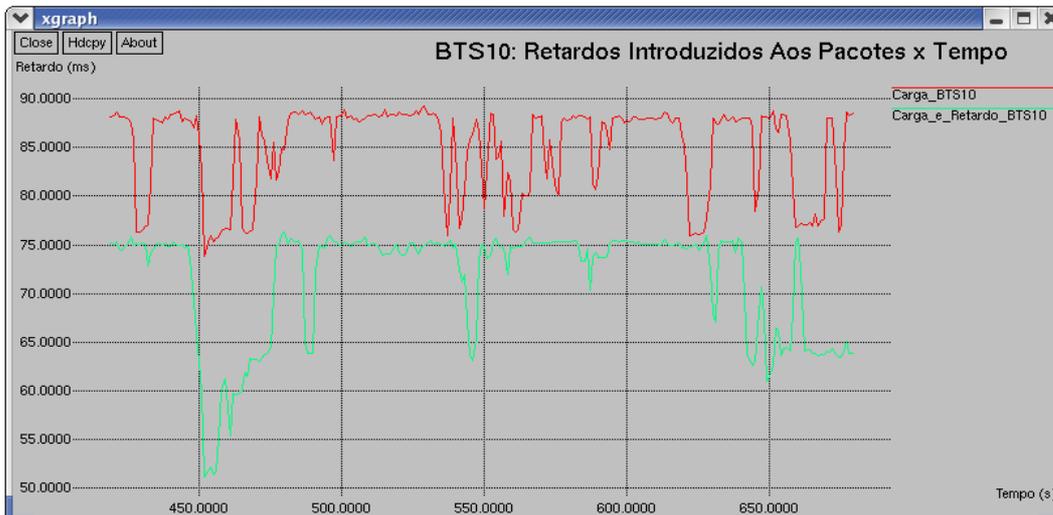


Figura 101 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS10.

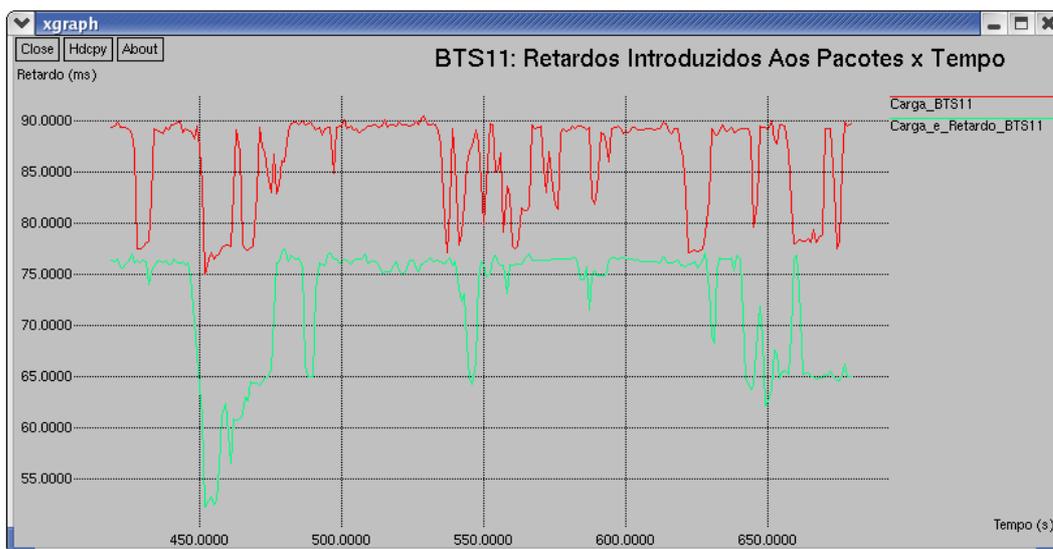


Figura 102 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS11.

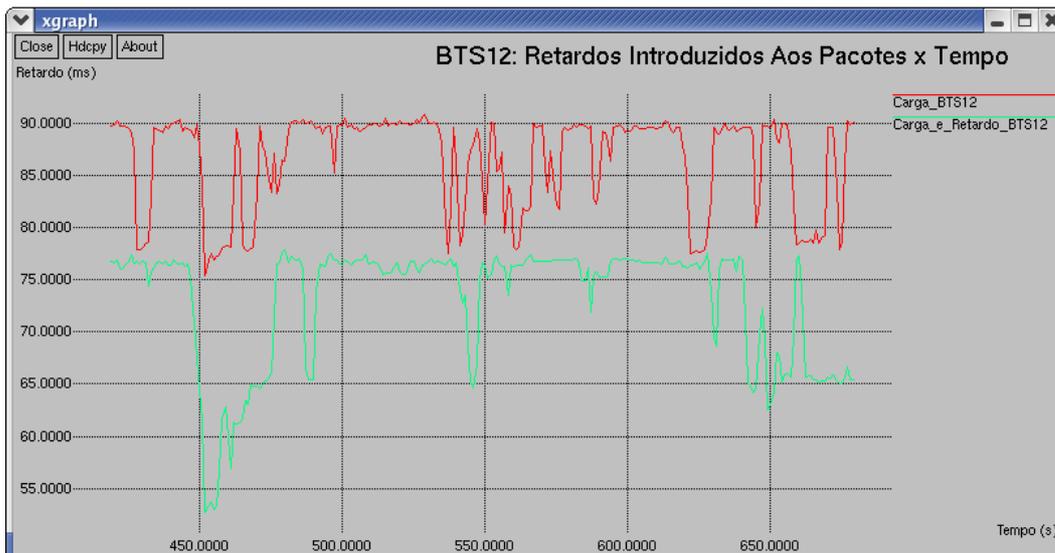


Figura 103 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS12.

Observando estes quatro gráficos acima nota-se que a proposta 1 apresentou um melhor desempenho ao longo de todo o tempo da simulação ao comparar-se com o desempenho da proposta 2. Ou seja, o objetivo da proposta 1, tentar alocar as estações móveis atingidas pela falha do seu HA na opção de membro de backup que introduz o menor retardo aos pacotes de dados, passa a ter mais sentido do que o objetivo da proposta 2 que consiste em fazer a alocação de tais estações móveis no membro de backup de maior carga de tráfego disponível.

Mais uma vez para certificar-se deste ótimo desempenho da nova proposta serão analisadas as estações móveis que no momento da falha do HA03 estavam sob a área de cobertura das Estações Base Transceptoras de número 13, 14, 15 e 16. Na arquitetura de rede utilizada no cenário de simulação estas 4 BTSs estão mais a direita do que as últimas 4 BTSs que foram analisadas. E como estas estações móveis foram alocadas também no HA05 (primeiro HA da direita para esquerda) ao empregar-se a proposta 1 para alocação de tais estações móveis é de se esperar que as curvas que descrevem o comportamento dos retardos introduzidos aos pacotes de dados tenham um melhor desempenho na nova proposta do que na proposta 2. Foi exatamente isto que foi verificado nos gráficos das figuras 104, 105, 106 e 107.

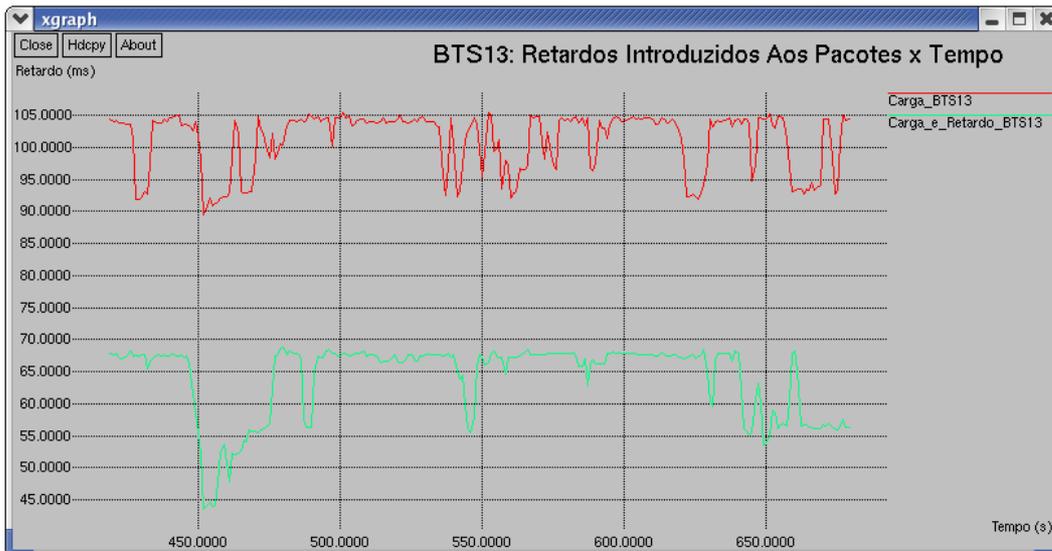


Figura 104 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS13.

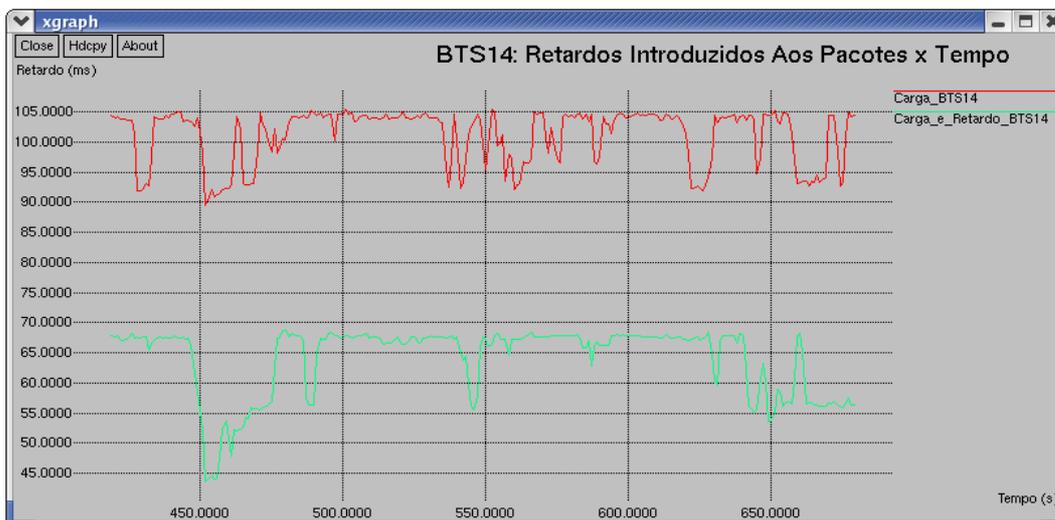


Figura 105 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS14.

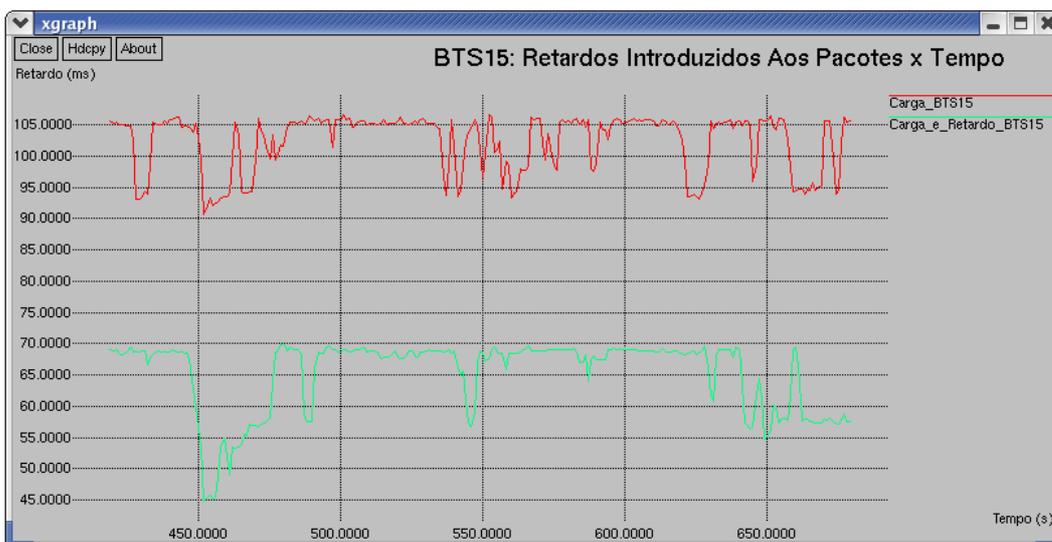


Figura 106 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS15.

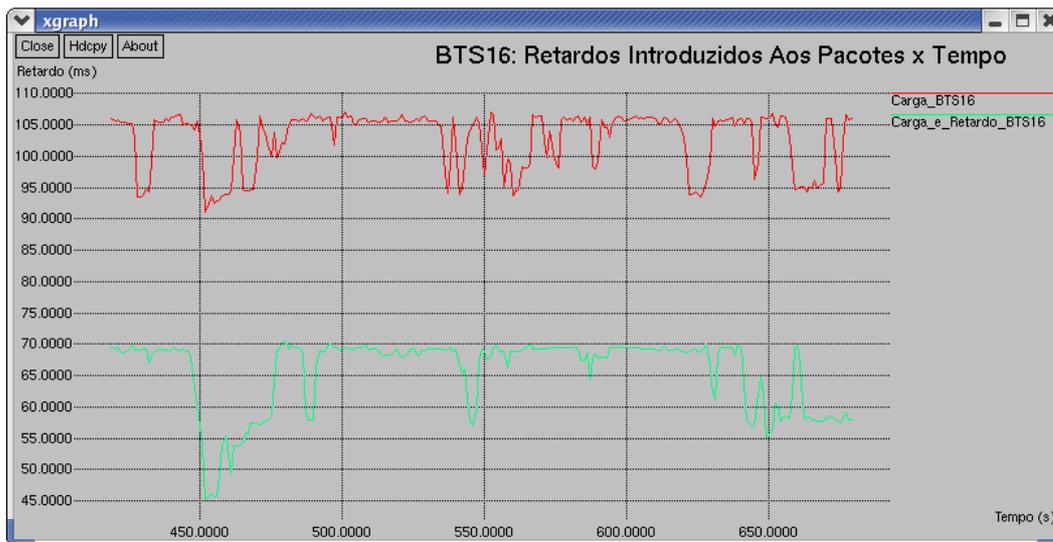


Figura 107 – Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS16.

Finalmente serão analisadas as duas últimas Estações Base Transceptoras que possuíam estações móveis atingidas pela falha do HA03 no momento que esta ocorreu. Ou seja, serão analisadas as curvas de retardos para essas estações móveis que se encontravam sob as áreas de cobertura das Estações Base Transceptoras de número 17 e 19 e que foram alocadas no HA05 ao se empregar a proposta 1 para alocação de tais estações móveis. Ambas as BTSs estão ligadas a mesma Estação Base Controladora (BSC05) e como ocorreu para todas BTSs que estão conectadas a uma mesma BSC houve uma grande aproximação entre os valores de retardos medidos para ambas as BTSs na simulação das duas propostas. Além disso, notou-se que a proposta 1 também apresentou um ótimo desempenho ao longo de toda a simulação em relação a simulação da proposta 2, o que ratifica o comentário feito para as 4 BTSs anteriores. As figuras 108 e 109 a seguir ilustram as curvas de retardos para as simulações de ambas as propostas para as diferentes BTSs.

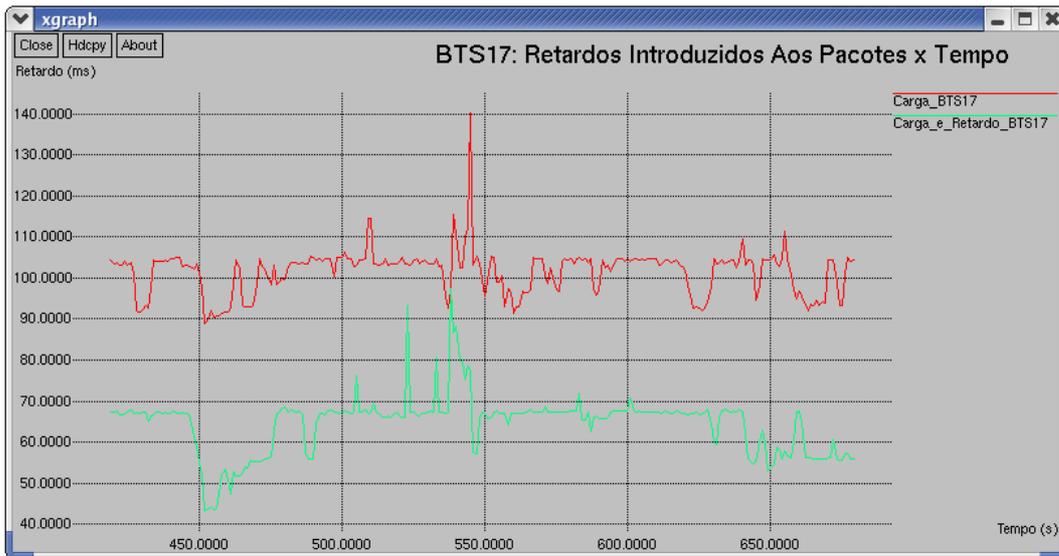


Figura 108 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS17.

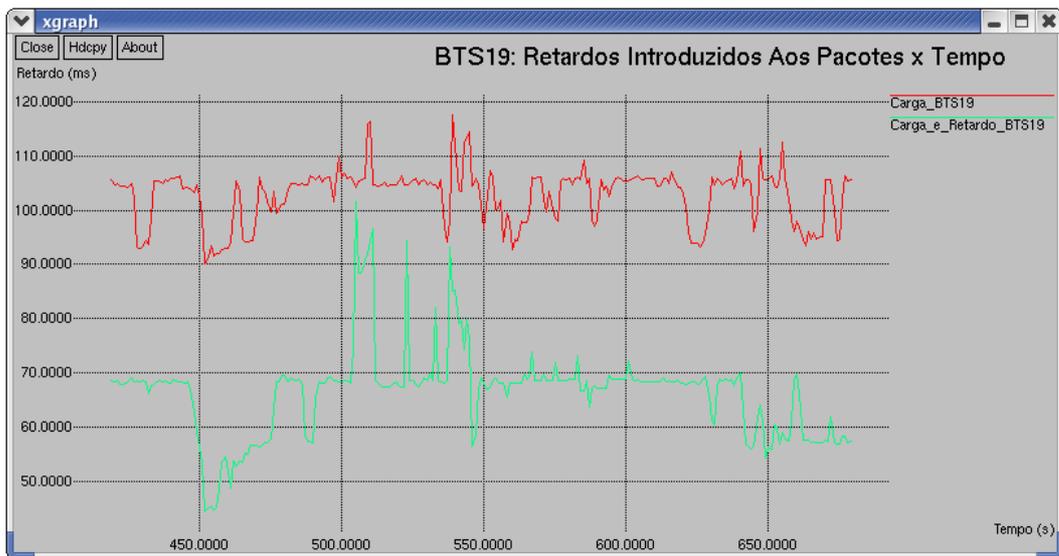


Figura 109 - Terceira falha: Retardos médios medidos até BTS19.