

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO-SENSU***

**MÁRCIA MARIA SAVOINE**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL  
CONSIDERANDO A DUPLICAÇÃO E O PERFIL DE  
TRÁFEGO PARA BANDAS LICENCIADAS**

**CAMPINAS**

**2009**

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS**

**GRÃO-CHANCELER**

Dom Bruno Gamberini

**MAGNÍFICO REITOR**

Prof. Pe. Wilson Denadai

**VICE-REITOR**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Ângela de Mendonça Engelbrecht

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Vera Engler Cury

**DIRETOR DO CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS, AMBIENTAIS E DE  
TECNOLOGIAS**

Prof. Dr. Orandi Mina Falsarella

**COORDENADORES DO PROGRAMA DE**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM TELECOMUNICAÇÕES**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GESTÃO DE REDES DE TELECOMUNICAÇÕES**

Prof. Dr. Marcelo Luís Francisco Abbade

**MÁRCIA MARIA SAVOINE**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL  
CONSIDERANDO A DUPLEXAÇÃO E O PERFIL DE  
TRÁFEGO PARA BANDAS LICENCIADAS**

Dissertação apresentada como exigência para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, ao Programa de Pós-Graduação na área de concentração Gestão de Redes e Serviços, Pontifícia Universidade Católica de Campinas.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Norma Reggiani

**PUC-CAMPINAS**

**2009**

Ficha Catalográfica  
Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas e  
Informação – SBI – PUC-Campinas

t621.382 Savoine, Márcia Maria.  
S268a Análise da eficiência espectral considerando a duplexação e o perfil de tráfego para bandas licenciadas / Márcia Maria Savoine. - Campinas: PUC-Campinas, 2009.  
83p.

Orientadora: Norma Reggiani

Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.

Inclui anexos e bibliografia.

1. Eficiência Espectral. 2. Duplexação. 3. Redes Wireless. 4. Padrão 802.16 5. Canais de comunicação I. Reggiani, Norma. II. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias. Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

22.ed.CDD - t621.382

**Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias  
Programa de Pós-Graduação Stricto-Sensu**

**BANCA EXAMINADORA**

Presidente e Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Norma Reggiani

1º Examinador: Prof. Dr. David Bianchini

2º Examinador: Prof. Dr. Edson Luis Ursini

Campinas, 06 de Fevereiro de 2009.

MÁRCIA MARIA SAVOINE

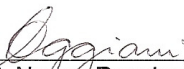
**" ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ESPECTRAL  
CONSIDERANDO A DUPLICAÇÃO E O PERFIL DE  
TRÁFEGO PARA BANDAS LICENCIADAS "**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Gestão de Redes de Telecomunicações do Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Gestão de Redes de Telecomunicações.

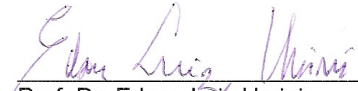
Área de Concentração: Gestão de Redes e Serviço.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Norma Reggiani

Dissertação defendida e aprovada em 06 de fevereiro de 2009 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

  
\_\_\_\_\_  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Norma Reggiani  
Orientadora da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. David Bianchini  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edson Luiz Ursini  
Universidade Estadual de Campinas

Dedico este trabalho a meus pais, Alceu e Nair, e  
a meu irmão Alan, que muito contribuiu para a  
realização deste sonho.

Pois, um sonho sonhado sozinho é apenas um sonho;  
um sonho sonhado em conjunto torna-se realidade.

## AGRADECIMENTOS

Considerando este trabalho como resultado de uma longa caminhada, agradeço pode não ser uma tarefa fácil, mas meritória. Para não correr o risco de ser injusta, agradeço de antemão a todos que de alguma forma passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

E agradeço, particularmente, a algumas pessoas pela contribuição direta na construção deste trabalho:

Aos meus pais Alceu e Nair que muito colaboraram para a concretização deste tão sonhado sonho. Me ensinaram o valor da disciplina, da persistência e da responsabilidade indispensáveis para a construção e conquista do meu projeto de vida. Ao meu irmão Alan que com muita paciência e calma sempre me ouviu nas horas difíceis e complicadas, me incentivando e dando a força necessária para prosseguir na caminhada. E também, ao meu irmão Alcir e minha cunhada Joelma pelo apoio, e minhas queridas sobrinhas Mariani e Isabelli pela compreensão nas intensas ausências.

Ao professor Dr. Omar Carvalho Branquinho pela definição do tema e discussões técnicas que subsidiou a realização deste trabalho.

À professora Dra. Norma Reggiani pela sua orientação nesta dissertação. Sua paciência, dedicação, serenidade e bom senso foi salutar na realização do trabalho apresentado; e nas recorrentes "discussões" que travávamos pessoalmente ou virtualmente. *Grazie mille per l'aiuto!*

Ao prof. Dr. David Bianchini com suas valiosas contribuições e revisões deste trabalho.

Aos meus colegas de mestrado que contribuíram com sua presença e conhecimento. A convivência com vocês foi extremamente produtiva.

Aos meus colegas professores e não professores do ITPAC que sempre estiveram presentes me apoiando e incentivando na grande trajetória.

Aos meus alunos do curso de Sistema de Informação que permitiram a multiplicação do conhecimento que adquiri ao longo do caminho.

Aos meus irmãos e irmãs em Deus, que em todos os momentos estiveram presentes e atuantes nesta jornada: D. Luciene, D. Maria Francisca, D. Edileusa, D. Neuza, D. Sueli, Márcia Brito, Laudice, Danilo, Edivan e Edileuza.

Aos meus demais amigos pelo apoio, força e compreensão nas infinitas ausências. Um agradecimento especial ao querido amigo Ítalo Thiago pelas constantes ajudas virtual e pessoalmente; e a Regina Maia que com muito carinho revisou este trabalho.

Finalmente, e o mais importante de todos, um agradecimento especial a Deus, Nosso Pai Criador e Redentor, por iluminar meus caminhos, me dando forças para seguir sempre em frente e; por me permitir crescer na graça e no conhecimento.



“Combati o bom combate,  
completei o percurso e  
gardei a fé.”

II Tim 4,7

## RESUMO

Savoine, Márcia Maria. Análise da Eficiência Espectral considerando a Duplexação e o Perfil de Tráfego em Bandas Licenciadas. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Redes de Telecomunicações) - Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, 2009.

Este trabalho apresenta a comparação efetuada por meio de simulações de eventos discretos, realizadas com o software ARENA, das técnicas de Duplexação por Divisão no Tempo (TDD) e Duplexação por Divisão da Freqüência (FDD), técnicas presentes no padrão IEEE 802.16 e utilizadas pelo WiMAX nos canais bidirecionais de *uplink* e *downlink*. O modelo de simulação considerou na fila de chegada dos serviços o conceito *FIFO (First-In, First-Out)* e as simulações foram realizadas considerando cinco aplicações (*Streaming, Download, Web, E-mail e Small-Transaction*) para *downlink* e *uplink*. O número de canais na *Base Station* variou de 4 a 60, com um *throughput* de 600 kbps. O parâmetro de eficiência considerado foi o número mínimo de canais necessário em cada um dos canais padrões. As simulações foram realizadas em três cenários, sendo que, no primeiro cenário se considerou o mesmo perfil de tráfego para *downlink* e *uplink*, no segundo cenário com tráfego de *downlink* 2, 5, 10 e 15 vezes maior que o de *uplink*. E, no terceiro cenário com proporções variadas de tráfegos variando de 2 a 5 vezes mais, 5 a 10 vezes mais e de 10 a 15 vezes mais. Realizadas as simulações foram feitas as análises dos desempenhos, tomando como parâmetro de eficiência a taxa de chegada e o tempo de espera do usuário perante aplicações típicas utilizadas na tecnologia de banda licenciada WiMAX, que segue este padrão. A análise efetuada permitiu identificar, dada estas condições de tráfego, qual das técnicas seria a mais indicada. Constatou-se ainda que em tráfego de dados assimétricos a técnica TDD se apresentou mais eficiente e, observou-se existir ociosidade de espectro na técnica FDD.

**Termos de indexação:** Duplexação por Divisão de Tempo, Duplexação por Divisão de Freqüência, *Worldwide Interoperability for Microwave Access*.

# ABSTRACT

Savoine, Márcia Maria. Analysis of the Espectral Efficiency considering Duplexing and the Profile of Traffic in Licensed Bands. 2009. 83f. Dissertation (Mestrado em Gestão de Redes e Telecomunicações) – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Centro de Ciências Exatas, Ambientais e de Tecnologias, Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campinas, 2009.

*This work presents the comparison made through simulations of discreet events, accomplished with the software ARENA, the techniques of Time Division Duplex (TDD) and Frequency Division Duplex (FDD). Techniques present in the pattern IEEE 802.16 and used by WiMAX in the bi-directional channels of uplink and downlink. The simulation model considered in the line of arrival of the services the concept FIFO (First-In, First-Out) and the simulations were accomplished considering five applications (Streaming, Download, Web, E-mail and Small-Transaction) for downlink and uplink. The number of channels in the Base Station varied from 4 to 60, with a throughput of 600 kbps. The regarded efficiency parameter was the minimum number of channels necessary in each one of the standard channels. The simulations were accomplished in three sceneries., In the first scenery it was considered the same profile of traffic for downlink and uplink, in the second scenery a traffic of downlink 2, 5, 10 and 15 times larger than the one of uplink. And, in the third scenery it was considered different proportions of traffics varying from 2 to 5 times more, 5 to 10 times more and from 10 to 15 times more. The analyses were done considering as efficiency parameter the converge of the waiting time of the users. ,It was verified that in asymmetric data traffic, the TDD technique was more efficient and there were spectrum idleness in the FDD technique.*

**Indexing terms:** Time Division Duplex, Frequency Division Duplex, Worldwide Interoperability for Microwave Access.

# LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Classificação das redes wireles.....	23
<b>Figura 2.</b>	Sincronização TDD.....	26
<b>Figura 3.</b>	Frame de Sincronização TDD de natureza assimétrica.....	27
<b>Figura 4.</b>	Utilização do espectro em FDD.....	28
<b>Figura 5.</b>	Ilustração das Técnicas TDD e FDD.....	29
<b>Figura 6.</b>	Ambiente das simulações na comunicação FDD.....	40
<b>Figura 7.</b>	Ambiente das simulações na comunicação TDD.....	40
<b>Figura 8.</b>	Ambiente com todos os cenários das simulações nas comunicações TDD e FDD.....	41

# LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b>	Técnica TDD com o mesmo perfil de tráfego de dados tanto para <i>down</i> como <i>uplink</i> .....	49
<b>Gráfico 2.</b>	Técnica FDD com o mesmo perfil de tráfego de dados tanto para <i>down</i> como <i>uplink</i> .....	50
<b>Gráfico 3.</b>	Cenário 2 - Técnicas TDD e FDD com tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços.....	51
<b>Gráfico 4.</b>	Cenário 3A – Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.....	52
<b>Gráfico 5.</b>	Cenário 3B – Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.....	54
<b>Gráfico 6.</b>	Cenário 3C – Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.....	55
<b>Gráfico 7.</b>	Cenário 3D – Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.....	56
<b>Gráfico 8.</b>	Diferença da quantidade de canais em ambas as técnicas nos 3 cenários.....	57

# LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b>	Faixas de Freqüências e suas características de operação para o WiMAX no Brasil.....	25
<b>Tabela 2.</b>	Modelo de tráfego para um usuário e percentual de atividade na sessão.....	35
<b>Tabela 3.</b>	Cenário 1: técnica tdd e fdd – tráfego de dados simétricos, com simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	42
<b>Tabela 4.</b>	Cenário 2: Técnicas TDD e FDD – Tráfego de dados com variações em todos os serviços de 2, 5, 10 e 15 vezes mais, com simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	42
<b>Tabela 5.</b>	Cenário 3A: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 5 vezes mais a 2 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	44
<b>Tabela 6.</b>	Cenário 3B: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 10 vezes mais a 5 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	45
<b>Tabela 7.</b>	Cenário 3C: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 15 vezes mais a 10 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	46
<b>Tabela 8.</b>	Cenário 3D: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 2, 5, 10 e 15 vezes mais nos serviços de streaming e small-t. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com <i>throughput</i> médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.....	47
<b>Tabela 9.</b>	Cenário 1: Técnica TDD – Mesmo perfil de tráfego de dados para <i>up</i> e <i>downlink</i> .....	48
<b>Tabela 10.</b>	Cenário 1: Técnica FDD com o mesmo perfil de tráfego de dados tanto para <i>up</i> como <i>downlink</i> .....	49
<b>Tabela 11.</b>	Cenário 2: Técnicas TDD e FDD – Tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços.....	50
<b>Tabela 12.</b>	Cenário 3A: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviços 2 vezes mais e 5 vezes mais.....	52
<b>Tabela 13.</b>	Cenário 3B: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 5 vezes mais e 10 vezes mais.....	53
<b>Tabela 14.</b>	Cenário 3C: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 10 vezes mais e 15 vezes mais.....	54
<b>Tabela 15.</b>	Cenário 3D: Técnica TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado pelos serviços de <i>streaming</i> e <i>small-t</i> 2, 5, 10 e 15 vezes mais.....	55

<b>Tabela 16.</b>	Todos os cenários em ambas as técnicas TDD e FDD.....	56
-------------------	---	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AT	=	Estações-móveis
BH	=	Busy-Hour
BS	=	Base-Station
BPSK	=	Binary Phase-Shift Keying
FDD	=	Frequency Division Duplexing
FCFS	=	First-come, First-served
<i>FIFO</i>	=	First-in, First-out
HMM	=	Horários de Maior Movimento
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Kbps	=	Kilo bits por segundo
QPSK	=	Quadrature Phase Shift Keying
QAM-16	=	16-State Quadrature Amplitude Modulation
QAM-64	=	64-State Quadrature Amplitude Modulation
LIFO	=	Last-In, First-Out
LOS	=	Line of sight
Mbps	=	Mega bits por segundo
NLOS	=	No Line of sight
PMM	=	Períodos de Maior Movimento
RF	=	Radio-Frequency
SNR	=	Relação sinal-ruído
RAM		Random Access Memory
TDD	=	Time Division Duplexing
WLAN	=	Wireless Local Area Network
WMAN	=	Wireless Metropolitan Area Network
WPAN	=	Wireless Personal Area Network
WRAN	=	Wireless Regional Area Network
WWAN	=	Wireless Wide Area Network



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Contextualização do Problema .....	19
1.2	Objetivo do Trabalho.....	20
1.3	Resultados Esperados.....	20
1.4	Metodologia Utilizada.....	21
1.5	Organização da Dissertação.....	22
2	REDES METROPOLITANAS SEM FIO .....	23
2.1	Técnicas de Duplexação.....	26
2.1.1	TDD – <i>Time Division Duplex</i> .....	26
2.1.2	FDD – <i>Frequency Division Duplex</i> .....	28
2.1.3	FDD versus TDD .....	29
3	SIMULAÇÕES .....	31
3.1	O Modelo das Simulações .....	32
4	METODOLOGIA .....	39
4.1	Recursos Utilizados.....	39
4.2	Procedimentos para Simulação: Cenários Simulados .....	39
4.2.1	Cenário 1 - Tráfego de Dados Simétricos.....	41
4.2.2	Cenário 2 - Tráfego Iguamente Assimétrico para Todos os Serviços.....	42
4.2.3	Cenário 3 - Tráfego com Assimetrias Diferenciadas por Serviços ....	43
5	RESULTADOS OBTIDOS .....	48
5.1	Cenário 1 - Tráfego Simétrico.....	48
5.2	Cenário 2 - Tráfego Iguamente Assimétrico para Todos os Serviços.....	50
5.3	Cenário 3 - Tráfego Assimétrico de Modo Diferenciado por Serviço.....	51
6	CONCLUSÃO.....	58
7	REFERÊNCIAS .....	61
	ANEXOS.....	64
	Anexo A.....	64
	Anexo B.....	74

## 1 INTRODUÇÃO

Ao final desta primeira década do segundo milênio a demanda crescente para acesso onipresente de Internet é uma exigência constante para serviços ao usuário final; seja ele, doméstico, acadêmico, empresarial ou rural. A demanda de acesso para usuários residenciais envolve diversos aspectos da vida social, política e econômica, tais como entretenimento, educação, controle financeiro etc. Da mesma forma, empresas necessitam de acesso rápido para transações comerciais em bancos ou empresas financeiras, e-mails como resposta de contratos e orçamentos, ou até mesmo para reuniões de vídeo-conferência entre clientes, fornecedores, acionistas, funcionários e presidência. Na área rural, o acesso pode facilitar o conhecimento de informações estratégicas sobre agronegócios, envolvendo plantio, controle de doenças, pragas ambientais, controle de fluxo médico-veterinário, cotações em tempo real, entre outros. Em todos os ramos do conhecimento, esta demanda crescente de informação rápida e com qualidade impulsiona o acesso à Internet em qualquer hora e lugar, indicando as redes *wireless* de longa distância como uma solução viável e eficiente.

Porém, prover banda-larga sem fio para dados, voz e vídeo não é ainda algo comum e freqüente nas cidades brasileiras. Dentro deste quadro, uma das motivações do padrão IEEE 802.16, definido para redes *wireless*, é oferecer acesso à Internet sem fio, a longas distâncias, e com eficiência (SAVOINE, 2008a)

A tecnologia WiMAX acrônimo de *Worldwide Interoperability for Microwave Access* trata da interoperabilidade entre produtos baseados no padrão IEEE 802.16. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) é o grupo responsável pelo padrão IEEE 802.16 com o intuito de especificar formalmente redes sem-fio de banda larga, para cobrir grandes áreas metropolitanas, ou seja, redes *WMAN - Wireless Metropolitan Area Network*.

O padrão IEEE 802.16 possui soluções licenciadas e isentas de licenças, sendo a faixa de freqüência para as licenciadas de 2,5 GHz, 3,5 GHz e futuramente 10,5 GHz e para a não-licenciada a freqüência de 5,8 GHz.

O WiMAX licenciado possui vantagens sobre o não licenciado. Em especial, a exclusividade no espectro que possibilita uma solução mais estável e previsível para implementações metropolitanas (INTEL, 2005). Permite também uma melhor penetração NLOS<sup>1</sup> e RF<sup>2</sup>, que compensa o seu custo mais elevado.

De acordo com Intel (2005), a tecnologia WiMAX licenciada é adequada para condições em que ocorra:

- ◆ Necessidade de Serviços de mobilidade em banda-larga onipresente;
- ◆ Aplicações de grande cobertura, ponto-a-multiponto;
- ◆ Quando o licenciamento permitir o controle sobre a utilização do espectro e sobre a interferência;
- ◆ Quando o custo não for uma questão primordial para a seleção da tecnologia, porque a tecnologia foi otimizada para esta aplicação;
- ◆ Quando os serviços e o equipamento da *base-station* podem ser apenas locados de uma operadora, ou provedor de serviços.

## 1.1 Contextualização do Problema

A tecnologia WiMAX utiliza técnica de duplexação nos canais de comunicação, que consiste no processo de criação de canais bidirecionais para *uplink* e *dowlink* da transmissão de dados. O padrão IEEE 802.16 apresenta dois padrões de duplexação, que pode ser tanto TDD - Duplexação por Divisão no Tempo, como FDD - Duplexação por Divisão de Freqüência. Essa característica permite a interoperabilidade do IEEE 802.16 com sistemas celulares e outros sistemas sem fio, possibilitando assim, uma flexibilidade de acesso para usuários.

---

<sup>1</sup> NLOS – No Line of sight

<sup>2</sup> RF – Radio Frequency

O TDD utiliza as duas direções de comunicação operando em faixa de frequência comum, mas em instantes de tempo distintos. Por isso, requer sincronização e tempo de guarda entre *slots* em ambos os sentidos, para evitar interferência. Devido ao uso da mesma faixa de frequência, permite que a comunicação mantenha a mesma qualidade nos dois sentidos. Por outro lado, no FDD, cada sentido utiliza faixas distintas de frequência, separadas convenientemente para evitar interferências, permitindo que a informação possa trafegar nas duas direções.

A assimetria e simetria existentes nestas técnicas de comunicação são importantes para o WiMAX 2,5 GHz e 3,5 GHz, que prevêem blocos de frequência de *up* e *downlink* para implementar FDD em canais distintos, mas permitem utilizar TDD nos blocos de subida e descida em um único canal, e o WiMAX 5,8GHz e 10,5GHz utilizam somente a técnica TDD em sua comunicação.

## 1.2 Objetivo do Trabalho

O objetivo desta dissertação é comparar a eficiência dos canais de comunicação TDD e FDD em banda licenciada WiMAX operando em 3,5GHz simulando diversos cenários, envolvendo serviços de *streaming de vídeo*, *download*, *email*, *web* e *small-transaction*. Pretende-se, deste modo, avaliar qual técnica tem maior eficiência em um tráfego de dados assimétrico, como é o caso da Internet.

## 1.3 Resultados Esperados

Por meio de simulações mostrar qual técnica de comunicação é mais eficiente em uma banda licenciada WiMAX 3,5 GHz, dentro de um tráfego de dados assimétricos utilizando os serviços *streaming de vídeo*, *file download*, *web-browsing*, *email* e *small-transaction*. Demonstrar também, a ociosidade de banda e qual o melhor desempenho considerando-se uma taxa de transmissão de 600 Kbps.

## 1.4 Metodologia Utilizada

A metodologia utilizada foi a simulação por eventos discretos de uma rede WMAN de acesso licenciado.

Segundo Miyagi (2004), a simulação por eventos discretos é própria para a análise de sistemas no qual o estado discreto das variáveis muda apenas com a ocorrência de eventos (considerados instantâneos). Os modelos de simulação são analisados por métodos numéricos ao invés de métodos analíticos. Isto é, em vez de métodos analíticos que empregam o raciocínio dedutivo/matemático para resolver um modelo, consideram-se métodos numéricos que empregam procedimentos computacionais para executar os modelos matemáticos.

Como os parâmetros utilizados para o cálculo de cada serviço são a taxa de chegada ( $\lambda_i$ ) e o tempo médio de serviço ( $\tau_i$ ), optou-se pela utilização do *software Arena* que atende plenamente estes requisitos, devido à necessidade de gerar o tempo-das-filas nos canais de comunicação assim como conseguir trabalhar com distribuição de frequências para as taxas de chegada e de realização dos serviços. Além de utilizar uma interface gráfica (*GUI – Graphical User Interface*) na construção e visualização do modelo.

Para a disciplina das filas de espera dos serviços se utiliza o conceito *FIFO*<sup>3</sup>. O parâmetro de eficiência utilizado foi o número mínimo de canais em todos os serviços e foram considerados 3 cenários para as simulações, sendo um deles com o mesmo perfil de tráfego para *downlink* e *uplink* e os outros dois com perfis de tráfego de *downlink* diferentes do *uplink*. Pode-se afirmar então que os diferentes cenários utilizam os serviços em diferentes proporções.

---

<sup>3</sup> Acrônimo para *First in, First out*; ou seja, o primeiro a entrar, é o primeiro a sair. Refere-se a estruturas de dados do tipo fila de espera. A idéia fundamental em uma fila do tipo FIFO é de que os elementos vão sendo colocados na fila e retirados (ou processados) por ordem de chegada.

## 1.5 Organização da Dissertação

Além desta seção introdutória, este trabalho é composto por mais sete capítulos. No capítulo 2, fundamenta-se e caracteriza-se o padrão IEEE 802.16 como WMAN, como também as técnicas de duplexação TDD (*Time Division Duplex*) e FDD (*Frequency Division Duplex*).

No capítulo 3, descrevem-se os cenários das simulações, contemplando o modelo das simulações. Já no capítulo 4 apresenta-se os recursos utilizados de *software* e *hardware* empregados nas simulações, o perfil de tráfego de dados e todos os cenários simulados são expostos. No capítulo 5, apresentam-se os resultados obtidos tanto na técnica TDD como na FDD, e também o desempenho da melhor técnica.

No capítulo 6, tem-se a conclusão e as perspectivas de trabalhos futuros. Por fim, são apresentadas as referências e os anexos deste estudo.

## 2 REDES METROPOLITANAS SEM FIO

Uma WMAN ou Rede Metropolitana sem Fio permite o acesso à rede através de antenas externas nas estações rádio-base a longas distâncias geográficas, sem necessidade de grandes investimentos em equipamentos.

O IEEE definiu os padrões complementares das redes sem fio, onde inclui uma hierarquia de padrões. Essa padronização inclui o 802.15 para as redes pessoais (Wireless Personal Area Network – PAN), IEEE 802.11 para as redes locais (Wireless Local Area Network – LAN), 802.16 para as redes metropolitanas (Wireless Metropolitan Area Network), o IEEE 802.20 para as redes geograficamente distribuídas (Wireless Wide Area Network – WAN), e o padrão 802.22 para redes regionais (Wireless Regional Area Network), áreas geograficamente dispersas ou escassamente povoadas. Cada padrão representa a tecnologia otimizada para mercados e modelos de uso distintos, sendo projetado para complementar os demais (Figura 1).

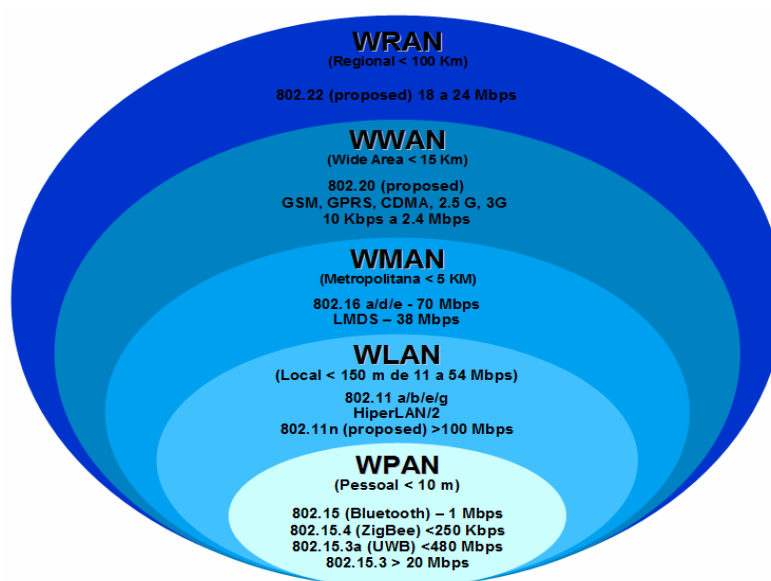


Figura 1. Classificação das redes *wireless*. (Cordeiro, 2006).

A Figura 1 mostra as classificações das redes sem fio, os padrões, o alcance, e suas respectivas taxas de transmissão. O padrão IEEE 802.16 ou WiMAX possui taxa de transmissão de até 70 Mbps, permite acesso à rede com significativa redução de custos e com um tempo menor, pois esta tecnologia tem

acesso robusto, atingindo assim maiores áreas de cobertura. Assim, o investimento com a infra-estrutura é menor, necessitando de menor quantidade de equipamentos. Esses fatores permite a este padrão oferecer a conveniência da mobilidade e da banda larga para um grande número de usuários, sendo apontado como uma tecnologia extremamente atraente para a cobertura de áreas rurais e pontos de difícil acesso, que correspondem à grande maioria das localidades não servidas por redes cabeadas (LIMA, 2004).

Entre as principais especificações técnicas do WiMAX destacam-se (SOUZA, 2006):

- ◆ Faixa de Freqüência: foco na faixa licenciada e não-licenciada de 2GHz a 11GHz, especificada para uso em NLOS.
- ◆ Modulação Adaptativa: trata-se da seleção da modulação a ser utilizada na camada física que pode ser *Binary Phase-Shift Keying* (BPSK), *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK), *16-State Quadrature Amplitude Modulation* (QAM-16) ou *64-State Quadrature Amplitude Modulation* (QAM-64). Esta escolha é feita através do nível da relação sinal-ruído (SNR) percebido no receptor. A partir da negociação entre a estação rádio-base e a estação do assinante, a modulação a ser adotada é dinamicamente adaptada às condições do enlace de rádio.
- ◆ Duplexação: suporta os sistemas de operação *Time Division Duplexing* (TDD) e *Frequency Division Duplexing* (FDD), que permitem comunicação simultânea em canais diferentes para *downlink* e *uplink*, ao contrário do TDD que utiliza o mesmo canal.
- ◆ Taxa de Transmissão: até 75 Mbps para um receptor fixo, e até 30 Mbps para um receptor móvel, em condições ideais de propagação.
- ◆ Área de Cobertura: em torno de 50 km, dependendo dos fatores de propagação.

Um dos grandes benefícios do WiMAX é possuir a capacidade de operar com uma solução padronizada tanto em faixa licenciada quanto isenta de



licença. A Tabela 1 mostra as bandas licenciadas e não-licenciadas no Brasil, bem como suas características de operação e utilização de técnicas de duplexação.

**Tabela 1.** Faixas de freqüências e suas características de operação para o WiMAX no Brasil

<b>2,5 GHz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Freqüência licenciada. É a de freqüência mais baixa, onde se tem os melhores alcances, exigindo uma menor quantidade de estações rádio-base para cobrir uma determinada área.</li> <li>◆ Alcance com Linha de Visada (LOS) = 18 – 20 km</li> <li>◆ Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 9 – 10 km</li> <li>◆ Utiliza técnica TDD e FDD</li> </ul>
<b>3,5 GHz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Freqüência licenciada. É a freqüência disponível para WiMAX no Brasil, utilizada pelas operadoras e prestadoras de serviço de telecomunicações.</li> <li>◆ Alcance com Linha de Visada (LOS) = 12 – 14 km</li> <li>◆ Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 6 – 7 km</li> <li>◆ Utiliza técnica TDD e FDD</li> </ul>
<b>5,8 GHz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Freqüência não-licenciada. Sendo a freqüência LIVRE disponível para WiMAX no Brasil, podendo ser utilizada por qualquer empresa prestadora de serviços. Por ser não-licenciada, existe a possibilidade de interferências e congestionamento de freqüências em áreas de grande densidade. Uma freqüência importante, pois não exige gastos com a aquisição de licenças, o que pode viabilizar o plano de negócio de muitas áreas no Brasil.</li> <li>◆ Alcance com Linha de Visada (LOS) = 7 – 8 km</li> <li>◆ Alcance sem Linha de Visada (NLOS) = 3 – 4 km</li> <li>◆ Utiliza técnica TDD</li> </ul>
<b>10,5 GHz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Freqüência licenciada. Poder de cobertura em grandes distâncias, nesta freqüência é baixo.</li> <li>◆ Utiliza técnica TDD, e cuja faixa já se encontra em operação<sup>4</sup>.</li> </ul>

Fonte: Chaves apud Ribeiro (2007) adaptado.

---

<sup>4</sup> A partir do ano de 2008 esta faixa de freqüência licenciada encontra-se em operação em algumas regiões do Brasil.

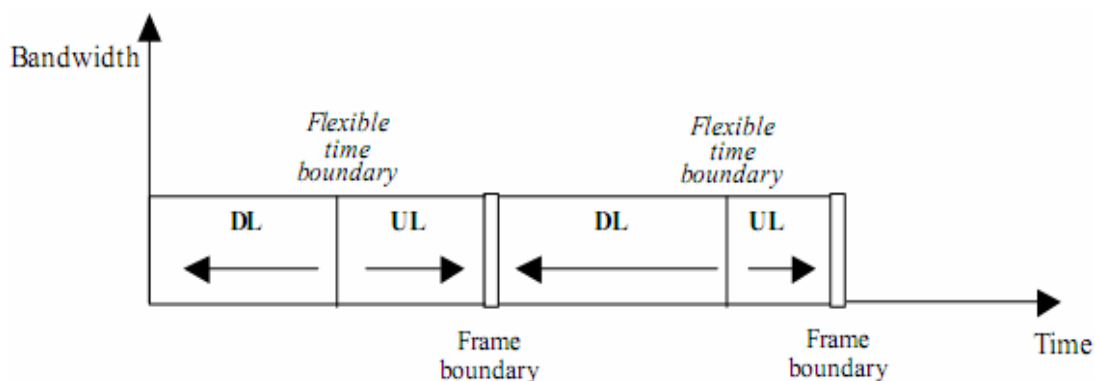
## 2.1 Técnicas de Duplexação

No padrão IEEE 802.16 de banda licenciada, são suportadas as técnicas de duplexação Divisão na Freqüência (FDD) e Divisão no Tempo (TDD), no mesmo meio físico de transmissão.

Duplexação é o processo de criação de canais bidirecionais para *uplink* e *dowlink* da transmissão de dados (INTEL, 2005).

### 2.1.1 TDD – *Time Division Duplex*

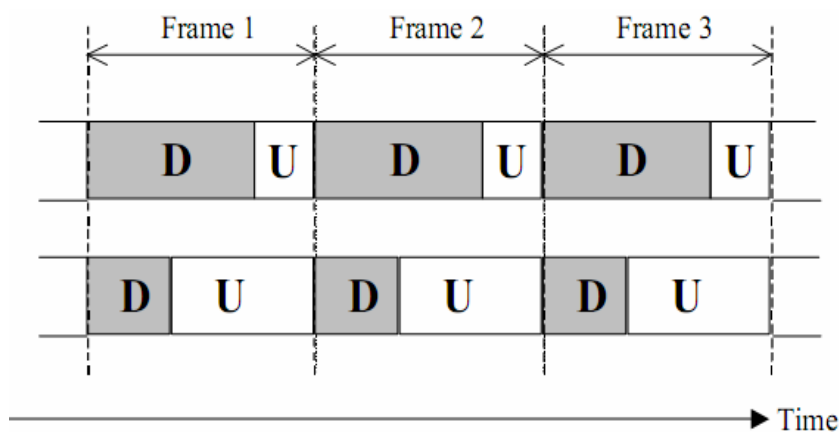
A Duplexação por Divisão de Tempo (TDD) utiliza uma mesma faixa de freqüência para *uplink* e *downlink*, com um tempo-de-guarda entre eles, existindo uma competição de todos os transmissores pelo meio. Esta técnica está apresentada na Figura 2.



**Figura 2.** Sincronização TDD. (Grondalen, 2002).

A técnica TDD distribui parte do canal para *down* e *uplink*, e pode alocar dinamicamente a utilização do canal para *down* e *uplink* dependendo da quantidade de tráfego, provocando uma acomodação eficiente do canal para tráfego de dados por rajadas. Evidencia-se que, neste sentido é acomodado o tempo-de-transmissão dedicado ao *down* e *uplink*. Esta transferência assimétrica é adequada para tráfego de Internet, onde grandes quantidades de dados poderão ser trafegados pelo *downlink*.

Quando a taxa alocada entre uma parte do *frame* de *downlink* e *uplink* varia no tempo, a técnica de TDD é chamada dinâmica ou adaptável. A utilização de TDD adaptável em sistemas de acesso de rádio fixos envolve um uso eficiente do espectro disponível, isto devido ao tráfego ser assimétrico e imprevisível representando uma porcentagem considerável da carga de tráfego do sistema. A Figura 3 ilustra esta natureza assimétrica do TDD.



**Figura 3.** Frame de sincronização TDD de natureza assimétrica. (Grondalen, 2002).

Devido à distribuição dinâmica de *up* e *downlink*, não há muito desperdício de espectro para operações assimétricas, ou seja, em serviços de última-milha<sup>5</sup> onde o tráfego de *uplink* é tipicamente uma parte do tráfego de *downlink*. Algum espectro ainda é perdido nos tempos-de-guarda, mas é insignificante comparado com o comprimento total de dados em uma faixa de tempo. (PROXIM, 2006)

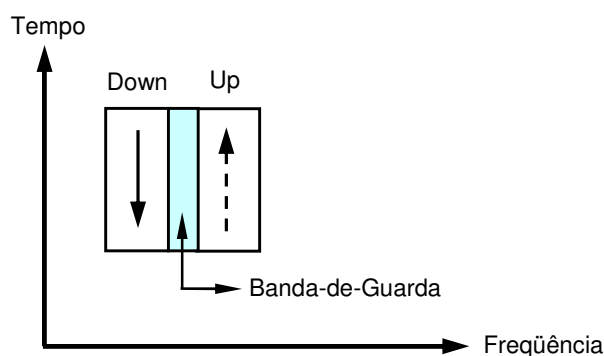
---

<sup>5</sup> Segundo dicionário *Babylon* de Telecomunicações e Informática, Última-Milha é uma expressão que designa o trecho final de uma conexão de voz ou de dados.

### 2.1.2 FDD – *Frequency Division Duplex*

A Duplexação por Divisão de Frequência (FDD) requer um par de canais, um para transmissão e o outro para recepção; ou seja, um para *downlink* e outro para *uplink*.

Qualquer canal duplex consiste então de dois canais simplex (um direto e outro reverso), contendo uma banda-de-guarda entre os dois canais para que não aconteça interferência. Este espectro pareado permite a transmissão e recepção bidirecionais simultâneas e simétricas (GRONDALEN, 2002). A figura abaixo ilustra um canal FDD.



**Figura 4.** Utilização do espectro em FDD. (Proxim, 2006 - adaptado).

Os canais de comunicação FDD são sempre de tamanhos iguais, 50% para *downlink* e 50% para *uplink*. Uma banda-de-guarda de cerca de duas vezes o tamanho do canal de *up* e *downlink* é necessária para separar os canais de *down* e *uplink*. Isso equivale a uma perda adicional de 50% no espectro (PROXIM, 2006).

Em aplicações de acesso a Internet, de natureza assimétrica, isto é, quando a utilização da banda para *downlink* é muito maior do que a utilizada para *uplink* ou vice-versa, pode haver desperdício do espectro. Então, FDD é tipicamente utilizado em aplicações que requerem largura-de-banda igual em ambos os sentidos da comunicação, como as aplicações de voz ou vídeo-conferência (SAVOINE, 2008b).

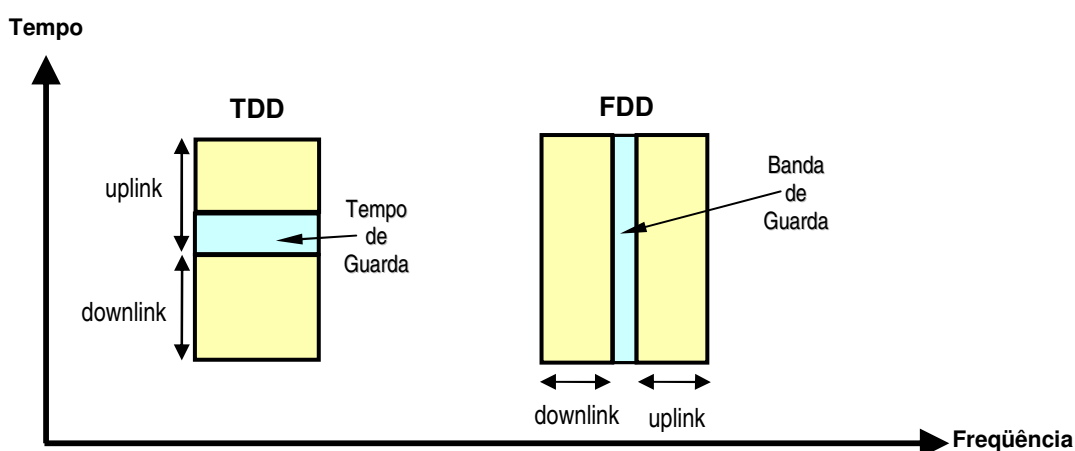
### 2.1.3 FDD versus TDD

As técnicas de comunicação FDD e TDD são os dois esquemas de duplexação prevaletentes usados em redes banda-larga sem fios. O WiMAX pode empregar qualquer um deles para separar *uplink* e *downlink* nos sinais de comunicação. FDD é usualmente utilizado para as aplicações que exigem *uplink* e *downlink* iguais na largura de banda. Já o TDD é freqüentemente empregado na comunicação de cenários assimétricos (RONG, 2007).

Como já afirmado, a técnica TDD é ideal para o transporte de tráfego assimétrico, como é típico com o acesso à Internet, e permite aos prestadores de serviços em conformidade definir a porcentagem de largura de banda atribuída a cada direção. Além disso, TDD faz uso mais eficiente de espectro, permitindo que os operadores de rede alcancem maiores lucros sobre seus investimentos em infra-estrutura.

No que diz respeito ao FDD, que é uma técnica adequada quando o tráfego é simétrico, opera com faixas de tamanhos iguais; onde o tempo-de-guarda entre o tráfego em rajadas na subida *up* e na descida *downlink* não são necessários, como no TDD.

A Figura 5 mostra as duas técnicas de duplexação nos canais de comunicação.



**Figura 5.** Ilustração das técnicas TDD e FDD. Adaptado de Szládek (2005).

Resumindo, a técnica FDD pode gerenciar adequadamente um tráfego que tem exigências de largura-de-banda relativamente constantes em ambas as direções de comunicação. Por outro lado, a técnica TDD tem grande vantagem ao gerenciar a tráfego de dados assimétricos.

### 3 SIMULAÇÕES

Simular significa reproduzir o funcionamento de um sistema, com o auxílio de um modelo, permitindo-nos testar algumas hipóteses sobre o valor de variáveis controladas. As conclusões são usadas então para melhorar o desempenho do sistema em estudo (SILVA, 1998).

A simulação pode ser realizada computacionalmente, sendo um instrumento muito útil na modelagem e estudo de vários tipos de sistemas, desde sistemas naturais até sistemas econômicos e sociais. A simulação faz com que sistemas reais possam ser estudados sem que realmente haja um, permitindo que mudanças em vários aspectos do sistema possam ser experimentadas sem correr o risco de sofrer conseqüências indesejadas (SASAKI, 2007).

Pode-se apontar inúmeras vantagens do uso de simulações, nas mais diversas áreas, entre as principais temos:

- ◆ A simulação possibilita o estudo e a experimentação de complexas interações internas de um dado sistema, seja uma empresa ou parte desta;
- ◆ Podem ser estudadas algumas variações em um ambiente e verificados seus efeitos em todo o sistema;
- ◆ Simulações de sistemas complexos podem fornecer importantes percepções no sentido de descobrir as variáveis mais importantes do sistema e a maneira de como elas se interagem.

A simulação em sistemas que utilizam elementos onde as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos específicos de tempo; ou seja, onde o tempo da simulação é descontínuo, é denominada **simulação de eventos discretos**. Sendo este o modelo de simulação usado neste trabalho. As características da simulação são dadas pela teoria de filas.

### 3.1 O Modelo das Simulações

Neste trabalho a teoria de filas é usada para descrever a execução das demandas geradas por 9 usuários que utilizam cinco aplicações (*streaming de vídeo, file-download, web-browsing, e-mail e small-transaction*) dos provedores de serviço da internet. Para as simulações foi considerado que uma *Base-Station* (BS) controlará as estações-móveis (AT) e será vista como centro de controle (MENON, 2007).

Foram feitas simulações com *throughput* médio de 600 kbps, tanto para a comunicação TDD como FDD, utilizando o *software Arena* (que será descrito no item 3.1.1), que gera o tempo das filas em minutos para os cenários propostos de TDD e FDD. O tempo das filas converge para um valor à medida que se aumenta o número de canais utilizado. A grandeza que caracteriza a eficiência dos padrões TDD e FDD é o número mínimo de canais necessário para que o tempo de espera de todos os serviços considerados tenha convergido para um valor fixo. Como canal significa alocação de banda no espectro de frequência, quanto menor este número, mais eficiente pode-se considerar a técnica de duplexação.

Cada tipo (*i*) de serviço será caracterizado pelos parâmetros:

- ◆ A taxa média de chegadas ( $\lambda_i$ );
- ◆ Intervalos entre chegadas descrito pela Distribuição Exponencial Negativa →  $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$ ;
- ◆ O tempo médio de serviço ( $\tau_i$ );
- ◆ Número de canais;
- ◆ Disciplina na fila: A disciplina da fila<sup>6</sup> usado no modelo de simulação por eventos discretos deste trabalho utiliza o conceito FIFO (*First-In,*

---

<sup>6</sup> As disciplinas de filas referem-se às regras que o servidor empregará para decidir qual será o próximo cliente da fila a ser atendido. As disciplinas mais comuns são: *FIFO*, também chamada *FCFS* (*First-come-First-served*) e *LIFO*: *Last-In, First-Out; comportamento de pilha*.



*First-Out*), ou seja, o atendimento é feito por ordem de chegada, onde o primeiro a chegar é o primeiro a ser atendido.

O **Tempo Médio de Serviço  $\tau_i$**  é calculado pela expressão:

$$\tau_i = \left[ \left( \frac{(\text{Tamanho\_do\_Pacote})}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

Onde:

- ◆ **Tamanho\_Pacote ( $i$ )** = Tamanho do Pacote por aplicação ( $i$ );
- ◆ **Throughput** = Velocidade de transmissão (neste caso 600 Kbps);
- ◆ **/60s** = Divide-se por 60s, para se obter os valores em minutos.

Através de um *software* de monitoramento<sup>7</sup> ou observações estatísticas, pode-se constatar que o tráfego gerado através do canal de comunicação pelos usuários é mais intenso em determinados horários e menos intenso em outros (MENON, 2007).

Estes períodos de maior movimento (PMM) dos usuários, também conhecidos como **horários de maior movimento** (HMM) ou **busy hour** (BH) são considerados como base para o cálculo da taxa de chegada no simulador de eventos discretos. Sendo:

$$\lambda_i = \left( \frac{N^\circ - de - Arquivos(i)}{Horas(i) * 60min} \right)$$

---

<sup>7</sup> O *Software* de monitoramento citado foi *NetPerSec*, que é uma ferramenta que permite a visualização do *Throughput* do tráfego de subida e descida. Este *software* não cria um *log* da monitoração realizada, é demonstrado somente *on line a performance do Throughtput*.

Onde:

- ◆  $\lambda_i$  = Taxa de Chegada de cada Aplicação em particular;
- ◆ **Nº-de-Arquivos ( $i$ )** = Quantidade de Arquivos de cada aplicação que compõem a BH;
- ◆ **Horas ( $i$ )** = Quantidade de tempo que compõem a BH;
- ◆ **\*60min** = Multiplica-se por 60min, para se obter os valores em minutos.

Como descrito anteriormente, a *Busy-Hour* (BH) é considerada como base para cálculo da taxa de chegada no simulador em todas as aplicações. Tem-se então a Tabela 2 mostrando todos os serviços, com todas as variáveis envolvidas.

Onde para todos os serviços é considerado um Percentual de Atividade na Sessão<sup>8</sup> de um valor ( $i$ ), será aberto uma Sessão de Terminal de Leitura<sup>9</sup>, com um valor ( $i$ ) e, onde a interface área colocará em estado de *dormant*<sup>10</sup> a portadora em ( $i$ ) segundos.

Percebe-se que as aplicações *streaming* e *small-t* ocuparão a interface aérea 100% do tempo; isto ocorre devido ao tempo-de-leitura ser menor que o tempo de *dormant*.

---

<sup>8</sup> Percentual de Atividade na Sessão correspondente à parte do tempo total em que o usuário ficou realmente ativo.

<sup>9</sup> Sessão de Terminal de Leitura é o tempo compreendido entre duas atividades realizadas pelo usuário na rede para uma determinada aplicação ( $i$ ). Utilizado normalmente para leitura e uso das aplicações descarregadas (*download*), medidos em segundos.

<sup>10</sup> *Dormant*: situação onde o usuário com sessão aberta não esteja transacionando dados por um intervalo de tempo (baixa atividade), entra em estado dormente.

**Tabela 2.** Modelo de Tráfego para 1 Usuário e Percentual de Atividade na Sessão.

MODELO DE TRÁFEGO			
Aplicação	Tempo de Leitura (em segundos)	Quantidade de Utilização na sessão	Percentual de Atividade na Sessão (%)
Streaming	n/a	1	100%
Download	180	1	60%
Web	40	20	36%
E-mail	60	10	18%
Small-T	5,5	2	100%

Fonte: Adaptado de Menon (2007).

1) Para o serviço de **Streaming de Vídeo**, tem-se então:

- ◆ **Tempo Médio de Serviço  $\tau_s$** : supondo que **uma imagem de 2400 kbytes** (onde o tamanho da imagem =  $2400 \cdot 1000 \cdot 8 = 19.200.000$  bits), e um *Throughput* de 600 Kbps. Calcula-se:

$$\tau_s = \left[ \left( \frac{\text{Tamanho\_da\_Imagem}}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_s = \left[ \left( \frac{(19200000 \text{ bits/imagem})}{600.000 \text{ bits / s}} \right) / 60 \right]$$

$$\tau_s = 0,533 \text{ min/imagem}$$

- ◆ **Taxa de Chegada  $\lambda_s$** : Supondo que se tem a chegada de **uma imagem a cada 2s**. Calcula-se:

$$\lambda_s = 0,5 \text{ imagem/seg} = 0,5 \cdot 60 \text{ imagem/min}$$

$$\lambda_s = 30 \text{ imagens/min}$$

2) Para o serviço de **Download**, tem-se então:

- ◆ **Tempo Médio de Serviço  $\tau_D$** : supondo que se tem a chegada de um arquivo de 2Mbytes (onde o tamanho do arquivo

=  $2\text{Mbytes} \cdot 8 = 16.000 \text{ kbits/arquivo}$ ), e um *Throughput* de 600 Kbps. Calcula-se:

$$\tau_D = \left[ \left( \frac{(\text{Tamanho\_do\_Arquivo})}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_D = \left[ \left( \frac{(16\,000 \text{ kbits/arquivo})}{600.000 \text{ bits/s}} \right) / 60 \right]$$

$$\tau_D = 0,4444 \text{ min/arquivo}$$

- ♦ **Taxa de Chegada  $\lambda_D$ :** Os arquivos compreendem valores a serem recebidos (da BS para o terminal) e estes serão solicitados no período compreendido na razão-de-tráfego; ou seja, as 6 horas que compõe a *Base-Hour*. (MENON, 2007). Supondo que se tem a chegada de **uma imagem a cada 2s**. Calcula-se:

$$\lambda_D = \frac{18 \text{ arquivos}}{(6 \text{hs} * 60 \text{min})}$$

$$\lambda_D = 0,05 \text{ arquivos/min}$$

3) Para o serviço de **Web-Browsing**, tem-se então:

- ♦ **Tempo Médio de Serviço  $\tau_w$ :** Supondo que: **uma mudança de página** tem-se **um pacote de 54 kbytes** (onde o tamanho do pacote =  $54 \cdot 1000 \cdot 8 = 432.000 \text{ bits}$ ), e um *Throughput* de 600 Kbps. Calcula-se:

$$\tau_w = \left[ \left( \frac{(\text{Tamanho\_do\_Pacote})}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_w = \left[ \left( \frac{(432000 \text{ bits/arquivo})}{600.000 \text{ bits/s}} \right) / 60 \right]$$

$$\tau_w = 0,012 \text{ min/pacote}$$

- ◆ **Taxa de Chegada  $\lambda_w$ :** Supondo que o envio de um pacote ocorre 20 vezes a cada 40s. Calcula-se:

$$\lambda_w = 20/40 \text{ pacote/seg} = 0,5*60 \text{ pacotes/min}$$

$$\lambda_w = 30 \text{ pacotes/min.}$$

4) Para o serviço de **E-Mail**, tem-se então:

- ◆ **Tempo Médio de Serviço  $\tau_E$ :** supondo que cada **mensagem enviada** tem-se um pacote **10 kbytes** (onde o **tamanho do pacote =  $10*1000*8 = 80.000 \text{ bits}$** ), e um *Throughput* de 600 Kbps. Calcula-se:

$$\tau_E = \left[ \left( \frac{(\text{Tamanho\_do\_Pacote})}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_E = \left[ \left( \frac{(80.000 \text{ bits/imagem})}{600.000 \text{ bits / s}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_E = 0,0022 \text{ min/pacote}$$

- ◆ **Taxa de Chegada  $\lambda_E$ :** Supondo que o envio de um pacote ocorre 10 vezes a cada 60s. Calcula-se:

$$\lambda_E = 10/60 \text{ pacote/seg} = 0,16*60 \text{ pacotes/min}$$

$$\lambda_E = 0,99 \text{ pacotes/min.}$$

5) Para o serviço de **Small-Transaction**, tem-se então:

- ◆ **Tempo de Serviço  $\tau_{ST}$ :** Supondo que **uma confirmação de transação** de um pacote de **0,52 kbytes** (onde o tamanho do pacote =  $520*8 = 4160 \text{ bits}$ ), e um *Throughput* de 600 Kbps. Calcula-se:

$$\tau_{ST} = \left[ \left( \frac{(\text{Tamanho\_do\_Pacote})}{\text{Throughput}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_{ST} = \left[ \left( \frac{4160 \text{ bits/pacote}}{600.000 \text{ bits / s}} \right) / 60s \right]$$

$$\tau_{ST} = 0,000115 \text{ min/pacote.}$$

- ♦ **Taxa de Chegada  $\lambda_{ST}$ :** Supondo que o envio de 1 pacote ocorre 2 vezes a cada 5,5s. Calcula-se:

$$\lambda_{ST} = 2/5,5 \text{ pacotes/seg} = 0,36 * 60 \text{ pacotes/min}$$

$$\lambda_{ST} = 21,82 \text{ pacotes/min}$$

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Recursos Utilizados

Foi utilizado para a construção do simulador o *software* Arena, versão 12 licenciada. Para simulação de eventos discretos é fundamental que o processo seja modelado com parâmetros que represente o mundo real (PRADO, 2004).

Uma grande vantagem deste simulador está associada ao tempo reduzido para construção do modelo, e a facilidade de utilização por ser uma ferramenta *user-friendly*, com menus e gráficos relacionados com o sistema específico.

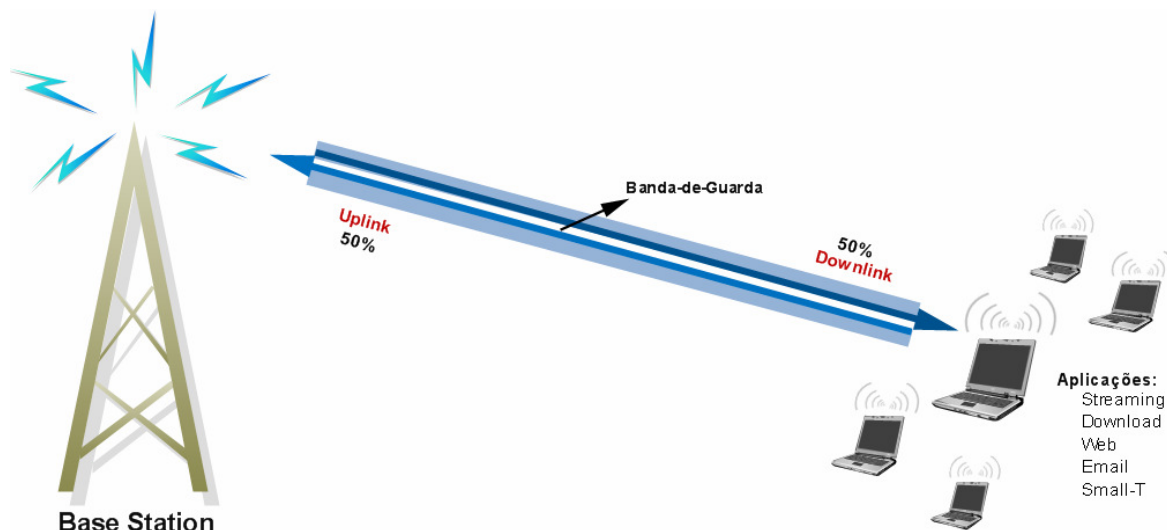
Já hardware utilizado para a execução das simulações foi um *notebook* Toshiba processador *Intel Core 2 Duo* de 1,67 GHz, 200 *Gbytes* de disco-rígido e 2 *Gbytes* de memória RAM.

Como as simulações foram feitas via rede, pelo *LabSira* da PUC, onde o *software* Arena está residente, a configuração da máquina é um processador Intel Xeon de 1.86 GHz, com 250 *Gbytes* de disco-rígido e 4 *Gbytes* de memória RAM.

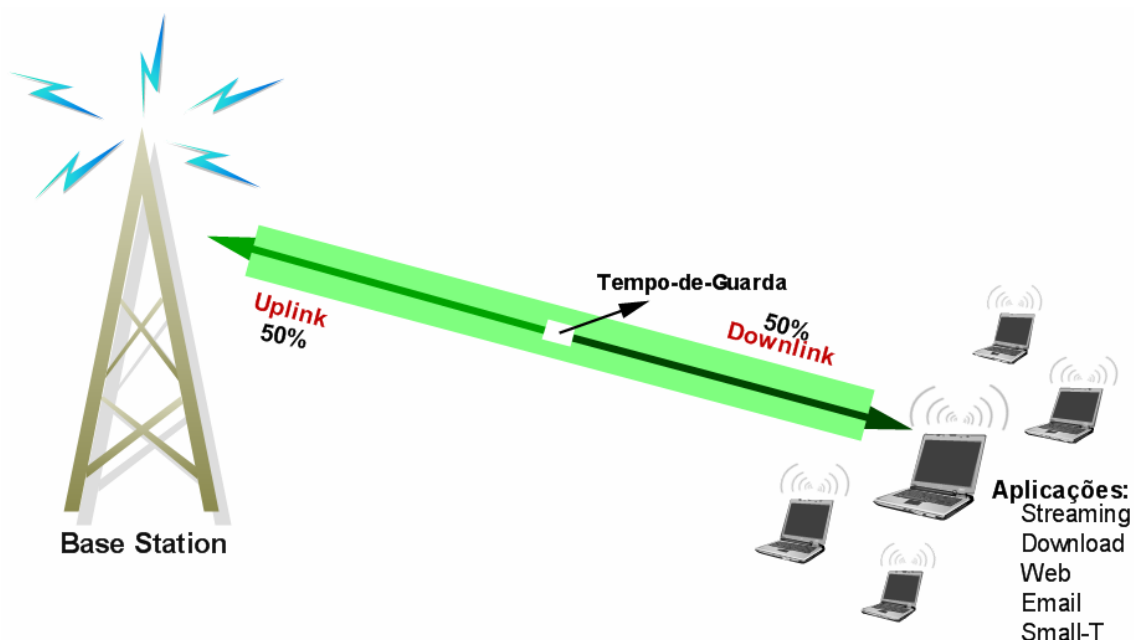
### 4.2 Procedimentos para Simulação: Cenários Simulados

O objetivo das simulações foi avaliar qual das técnicas, TDD ou FDD, é mais eficiente quando vários serviços estão disponíveis na rede. O parâmetro de eficiência considerado no modelo das simulações foi o número mínimo de canais necessários em cada uma das técnicas de duplexação nos serviços especificados.

O ambiente das simulações tanto na técnica FDD como na TDD, é ilustrado nas figuras 6 e 7.



**Figura 6.** Ambiente das simulações na comunicação FDD.



**Figura 7.** Ambiente das simulações na comunicação TDD.

Foram utilizados 3 cenários para as simulações em ambas as técnicas de duplexação, onde a variação dos cenários ocorreu de acordo com o perfil de tráfego utilizado. Onde temos:

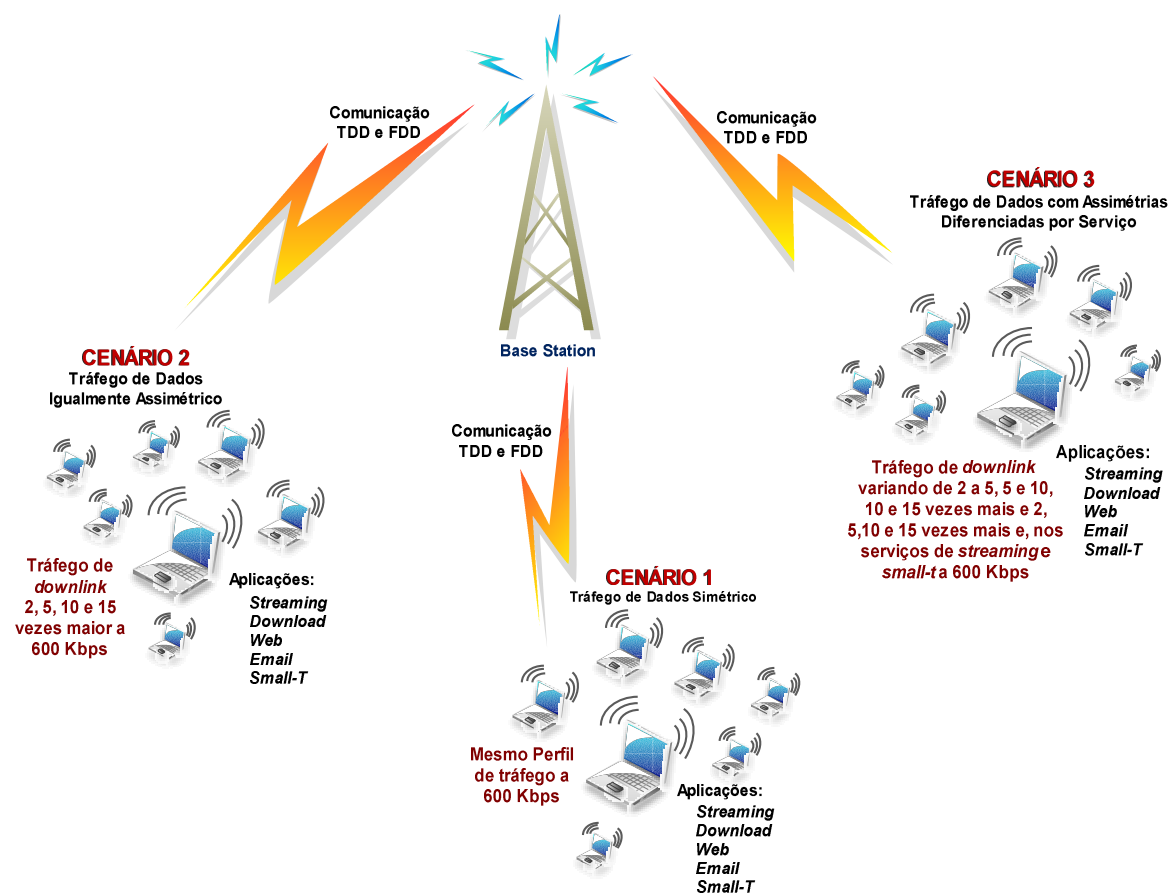
**1º Cenário:** tráfego de dados simétrico; ou sejam considerando o mesmo perfil de tráfego para *downlink* e *uplink*;

**2º Cenário:** tráfego de dados igualmente assimétrico para todos os serviços; ou seja, considerando o tráfego de *downlink* é 2, 5, 10 e 15 vezes maior que o de *uplink*;



**3º Cenário:** tráfego de dados com assimetrias diferenciadas por serviços; ou seja, considerando o tráfego de *downlink* nos diversos serviços variando de 2 a 5 vezes maior, de 5 a 10 vezes maior, e de 10 a 15 vezes maior que o *uplink* e de 2, 5, 10 e 15 vezes mais no *downlink* que o *uplink* para os serviços de *streaming* e *small-t*.

A Figura 8 ilustra estes 3 cenários acontecendo na interface área em ambas as técnicas de duplexação.



**Figura 8.** Ambiente com todos os cenários das simulações nas comunicações TDD e FDD.

#### 4.2.1 Cenário 1 – Tráfego de Dados Simétricos

Neste primeiro cenário proposto é mostrado o comportamento de utilização dos diversos serviços das comunicações nas duas técnicas, TDD e FDD, onde todas as simulações foram feitas de 4 a 60 canais. Neste caso existe uma total simetria entre *uplink* e *downlink* para todos os serviços considerados.



### 4.2.3 Cenário 3 - Tráfego com assimetrias diferenciadas por serviços

Para este terceiro cenário, onde o tráfego de *downlink* nos vários serviços tem variação de 2 a 5 vezes mais (chamado de perfil de tráfego 3A), 5 a 10 vezes mais (chamado de perfil de tráfego 3B), 10 a 15 vezes mais que o *uplink* (chamado de perfil de tráfego 3C) e de 2, 5, 10 e 15 vezes mais no *downlink* que o *uplink* para os serviços de *Streaming* e *Small-T*.

Justifica-se o desenvolvimento deste cenário com perfil de tráfego de dados variado, pois buscou-se criar um perfil de tráfego com proporções assimétricas, para saber a reação das técnicas variando a proporção do tráfego; pois até o momento tinha-se somente perfil de tráfego simétricos, ou com proporções iguais.

Neste cenário inicialmente tem-se o tráfego de dados variando 5 vezes mais em um serviço e 2 vezes mais em todos os outros serviços. A Tabela 5 ilustra este cenário na técnica TDD e FDD.

**Tabela 5.** Cenário 3A: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 5 vezes mais a 2 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com *throughput* médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.

Cenário 3 para Técnica TDD				Cenário 3 para Técnica FDD			
Cenário 3A: 5Vz+ e 2Vz+				Cenário 3A: 5Vz+ e 2Vz+			
Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços
5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming
2Vz+	Download	5Vz+	Download	2Vz+	Download	5Vz+	Download
2Vz+	Web	5Vz+	Web	2Vz+	Web	5Vz+	Web
2Vz+	Email	5Vz+	Email	2Vz+	Email	5Vz+	Email
2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T
2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming
5Vz+	Download	2Vz+	Download	5Vz+	Download	2Vz+	Download
2Vz+	Web	5Vz+	Web	2Vz+	Web	5Vz+	Web
2Vz+	Email	5Vz+	Email	2Vz+	Email	5Vz+	Email
2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T
2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming
2Vz+	Download	5Vz+	Download	2Vz+	Download	5Vz+	Download
5Vz+	Web	2Vz+	Web	5Vz+	Web	2Vz+	Web
2Vz+	Email	5Vz+	Email	2Vz+	Email	5Vz+	Email
2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T
2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming
2Vz+	Download	5Vz+	Download	2Vz+	Download	5Vz+	Download
2Vz+	Web	5Vz+	Web	2Vz+	Web	5Vz+	Web
5Vz+	Email	2Vz+	Email	5Vz+	Email	2Vz+	Email
2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T
2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	2Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming
2Vz+	Download	5Vz+	Download	2Vz+	Download	5Vz+	Download
2Vz+	Web	5Vz+	Web	2Vz+	Web	5Vz+	Web
2Vz+	Email	5Vz+	Email	2Vz+	Email	5Vz+	Email
5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	2Vz+	Small-T

No cenário 3B tem-se o tráfego de dados variando 10 vezes mais em um serviço e 5 vezes mais em todos os outros serviços, onde esta variação acontece com todos os serviços. Por exemplo, quando o serviço de *streaming* estiver com um tráfego de 10 vezes maior, os outros serviços (*download*, *web*,

*email e small-t*) estarão com um tráfego de 5 vezes maior. A Tabela 6 ilustra este cenário nas técnicas TDD e FDD.

**Tabela 6.** Cenário 3B: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 10 vezes mais a 5 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com *throughput* médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.

Cenário 3 para Técnica TDD				Cenário 3 para Técnica FDD			
Cenário 3B: 10Vz+ e 5Vz+				Cenário 3B: 10Vz+ e 5Vz+			
Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços
10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming
5Vz+	Download	10Vz+	Download	5Vz+	Download	10Vz+	Download
5Vz+	Web	10Vz+	Web	5Vz+	Web	10Vz+	Web
5Vz+	Email	10Vz+	Email	5Vz+	Email	10Vz+	Email
5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T
5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming
10Vz+	Download	5Vz+	Download	10Vz+	Download	5Vz+	Download
5Vz+	Web	10Vz+	Web	5Vz+	Web	10Vz+	Web
5Vz+	Email	10Vz+	Email	5Vz+	Email	10Vz+	Email
5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T
5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming
5Vz+	Download	10Vz+	Download	5Vz+	Download	10Vz+	Download
10Vz+	Web	5Vz+	Web	10Vz+	Web	5Vz+	Web
5Vz+	Email	10Vz+	Email	5Vz+	Email	10Vz+	Email
5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T
5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming
5Vz+	Download	10Vz+	Download	5Vz+	Download	10Vz+	Download
5Vz+	Web	10Vz+	Web	5Vz+	Web	10Vz+	Web
10Vz+	Email	5Vz+	Email	10Vz+	Email	5Vz+	Email
5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T
5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	5Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming
5Vz+	Download	10Vz+	Download	5Vz+	Download	10Vz+	Download
5Vz+	Web	10Vz+	Web	5Vz+	Web	10Vz+	Web
5Vz+	Email	10Vz+	Email	5Vz+	Email	10Vz+	Email
10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	5Vz+	Small-T

No cenário 3C tem-se o tráfego de dados variando 15 vezes mais em um serviço e 10 vezes mais em todos os outros serviços, esta variação também

acontece com todos os serviços. Por exemplo, quando o serviço de *streaming* estiver com um tráfego 15 vezes maior para os outros serviços: *download*, *web*, *email* e *small-t*, os outros estarão com um tráfego 10 vezes maior. A Tabela 7 ilustra este cenário nas técnicas TDD e FDD.

**Tabela 7.** Cenário 3C: Técnica TDD e FDD – Tráfego de dados 15 vezes mais a 10 vezes mais. Simulação de tempo de fila em minutos, utilizando 9 usuários com *throughput* médio de 600 kbps para tráfego gerado nos serviços.

Cenário 3 para Técnica TDD				Cenário 3 para Técnica FDD			
Cenário 3C: 15Vz+ e 10Vz+				Cenário 3C: 15Vz+ e 10Vz+			
Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços	Taxas	Serviços
15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming
10Vz+	Download	15Vz+	Download	10Vz+	Download	15Vz+	Download
10Vz+	Web	15Vz+	Web	10Vz+	Web	15Vz+	Web
10Vz+	Email	15Vz+	Email	10Vz+	Email	15Vz+	Email
10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T
10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming
15Vz+	Download	10Vz+	Download	15Vz+	Download	10Vz+	Download
10Vz+	Web	15Vz+	Web	10Vz+	Web	15Vz+	Web
10Vz+	Email	15Vz+	Email	10Vz+	Email	15Vz+	Email
10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T
10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming
10Vz+	Download	15Vz+	Download	10Vz+	Download	15Vz+	Download
15Vz+	Web	10Vz+	Web	15Vz+	Web	10Vz+	Web
10Vz+	Email	15Vz+	Email	10Vz+	Email	15Vz+	Email
10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T
10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming
10Vz+	Download	15Vz+	Download	10Vz+	Download	15Vz+	Download
10Vz+	Web	15Vz+	Web	10Vz+	Web	15Vz+	Web
15Vz+	Email	10Vz+	Email	15Vz+	Email	10Vz+	Email
10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T
10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming	10Vz+	Streaming	15Vz+	Streaming
10Vz+	Download	15Vz+	Download	10Vz+	Download	15Vz+	Download
10Vz+	Web	15Vz+	Web	10Vz+	Web	15Vz+	Web
10Vz+	Email	15Vz+	Email	10Vz+	Email	15Vz+	Email
15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T	15Vz+	Small-T	10Vz+	Small-T



## 5 RESULTADOS OBTIDOS

No capítulo 4, foi apresentado como foram efetuadas as simulações dos 3 cenários com as técnicas de duplexação TDD e FDD, de acordo com um perfil de tráfego, simétrico ou assimétrico.

Neste capítulo serão mostrados os resultados nos 3 cenários e apresentada uma análise dos mesmos.

### 5.1 Cenário 1 – Tráfego Simétrico

Neste cenário foram consideradas as cinco aplicações (*Streaming, Download, Web, E-mail e Small-Transaction*) tanto para *downlink* e *uplink*, sendo que o número de canais na BS variam de 4 a 60, com um *throughput* de 600 kbps. A Tabela 9 apresenta o tempo de fila em minutos para cada um dos serviços com diferentes números de canais.

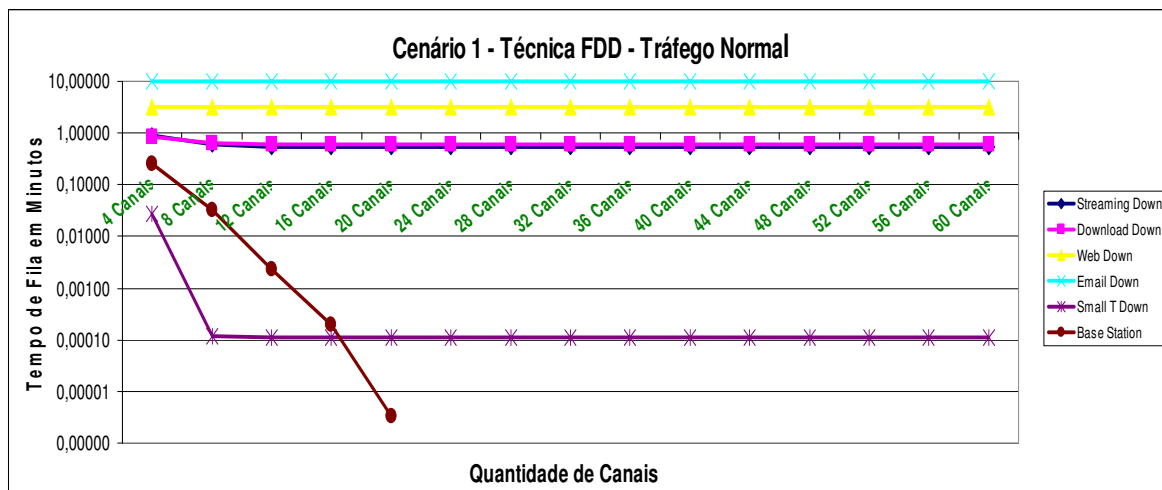
**Tabela 9.** Cenário 1: Técnica TDD - Mesmo perfil de tráfego de dados para *up* e *downlink*.

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,84682	0,52879	0,44641	0,37206	0,36339	0,36289	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278	0,36278
Download Down	0,86791	0,48060	0,46304	0,46060	0,45957	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931	0,45931
Web Down	3,22500	3,17460	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440	3,17440
Email Down	9,84950	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,00604	7,02200E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05	6,90060E-05
Base Station	0,31075	0,07293	0,02600	0,00352	2,01910E-04	1,95280E-05	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

O Gráfico 1 mostra os resultados da simulação deste estudo para a técnica TDD. Pode-se observar que o tempo de espera para os serviços de *E-mail* e *Web* se mantém constante a partir de 4 canais, enquanto que esta estabilidade para os serviços de *streaming* e *download* ocorre a partir de 16 canais. Para o serviço de *Small-T* vemos que o tempo de fila se estabiliza a partir de 8 canais. Portanto, considerando o conjunto de serviços, podemos dizer que com a técnica TDD são necessários 16 canais para que o tempo de fila de todos os serviços se estabilizem.







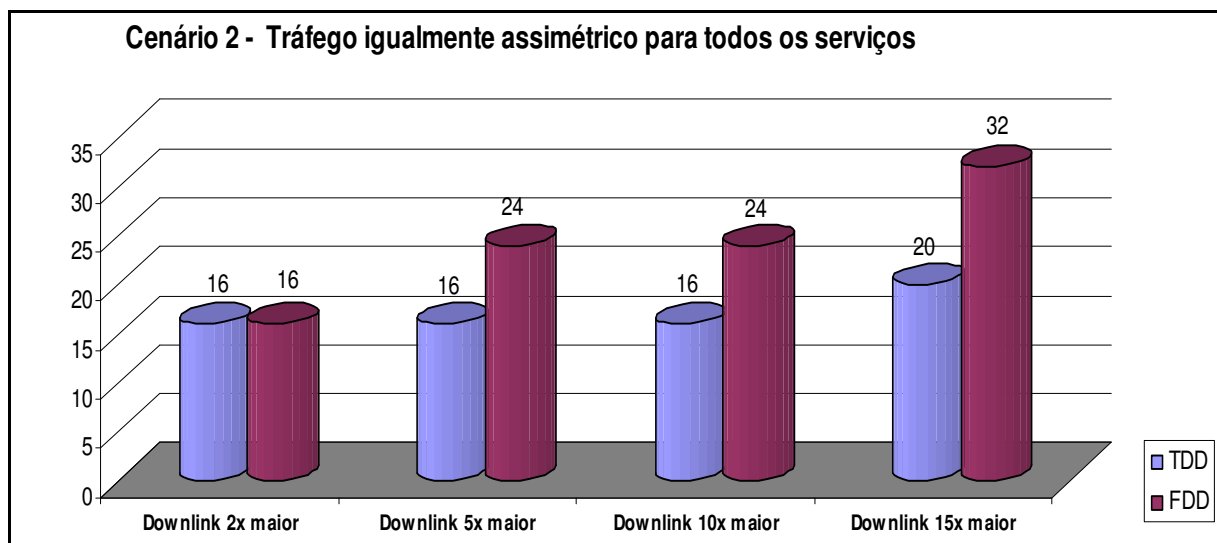
**Gráfico 2.** Técnica FDD com o mesmo perfil de tráfego de dados tanto para *uplink* como para *downlink*.

## 5.2 Cenário 2 - Tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços

Neste cenário consideram-se as cinco aplicações (*Streaming*, *Download*, *Web*, *E-mail* e *Small-Transaction*) tanto para *downlink* e *uplink*, sendo que o número de canais na BS variam de 4 a 60, e um *throughput* de 600 kbps. O perfil de tráfego para *downlink*, neste caso é igualmente maior do que para *uplink* para todos os serviços. Consideramos a taxa de chegada dos serviços para *downlink* 2, 5, 10 e 15 vezes maior do que para *uplink*. Na Tabela 11 encontram-se os resultados para este caso.

**Tabela 11.** Cenário 2: Técnica TDD e FDD - Tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços

Cenário 2	TDD ( <i>down</i> e <i>uplink</i> )	FDD ( <i>downlink</i> )	FDD ( <i>down</i> e <i>uplink</i> )
<i>Downlink</i> 2x maior que <i>uplink</i>	16	8	8x2 = 16
<i>Downlink</i> 5x maior que <i>uplink</i>	16	12	12x2 = 24
<i>Downlink</i> 10x maior que <i>uplink</i>	16	12	12x2 = 24
<i>Downlink</i> 15x maior que <i>uplink</i>	20	16	16x2= 32



**Gráfico 3.** Cenário 2: Resultados das técnicas TDD e FDD com tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços.

Percebe-se que neste caso, como o tráfego é assimétrico, a técnica TDD utiliza melhor os canais, ficando parte do canal ocioso com a técnica FDD.

### 5.3 Cenário 3 – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço

Neste cenário em todas as simulações consideramos as cinco aplicações (*Streaming, Download, Web, E-mail e Small-Transaction*) tanto para *downlink* e *uplink*, sendo que o número de canais na BS variam de 4 a 60, e um *throughput* de 600 kbps.

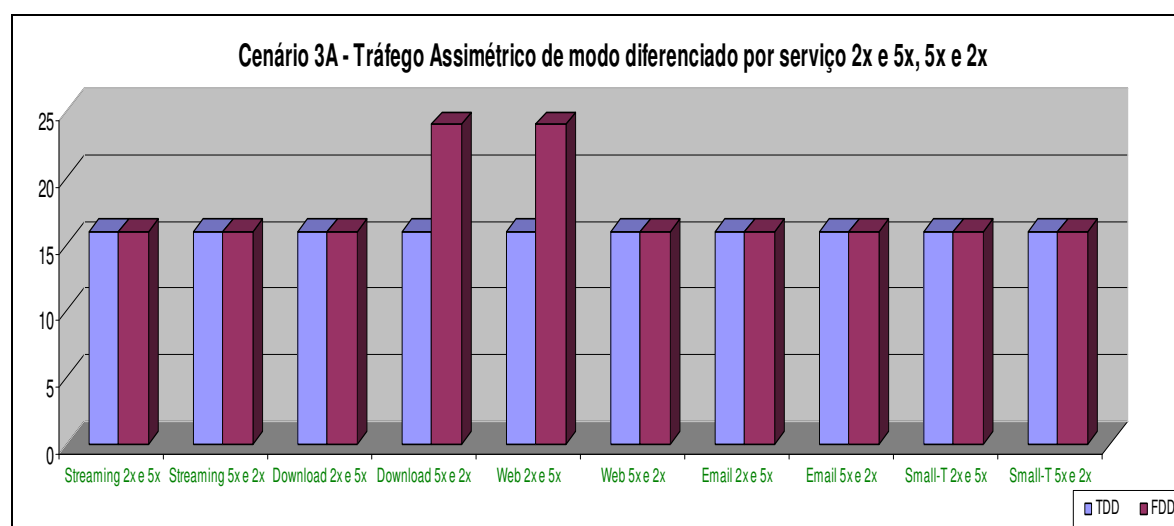
O perfil de tráfego para *downlink*, neste caso é extremamente assimétrico, por exemplo, quando um serviço estiver 2 vezes maior, os outros serviços estarão 5 vezes maior, isto no *downlink*, e o *uplink* permanecerá com o perfil de tráfego normal. Sendo que o tráfego de dados terá uma variação de 2 vezes mais e 5 vezes mais (Cenário 3A), 5 vezes mais e 10 vezes mais (Cenário 3B), 10 vezes mais e 15 vezes mais (Cenário 3C) e 2, 5, 10 e 15 vezes maior nos serviços de *streaming* e *small-t* (Cenário 3D).

A Tabela 12 mostra os resultados para o cenário 3A.

**Tabela 12.** Cenário 3A: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 2x e 5x

Cenário 3A	TDD (down e uplink)	FDD (downlink)	FDD (down e uplink)
Streaming 2x outros 5x	16	8	8x2= 16
Streaming 5x outros 2x	16	8	8x2= 16
Download 2x outros 5x	16	8	8x2= 16
Download 5x outros 2x	16	12	12x2= 24
Web 2x outros 5x	16	12	12x2= 24
Web 5x outros 2x	16	8	8x2= 16
Email 2x outros 5x	16	8	8x2= 16
Email 5x outros 2x	16	8	8x2= 16
Small-T 2x outros 5x	16	8	8x2= 16
Small-T 5x outros 2x	16	8	8x2= 16

Na Tabela acima o número de canais na técnica FDD está indicado como 8. Para determinar a quantidade de canais utilizadas na técnica FDD, multiplicou-se por dois, obteve-se a quantidade de canais necessários. O Gráfico 4 mostra a diferença existente entre as técnicas neste cenário.



**Gráfico 4.** Cenário 3A: Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.

Neste cenário como o tráfego é assimétrico diferenciado por serviços (2x e 5x, 5x e 2x), não se pode dizer qual técnica TDD utiliza melhor os canais, pois houve algumas situações TDD mostrou melhor desempenho com relação ao

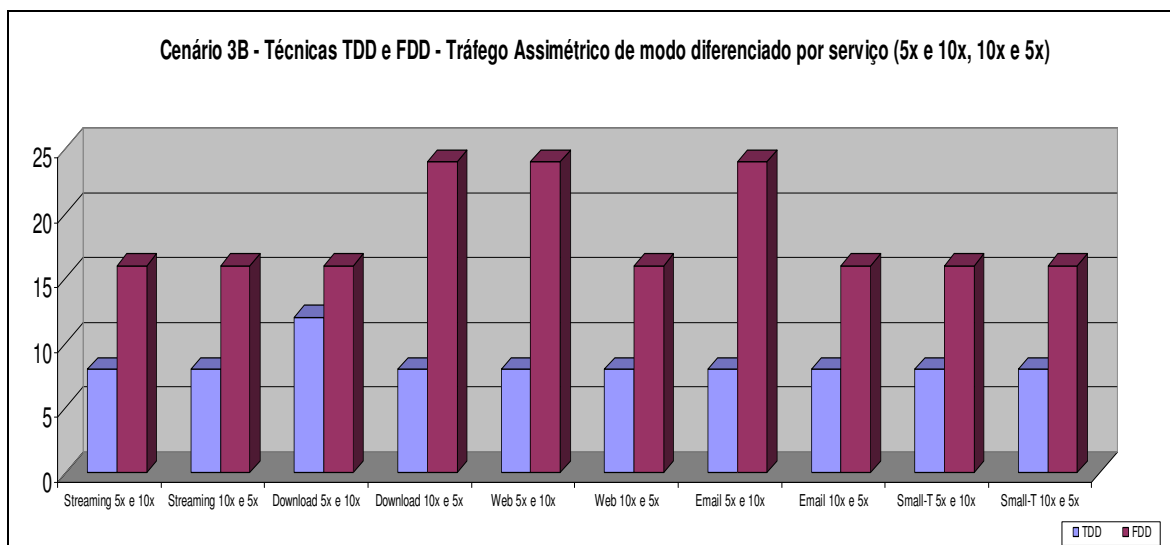
tráfego (como por exemplo: nos serviços de *download* 5 vezes mais e 2 duas vezes mais e *web* 2 vezes mais e 5 vezes mais, a técnica TDD utilizou 16 canais e FDD utilizou 24 canais), ficando então uma parte do canal ocioso com a técnica FDD. Mas em todas as outras situações, pode-se dizer que neste cenário o desempenho da técnica TDD foi equivalente à da técnica FDD.

A Tabela 13 mostra os resultados para o cenário 3B em ambas as técnicas.

**Tabela 13.** Cenário 3B: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 5x e 10x

Cenário 3B	TDD ( <i>down e uplink</i> )	FDD ( <i>downlink</i> )	FDD ( <i>down e uplink</i> )
Streaming 5x outros 10x	8	8	8x2= 16
Streaming 10x outros 5x	8	8	8x2= 16
Download 5x outros 10x	12	8	8x2= 16
Download 10x outros 5x	8	12	12x2= 24
Web 5x outros 10x	8	12	12x2= 24
Web 10x outros 5x	8	8	8x2= 16
Email 5x outros 10x	8	12	12x2= 24
Email 10x outros 5x	8	8	8x2= 16
Small-T 5x outros 10x	8	8	8x2= 16
Small-T 10x outros 5x	8	8	8x2= 16

Neste cenário 3B, onde o tráfego também é assimétrico diferenciado por serviços sendo 5x e 10x, 10x e 5x, já se pode perceber uma utilização melhor dos canais com a técnica TDD, ficando uma parte maior de ociosidade de espectro com a técnica FDD. Os serviços que utilizam mais canais com a técnica FDD são *download* (em ambas as situações), *web* e *email* (este dois últimos, somente na situação de 5x e 10x). O Gráfico 5, mostra esta situação.



**Gráfico 5.** Cenário 3B: Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços

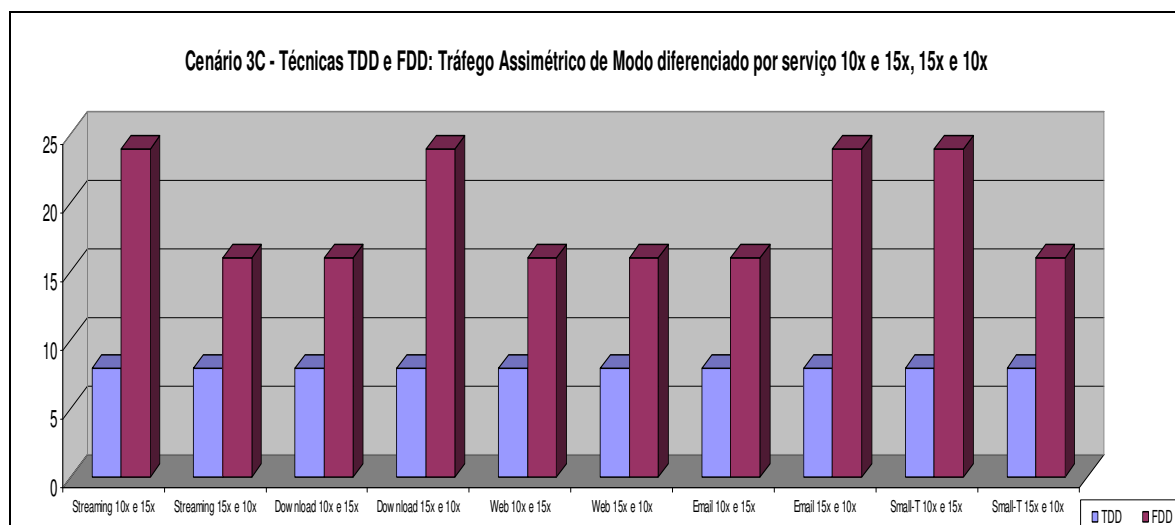
Os resultados do cenário 3C em ambas as técnicas são mostrados na Tabela 14.

**Tabela 14.** Cenário 3C: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 10x e 15x

Cenário 3C	TDD (down e uplink)	FDD (downlink)	FDD (down e uplink)
Streaming 10x outros 15x	8	12	12x2= 24
Streaming 15x outros 10x	8	8	8x2= 16
Download 10x outros 15x	8	8	8x2= 16
Download 15x outros 10x	8	12	12x2= 24
Web 10x outros 15x	8	8	8x2= 16
Web 15x outros 10x	8	8	8x2= 16
Email 10x outros 15x	8	8	12x2= 24
Email 15x outros 10x	8	12	12x2= 24
Small-T 10x outros 15x	8	12	12x2= 24
Small-T 15x outros 10x	8	8	8x2= 16

Neste cenário 3C, onde o tráfego também é assimétrico diferenciado por serviços sendo 10x e 15x, 15x e 10x, percebe-se uma utilização melhor dos canais com a técnica TDD, ficando parte ociosa do espectro com a técnica FDD. Os serviços que utilizam mais canais com a técnica FDD neste cenário são: *streaming, download, email e small-t* (todos 3 primeiros serviços com a situação

10x e 15x, e o último, somente na situação de 15x e 10x). O Gráfico 6, mostra esta situação.



**Gráfico 6.** Cenário 3C: Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços

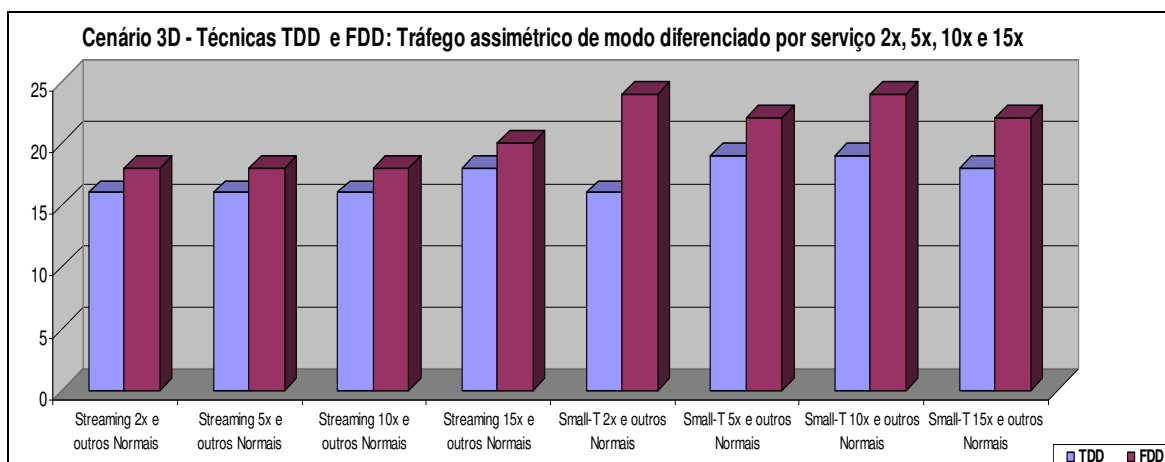
Os resultados do último cenário simulado 3D, em ambas as técnicas são mostrados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Cenário 3D: Técnicas TDD e FDD – Tráfego assimétrico de modo diferenciado por serviço 2x, 5x, 10x e 15x

Cenário 3D	TDD (down e uplink)	FDD (downlink)	FDD (down e uplink)
Streaming 2x outros normais	16	9	9x2= 18
Streaming 5x outros normais	16	9	9x2= 18
Streaming 10x outros normais	16	9	9x2= 18
Streaming 15x outros normais	18	10	10x2= 20
Small-T 2x outros normais	16	12	12x2= 24
Small-T 5x outros normais	19	11	11x2 = 22
Small-T 10x outros normais	19	12	12x2= 24
Small-T 15x outros normais	18	11	11x2= 22

Neste último cenário 3D, onde o tráfego também é assimétrico diferenciado pelos serviços de *streaming* e *small-t* sendo 2x, 5x, 10x e 15x, percebe-se uma utilização melhor dos canais com a técnica TDD, muito pequena para ser impactante, mas mesmo assim, melhor com estes serviços que necessitam de mais espectro. Consta-se que existe ociosidade do espectro com

a técnica FDD. O serviço que utiliza mais canais com a técnica FDD neste cenário é *small-t*. O Gráfico 7 mostra esta situação.



**Gráfico 7.** Cenário 3D: Resultados das técnicas TDD e FDD diferenciado por serviços.

Analisando todos as 4 situações neste terceiro cenário, a técnica **TDD** em grande parte **utiliza entre 8 e 16 canais** enquanto que a técnica **FDD utiliza entre 16 e 24 canais**. Constata-se assim que realmente a técnica TDD utiliza mais eficientemente o espectro com tráfego de dados assimétrico, como é o caso do tráfego da Internet.

Para análise dos resultados em todos os cenários simulados, sendo simétrico e assimétrico, tem-se uma variação na quantidade de canais. A Tabela 16 resume a estes resultados em cada cenário.

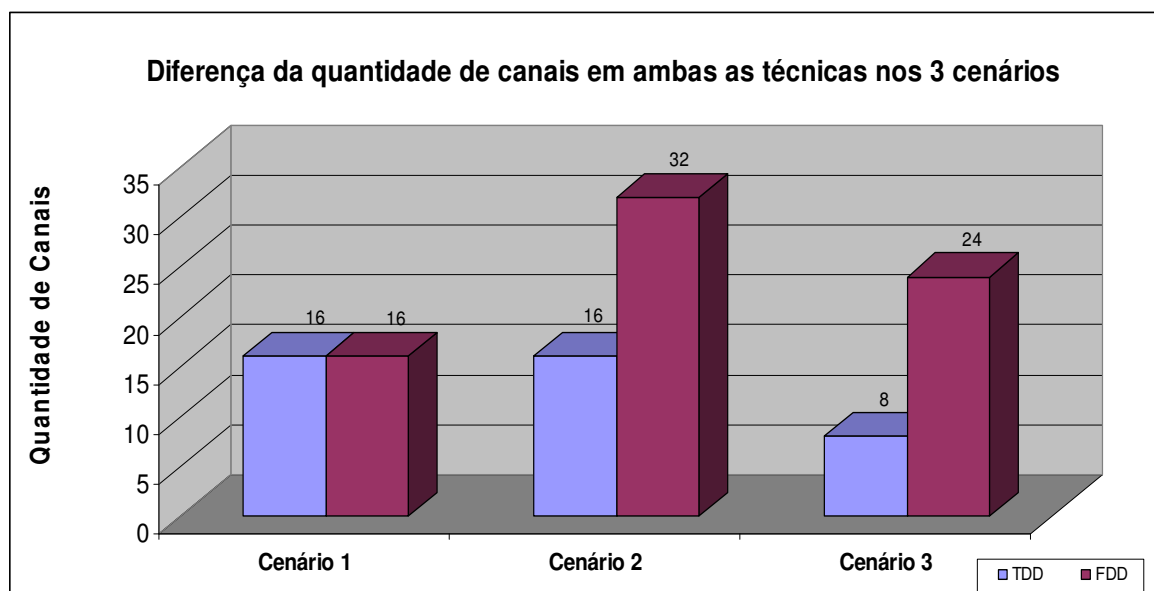
**Tabela 16.** Resultados de todos os cenários em ambas as técnicas TDD e FDD.

CENÁRIOS	TDD	FDD
<b>Cenário 1</b>	16	16
<b>Cenário 2:</b>		
<b>2x</b>	16	16
<b>5x</b>	16	24
<b>10x</b>	16	24
<b>15x</b>	16	32
<b>Cenário 3:</b>		
<b>3A</b>	16	16-24
<b>3B</b>	8-12	16-24
<b>3C</b>	8	16-24
<b>3D</b>	16-19	18-24



Analisando a Tabela 16, pode-se perceber que em um tráfego de dados simétrico (cenário 1) as duas técnicas mostram-se equivalentes. Já nos cenários 2 e 3, sendo um tráfego de dados assimétrico, a técnica TDD, se mostra mais eficiente. Pode-se dizer então que, ao ter um tráfego de dados maior, a técnica TDD mostrará maior eficiência do que a FDD; ou ainda, que a ociosidade na técnica FDD tenderá a aumentar com o aumento do tráfego de dados.

Pode-se perceber ainda pela Tabela 16, que a diferença entre as técnicas variam de 8 a 16 canais no cenário 2 e, de até 16 canais no cenário 3. Podendo sim, estes valores, serem importantes na escolha de utilização das técnicas. O gráfico 8 ilustra esta diferença.



**Gráfico 8.** Diferença da quantidade de canais em ambas as técnicas nos 3 cenários.

## 6 CONCLUSÃO

A tecnologia WiMAX é uma das mais promissoras tecnologias mundiais para prover acesso banda-larga sem fio a longas distâncias. E por este motivo, para prover acesso a redes com qualidade, é importante fazer a avaliação da eficiência espectral desta tecnologia.

A eficiência do espectro é um parâmetro fundamental e extensamente usado para comparar tecnologias sem fios diferentes ou avaliar a eficiência de alguma tecnologia em específico.

Em redes sem fio banda-larga as técnicas de duplexação TDD e FDD são as mais utilizadas<sup>11</sup>. WiMAX pode empregar qualquer uma das duas técnicas. Ambas, FDD e TDD têm suas próprias vantagens, dependendo das aplicações. A técnica FDD utiliza canais distintos de frequência onde são atribuídas a *uplink* e *downlink*. Devido à natureza simétrica, os canais de transmissão de *up* e *downlink* da técnica FDD são sempre de tamanho igual. Conseqüentemente, FDD é utilizado para as aplicações que requerem largura-de-banda iguais de *up* e *downlink*.

Em contrapartida, TDD usa uma única frequência para transmitir sinais de ambas as direções, *uplink* e *downlink*. TDD divide o fluxo de dados em quadros e atribui diferentes faixas de tempo para as transmissões em *up* e *downlink*, dentro de cada *frame*. Considerando que os dispositivos usam o mesmo canal de frequência para transmitir ou receber sobre demanda, de forma flexível, a técnica TDD pode controlar a quantidade de largura de banda atribuída ao *up* e *downlink*. Por esta razão, TDD tem maior eficiência na utilização do espectro nos

---

<sup>11</sup> Existe uma técnica híbrida de duplexação denominada *HFDD - FDD Half-duplex*. A técnica HFDD é bem parecida com a TDD. Um dispositivo de HFDD transmite e recebe em tempos diferentes como um dispositivo TDD. A diferença é que também usa frequências diferentes para transmitir e receber ao comunicar com uma *Base-Station* FDD.

Uma outra técnica de duplexação existente refere-se a TDD, isto acontece quando a relação entre os intervalos de tempo designados para *down* e *uplink* varia no tempo. Neste caso, a técnica TDD é chamada *ATDD - TDD dinâmico* ou adaptável.

cenários de comunicação assimétricos que o FDD, onde o tráfego de *uplink* poderia ser menor que o tráfego *downlink*.

Neste trabalho foi analisada a eficiência espectral considerando estas técnicas de duplexação citadas, através de simulações com um perfil de tráfego de dados simétrico e assimétrico; dentro dos padrões da tecnologia WiMAX 3,5 GHz.

As simulações realizadas com o *software Arena* permitiram uma análise das cinco aplicações: *streaming*, *download*, *web*, *email* e *small-t*, com as técnicas FDD e TDD, avaliando o tempo médio de serviço. Os resultados mostraram que em um tráfego de dados simétrico as duas técnicas são equivalentes e; em um tráfego de dados assimétrico a técnica TDD mostra-se mais eficiente mostrando um melhor desempenho e, uma ociosidade de espectro é apresentada na FDD.

Se considerar o tempo-de-guarda na técnica TDD, aumentará a quantidade de canais em torno de 10%; isto representaria uma pequena desvantagem na diferença de número de canais, porém não invalidaria os resultados aqui encontrados que apontam para o melhor desempenho da técnica TDD.

Percebe-se então que TDD tem grande vantagem ao gerenciar a variação de tempo-do-tráfego de *up* e *downlink*, permitindo um ganho de capacidade em relação ao FDD.

Uma possível continuidade deste trabalho são outras simulações com *throughput* médio de 900 Kbps, que proverá outras situações que possibilitem perceber a quantidade de canais necessários, bem como quais serviços serão beneficiados. Ou ainda, pode-se conceber um controle de serviços para clientes com possíveis taxas melhores.

Outra proposta de continuação seria decompor em uma análise quantitativa este trabalho; pois o mesmo, trata-se de uma análise qualitativa. Isto pode ser feito separando os diversos serviços e tratando-os estatisticamente de forma diferenciada. Foi utilizada a distribuição exponencial negativa para todos os

serviços neste trabalho, para refinar este modelo seria importante utilizar distribuições diferentes em cada aplicação. Então poderá ser realizada uma análise diferenciada colocando prioridade no atendimento aos serviços.

## 7 REFERÊNCIAS

ALIM, Onsy Abdel., ABDALLAH, Hiba S., ELASKARY, Azza M., Simulation of WiMAX Systems. Beirut Arab University, Lebanon and National Center for Radiation and Technology, Egypt, 2008.

BACIOCCOLA Andrea., CICCONEtti Cláudio., ERTA, Alessandro., LENZINI Luciano., and MINGOZZI, Enzo. Bandwidth Allocation with Half-Duplex Stations in IEEE 802.16 Wireless Networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 6, No. 12, 2007.

BALL, C.F., HUMBURG, E., K. Ivanov., Spectrum Efficiency Evaluation for different Wireless Technologies based on Traffic Modeling. IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005.

CHATTERJEE, Mainak., SENGUPTA, Shamik., Feedback-Based Real-Time Streaming Over Wimax. University of Central Florida Samrat Ganguly, Nec Laboratories America, IEEE Wireless Communications, 2007.

CHAYER, Rémi. TDD Coalition – Overview of duplex Schemes, 2001.

CORDEIRO, C; CHALLAPLI, K; BIRRU, D; SHANKAR, S. IEEE 802.22: the first worldwide wireless Standard based on cognitive rádios. New York: Philips Research USA, 2005.

GRONDALEN, Ole. Vezzani, GianFranco. Restivo, Silvia. Schmidt, Michael. Tardy, Isabelle. TESTA, Patrizia. Gronnevik, Runne. 2002. Time Division Duplex- Flexible and efficient for milimetre broadband access systems. EMBRACE.

HOCHWALD, Bertrand., Marzetta T. Learning, the downlink Channel at the basestation is easier than you think. Lucent Technologies, 2002.

INTEL. Implementação de Soluções WiMAX Isentas de Licenças. White Paper Intel. 2005.

KELTON, W. David., SADOWSKI, Randall P., SADOWSKI, Deborah A., Simulation with Arena. McGraw-Hill Higher Education, Second Edition, 2001.

KUROSE, James., WOSS, Keith W., Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down. Pearson Education, 3ª Edição, 2007.

INTEL., Implementação de Soluções WiMAX Licenciadas. White Paper Intel. 2005

LIMA, Luciana dos Santos, *et all.* WIMAX: Padrão IEEE 802.16 para Banda Larga Sem Fio. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Informática. Rio de Janeiro, 2004.

MENON, João Marcos.. Dimensionamento de Tráfego de Rede de Dados para Sistema Celular 1XEV-DO. MOMAG. 2007.

MIYAGI, Paulo E. Introdução a Simulação Discreta. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo, 2004.

OHRTMAN, Frank., Handbook WiMAX - Building 802.16 Wireless Networks. McGraw-Hill Communications Hardcover, 2005.

PRADO, Darci. Usando o Arena em Simulação. Editora INDG. Nova Lima, 2004.

PROXIM, Wireless Corporation. Advantages of Time Division Duplex (TDD) for Broadband Wireless in Last-Mile Applications. Position Paper, 2006.

QIAN, Kejie Lu and Yi., CHEN, Hsiao-Hwa., A Secure and Service-Oriented Network Control Framework for WiMAX Networks, IEEE Communications Magazine, 2007.

RAHIM, A., ZEISBERG, S., and FINGER, A., Coexistence Study between UWB and WiMax at 3.5 GHz Band. Communication Laboratory, Dresden University of Technology, Dresden, Germany, 2007.

RAZE, Technologies,. The Advantages of TDD over FDD in Wireless Data Applications. White Paper, 2001.

RIBEIRO, Vitor, Ferreira. Planejamento de um projeto para redes WiMAX. Faculdade de Ciências Aplicadas de Minas. Departamento de Sistema de Informação. Uberlândia, 2007.

RONG Bo; QIAN Yi, KEJIE Lu. Downlink Call Admission Control in Multiservice WiMAX Networks. IEEE, ICC 2007.

SASAKI, Nelson Kiyoshi. Simulação de Sistemas de Comunicação Óptica Baseada em Simulação a Eventos Discretos. Universidade Estadual de Campinas. Dissertação de Mestrado. Campinas, 2007.

SAVOINE, Márcia M., REGGIANI, Norma., BRANQUINHO, Omar Carvalho., BIANCHINI. David., ARRUDA, Wosley da Costa., Avaliação da Duplexação no WiMAX 3,5 GHz Baseado no Perfil de Tráfego. SBPO, 2008a.

SAVOINE, Márcia M., REGGIANI, Norma., BRANQUINHO, Omar Carvalho., BIANCHINI. David., Análise dos Métodos de Duplexação em Banda Licenciada WiMAX. MOMAG, 2008b.

SILVA, Ermes Medeiros da, *et all*. Pesquisa Operacional: Programação Linear e Simulação. Editora Atlas. São Paulo, 1998.

SOARES, Luiz F. Gomes; LEMOS Guido; COLCHER Sérgio. Redes de Computadores Das LANs MANs e WANs às Redes ATM, Curso Completo, Rio de Janeiro, Editora Campus, 3ª Edição, 2000.

SRINIVASAN, Roshni, TIMIRI, Shailender, DAVYDOV, Alexei, PPATHANASSIOU, Apostolos. Downlink Spectral Efficiency of Mobile WiMAX, Wireless Standards and Technology, Intel Corporation, USA, IEEE 2007.

STALLINGS William. Data and Computer Communications Computer Networking, New Jersey (EUA), Pearson Education, 7th Edition, 2003.

SZLÁDEK, Gábor., Héder Balázs, and Bitó János. Investigation of Interference Conditions in BFWA System Applying Adaptive TDD. World Informatic Society, Transactions on Engineering, Computing and Tecnology, 2005.

SZLÁDEK Gábor, HÉDER Balázs, and BITÓ János. Investigation of Interference Conditions in BFWA System Applying Adaptive TDD. World Informatic Society, Transactions on Engineering, Computing and Tecnology, 2005.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de Computadores, Rio de Janeiro, Editora Campus, 3ª Edição, 2003.

TEO, Koon Hoo., TAO, Zhifeng., ZHANG, Jinyun., The Mobile Broadband WiMAX Standard. IEEE Signal Processing Magazine, 2007.

XIE, Xiaojuan., CHEN, Haining., WU, Hongyi., Simulation Studies of a Fair and Effective Queueing Algorithm for WiMAX Resource Allocation. University of Louisiana at Lafayette, 2008.

YOUSAF, Faqir Zarrar., DANIEL, Kai., WIETFELD, Christian., Performance Evaluation of IEEE 802.16 WiMAX Link With Respect to Higher Layer Protocols. Communication Networks Institute, University of Dortmund, 2007.

WANG, Xudong., An FDD Wideband CDMA MAC Protocol with Minimum-Power Allocation and GPS-Scheduling for Wireless Wide Area Multimedia Networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 4, No. 1, 2005.

WiMAX Forum., WiMAX Forum™ Mobile System Profile 3, Release 1.0 Approved Specification 4 (Revision 1.2.2:), 2006.

WiMAX Forum., WiMAX Forum™ Mobile System Profile 3, Release 1.0 Approved Specification 4 (Revision 1.4.0), 2007.

# ANEXOS

## Anexo A

### Descrição do Ambiente de Simulação Criado no *Software Arena*.

Descreve-se abaixo a modelagem dos vários cenários no simulador de eventos discretos *Arena*.

A figura 1 ilustra o ambiente de simulação na técnica TDD, e a figura XX ilustra o ambiente na técnica FDD.

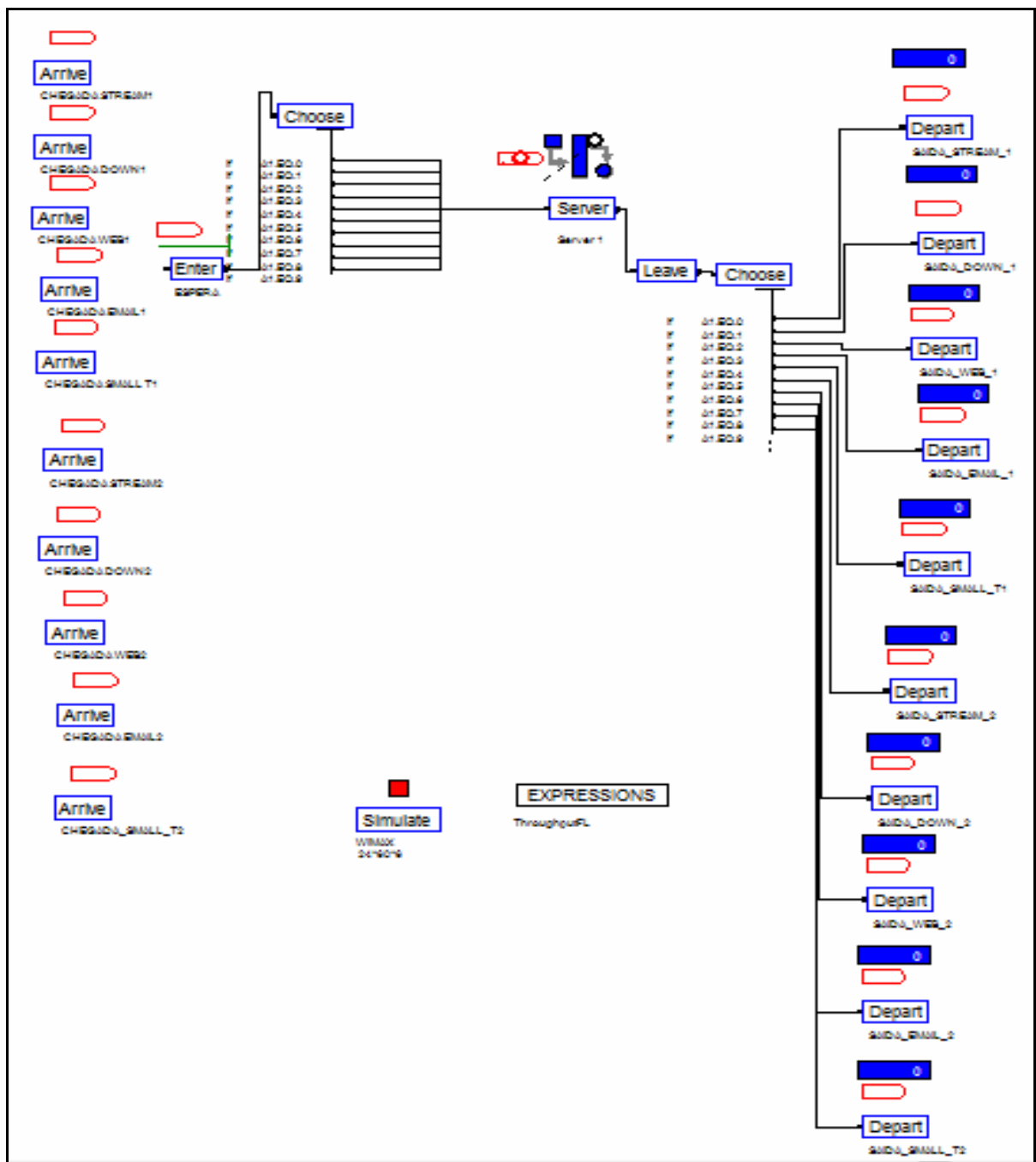
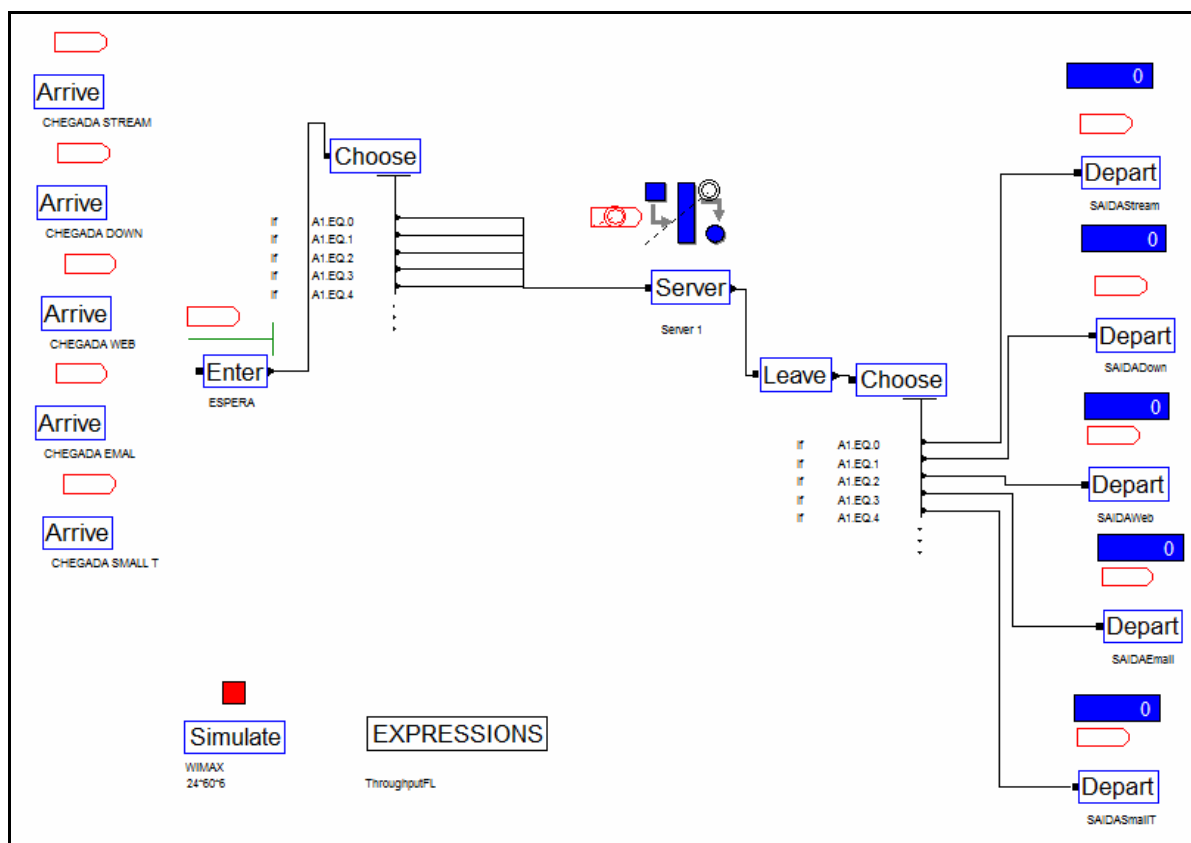


Figura 1. Ambiente de simulação TDD para os vários cenários





**Figura 2.** Ambiente de simulação FDD para os vários cenários

Em ambas as técnicas no ambiente de simulação, na parte esquerda da tela tem-se os *arrives*, que mostram as chegadas dos eventos; ou seja, o *downlink* de cada serviço. Onde como descrito no capítulo 2, estes serviços são: *streaming de vídeo*, *download*, *web-browsing*, *email* e *small-transaction*.

Já na parte direita da tela, temos os *departs*, que mostram as saídas dos eventos; ou seja, o *uplink* de cada serviço. Foi considerado para cada serviço ao dar entrada no simulador, o tempo médio de serviço  $\tau_X$  e a taxa de chegada  $\lambda_X$ .

Todos os parâmetros e as expressões utilizadas neste ambiente do simulador foram descritas no capítulo 3. A seguir são descritos os parâmetros considerados em cada serviço dentro do Arena, onde estes parâmetros são iguais nas duas técnicas TDD e FDD.

A) Para o serviço de **Download**, temos:

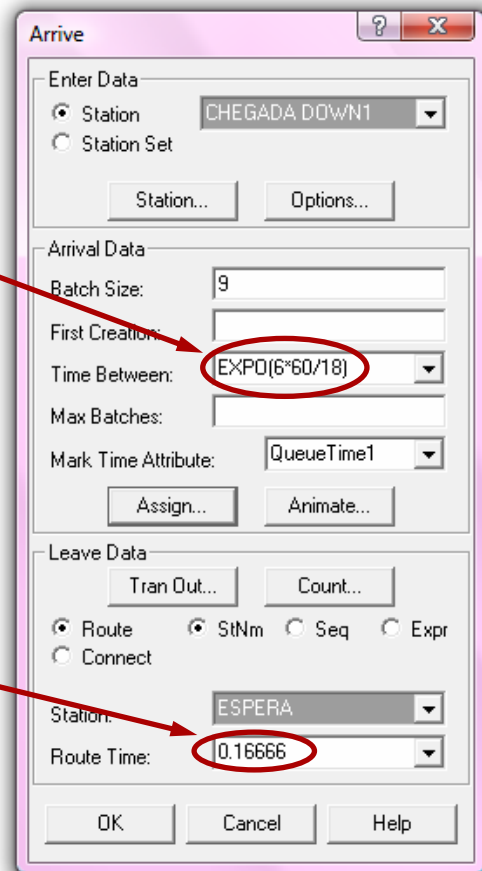
A **Taxa de Chegada** para cada 6 horas que compõem a BH será:

$$\tau_D = 18 / (6 \text{ horas} * 60 \text{ min})$$

$$\tau_D = 0,05 \text{ arquivos/min}$$

Percentual de Atividade na sessão é de 60%, será aberto uma sessão de TL = 180s = 3min, onde a interface área colocará em estado dormant a portadora em 10s. Ocorre uma espera pelo fato de ser aberto uma sessão para enviar os 2 Mbytes não havendo nenhum outro pacote; sendo: Tempo que será mantida a portadora ativa:

$$(10/60) = 0,16666 \text{ min}$$

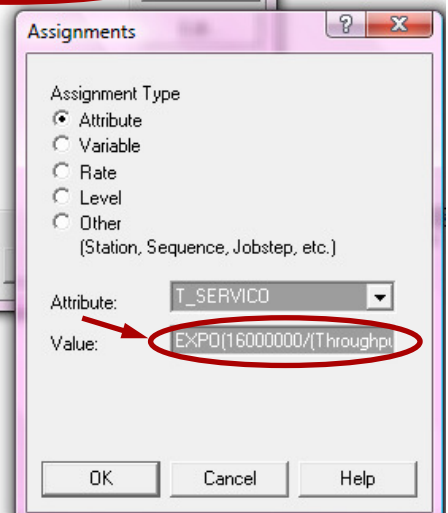
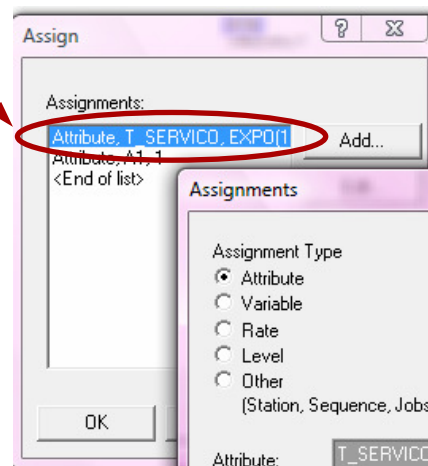
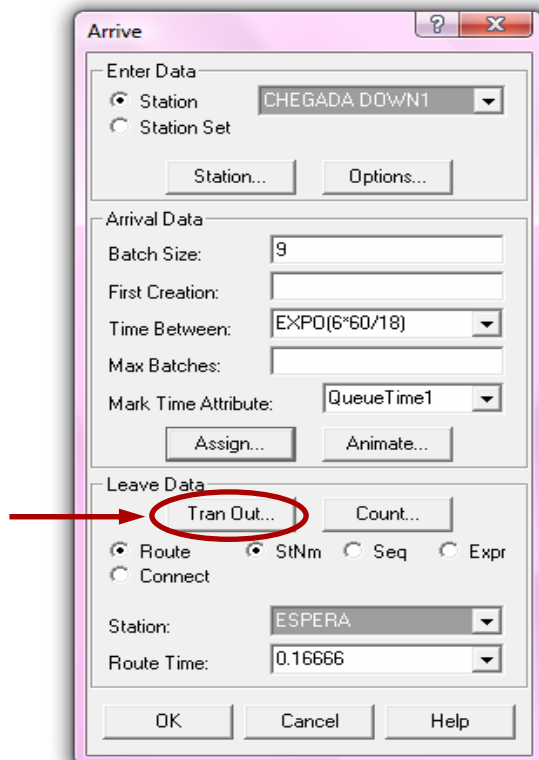


**Tempo Médio de Serviço =  $\tau_D$**

$$\tau_D = \text{EXPO}(16000000 / (600000 * 60)) \text{ ou seja:}$$

$$\tau_D = 2 * 1000000 * 8 = 16000000 \text{ bits/arquivo}$$

$$\tau_D = 0,4444 \text{ min/arquivo.}$$



B) Para o serviço de **Web-browsing**, temos:

A Taxa de Chegada para cada processo que se repete 20vz com um TL de 40s:

$$\lambda_w = (20/40*60)$$

$$\lambda_w = 0,00833 \text{ arquivos/min}$$

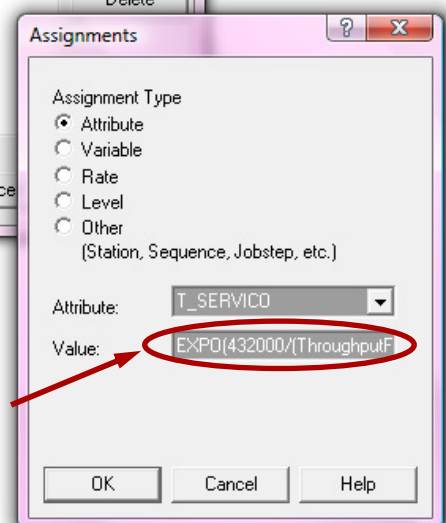
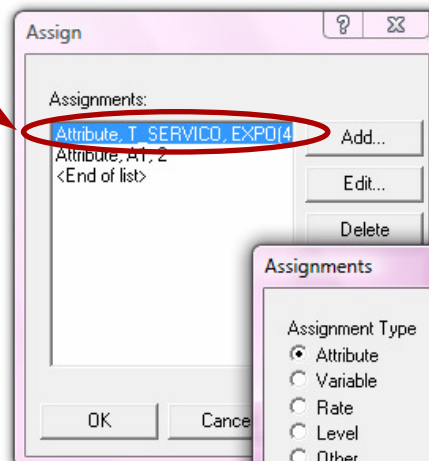
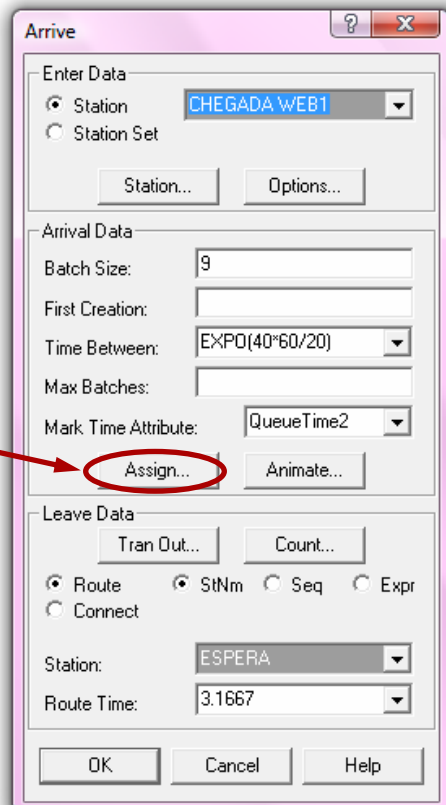
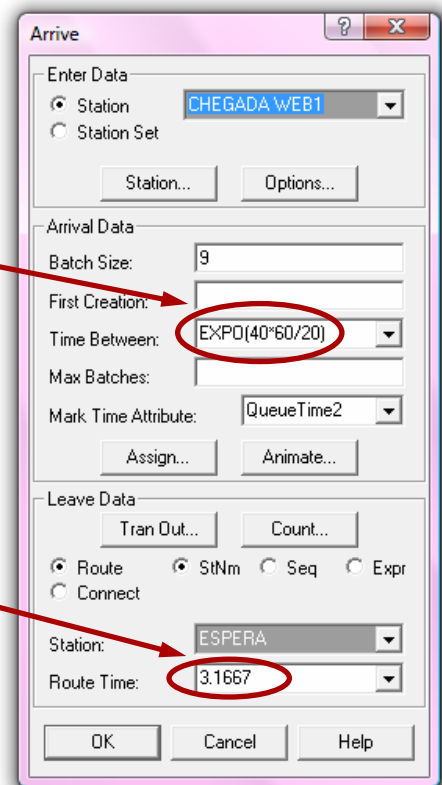
TL de 40s é maior que o dormant da rede de 10s e será colocado o usuário 20 vezes menos uma, sendo 19. Percentual de Atividade na sessão 25%, será aberto uma sessão de TL = (10/40). Tempo que será mantida a portadora ativa: (19\*10s) = **190s ou 3,1667min**

O Tempo Médio de Serviço =  $\tau_w$

$$\tau_w = \text{EXPO}(16000000/(600000*60)) \text{ ou seja:}$$

$$\tau_w = 2*1000000*8 = 16000000 \text{ bits/arquivo}$$

$$\tau_w = 0,4444 \text{ min/arquivo.}$$



C) Para o serviço de **Email**, temos:

$\lambda_E =$  A Taxa de Chegada para cada 6 horas que compõem a BH será:  $10/(60*60min)$

$\lambda_E = 0,002777$  pacotes/min.

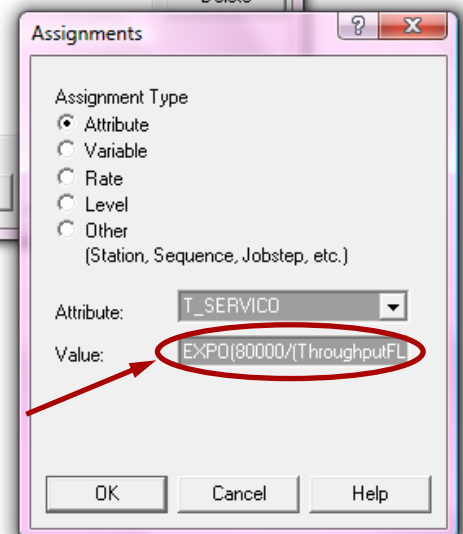
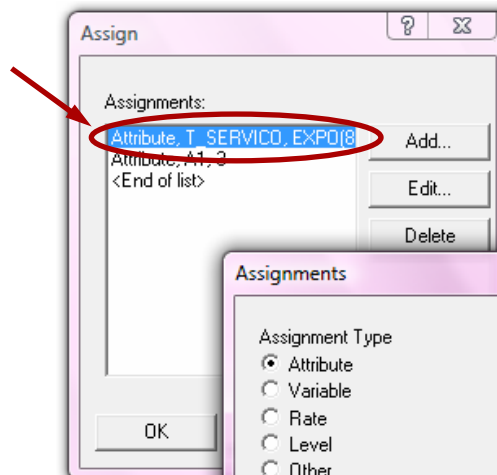
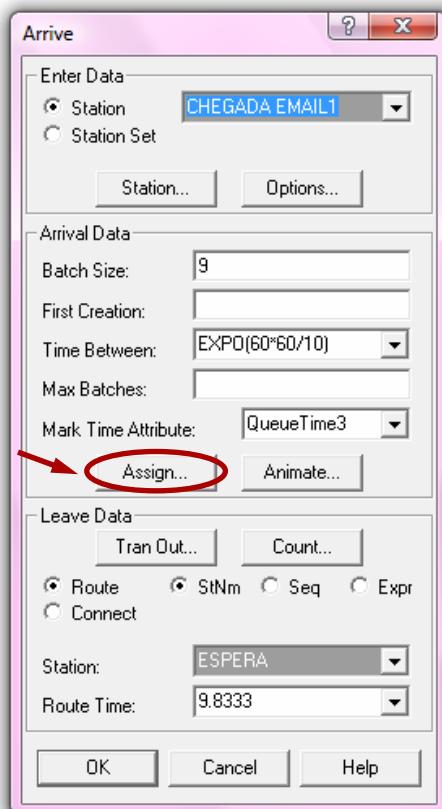
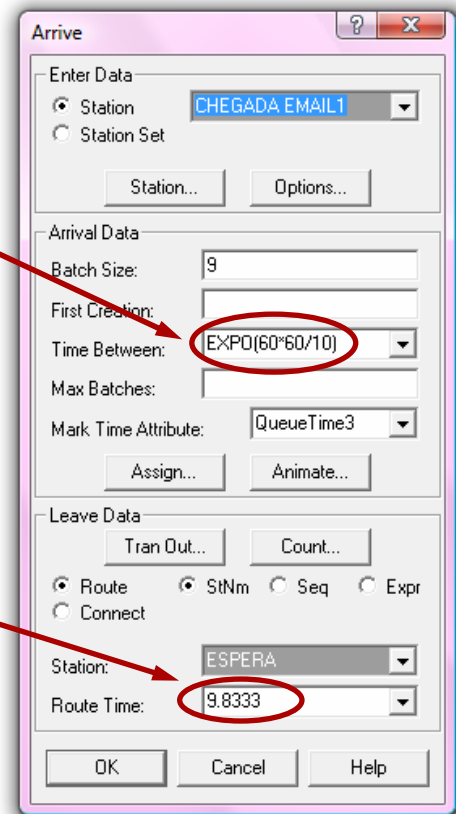
O Terminal de Leitura de 60s é maior que o dormant da rede de 10s e será colocado o usuário 60 vezes menos uma, sendo 59. Percentual de Atividade na sessão 16,6%, será aberto uma sessão de  $TL = (10/60)$ .

Tempo que será mantida a portadora ativa:  $(59*10s) = 590s$  ou  $9,8333min$

O Tempo Médio de Serviço =  $\tau_w$

$\tau_w = EXPO(8000000/(600000*60))$ , ou seja, 10kbytes =  $10*1024*8 = 80000$  bits/arquivo

$\tau_w = 0,0022min/pacote$



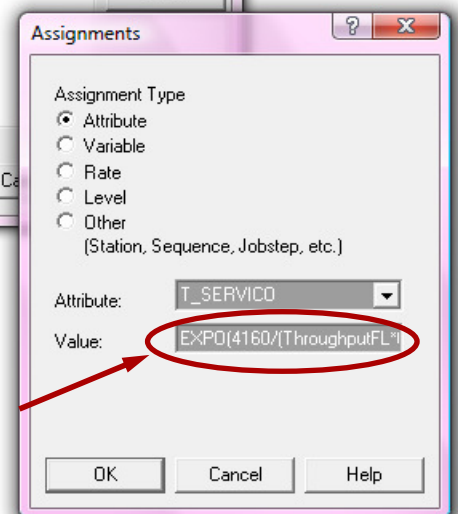
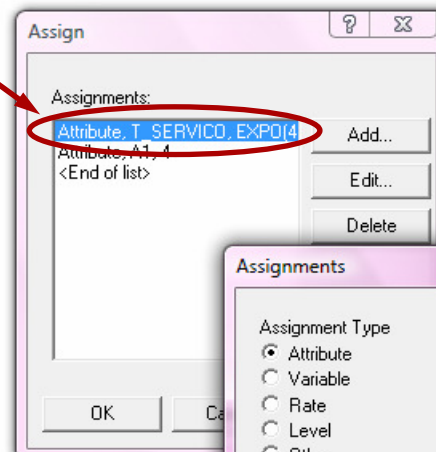
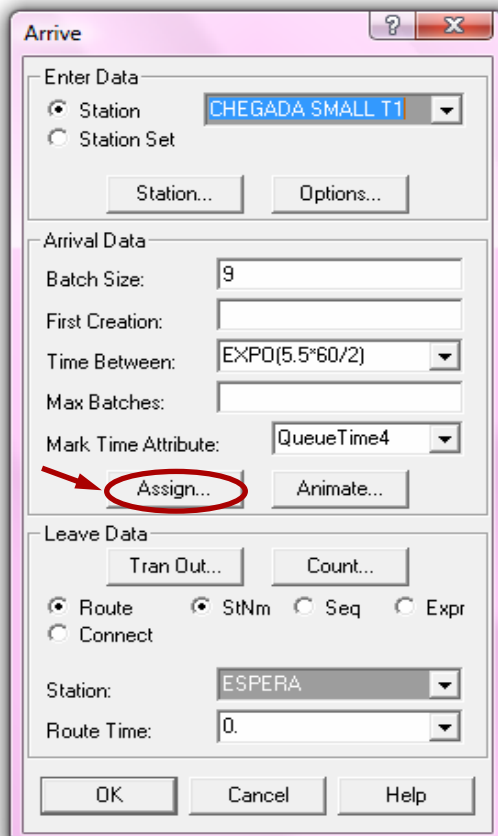
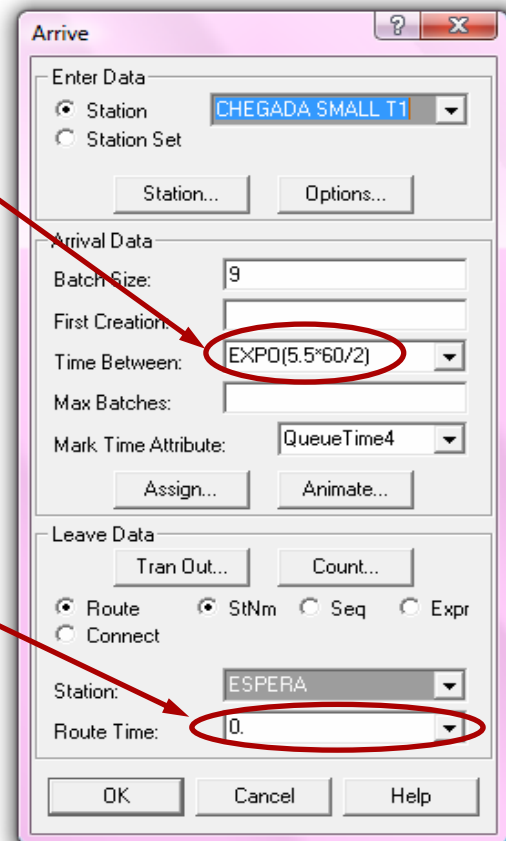
D) Para o serviço de **Small-T**, temos:  $\lambda_{SM}$   
 A Taxa de Chegada para o envio de 1 pacote ocorre 2 vezes a cada 5,5s; ou seja,  $2/5,5$  pacotes/seg =  $0,36*60$  pacotes/min

$$\lambda_{SM} = 21,82 \text{ pacotes/min}$$

O Terminal de Leitura de 5,5 segundos é menor que o *dormant* da rede de 10 segundos, será colocado o usuário em estado de dormant, ou seja, isto implicará que a portadora ficará ativa 100% do tempo, não havendo **espera** além do tempo de recepção de todos os pacotes de *Small-T*.

O Tempo Médio de Serviço =  $\tau_{SM}$   
 1 imagem de 2400 kbytes; ou seja,  $2400*1000*8 = 192.00000$  kbits; tem-se:  
 $EXPO (192.00000 \text{ bits/imagem}) / (600.000 \text{ bits/s})/60s$

$$\tau_{SM} = 0,533 \text{ min/imagem}$$

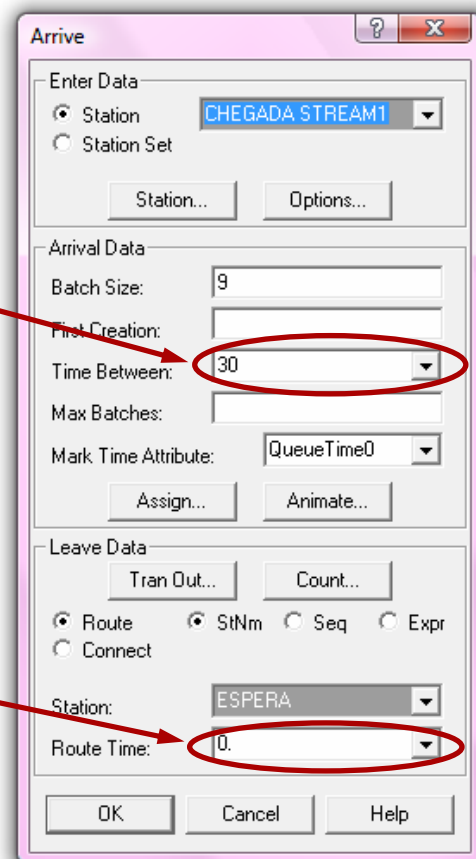


E) Para o serviço de **Streaming** =  $\lambda_{ST}$

A Taxa de Chegada para o envio de uma 1 imagem a cada 2s; ou seja, 0,5 imagem/seg = 0,5\*60 imagem/min

$\lambda_{ST} = 30$  imagens/min.

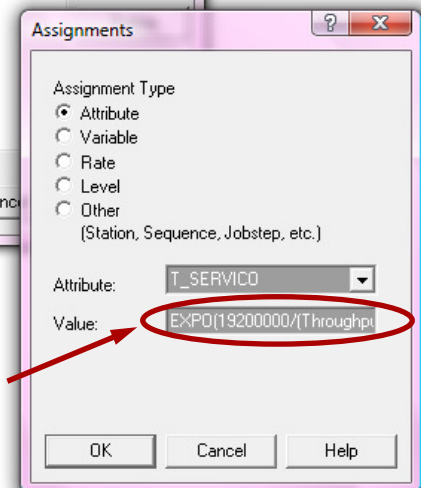
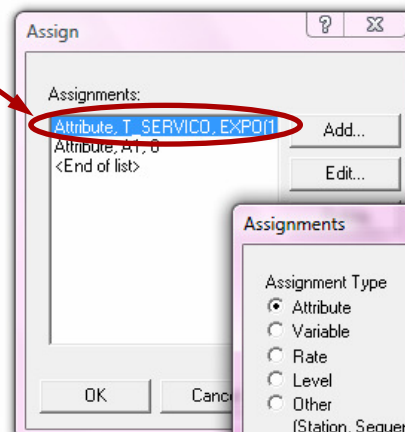
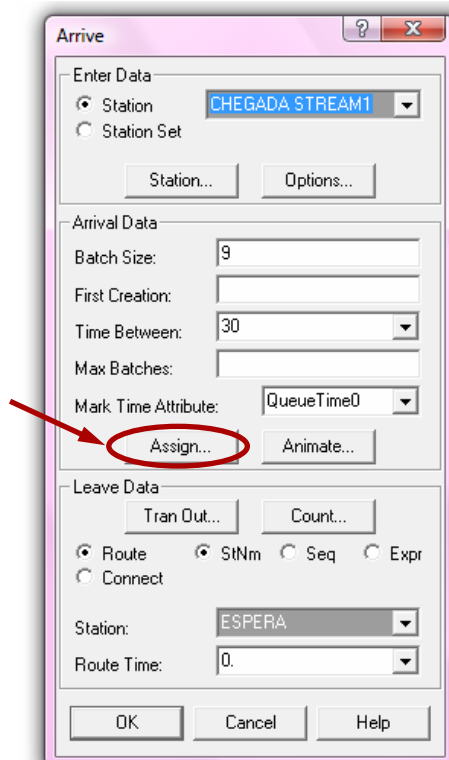
O Terminal de Leitura de 2 segundos é menor que o *dormant* da rede de 10 segundos, será colocado o usuário em estado de dormant, ou seja, isto implicará que a portadora ficará ativa 100% do tempo, não havendo **espera** além do tempo de recepção de todos os pacotes de *Streaming*.



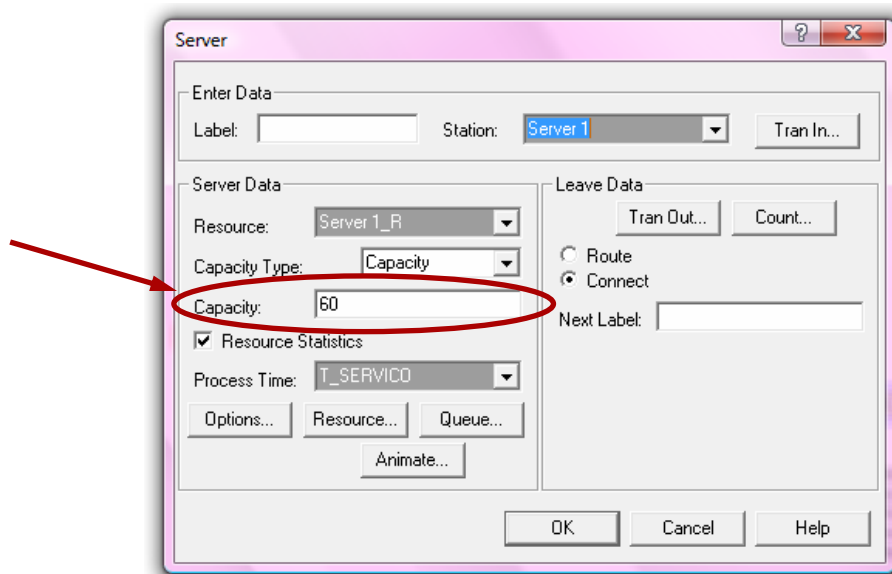
O **Tempo Médio de Serviço** =  $\tau_{ST}$

Temos uma 1 imagem de 2400 kbytes, onde  $(2400 \cdot 1000 \cdot 8) = 192.00000$  kbits.

$\tau_{ST} = (192.00000 \text{ bits/imagem}) / (600.000 \text{ bits/s}) / 60s$ .  $\tau_{ST} = 0,533$  min/imagem

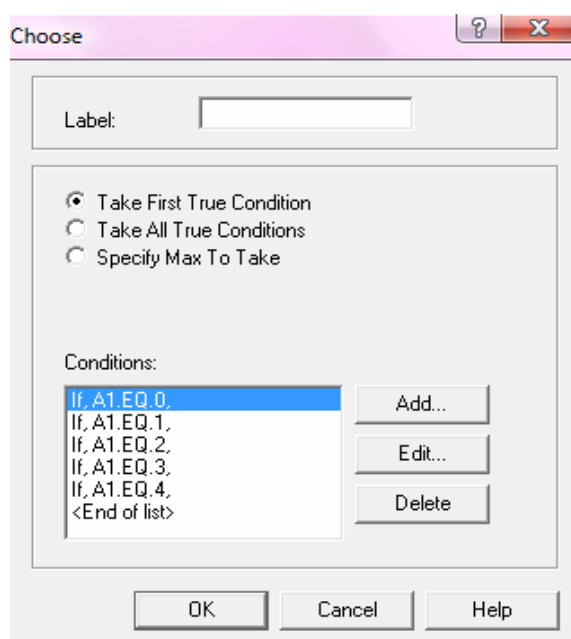


O *Server*, ou *servidor*, é a entidade onde aloca-se a quantidade de canais simulados na tecnologia *wireless*. Esta entidade na interface aérea é a *Base Station*, a figura 3 ilustra esta entidade.

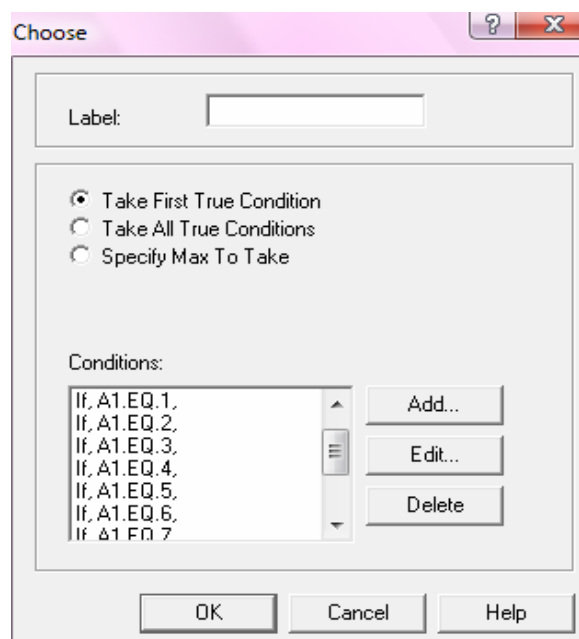


**Figura 3.** Entidade *Server* onde são alocados a quantidade de canais na interface aérea

As entidades *Choose* representam as variáveis criadas para os diversos serviços. No caso da técnica TDD, são necessárias 10 variáveis, pois o canal é dividido para *down* e *uplink*. Sendo de 0 a 4 para *downlink* e de 5 na 9 para *uplink*. Já para a técnica FDD são necessárias apenas 5 variáveis para os serviços, sendo de 0 a 4. Estas variáveis são definidas como: A1.EQ.0 e A1.EQ.5 (Streaming para *down* e *uplink*), A1.EQ.1 e A1.EQ.6 (Download para *down* e *uplink*), A1.EQ.2 e A1.EQ.7 (Web para *down* e *uplink*), A1.EQ.3 e A1.EQ.8 (Email para *down* e *uplink*) e A1.EQ.4 e A1.EQ.9 (Small-T para *down* e *uplink*).

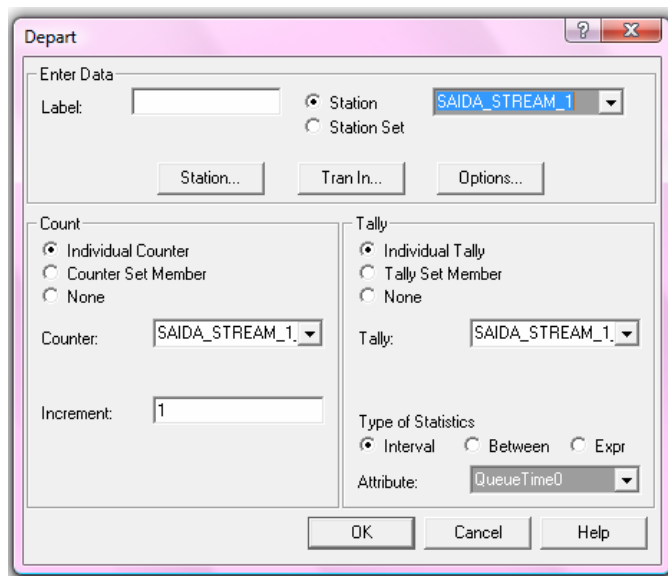


**Figura 4a.** Tela *Choose* para a Técnica FDD



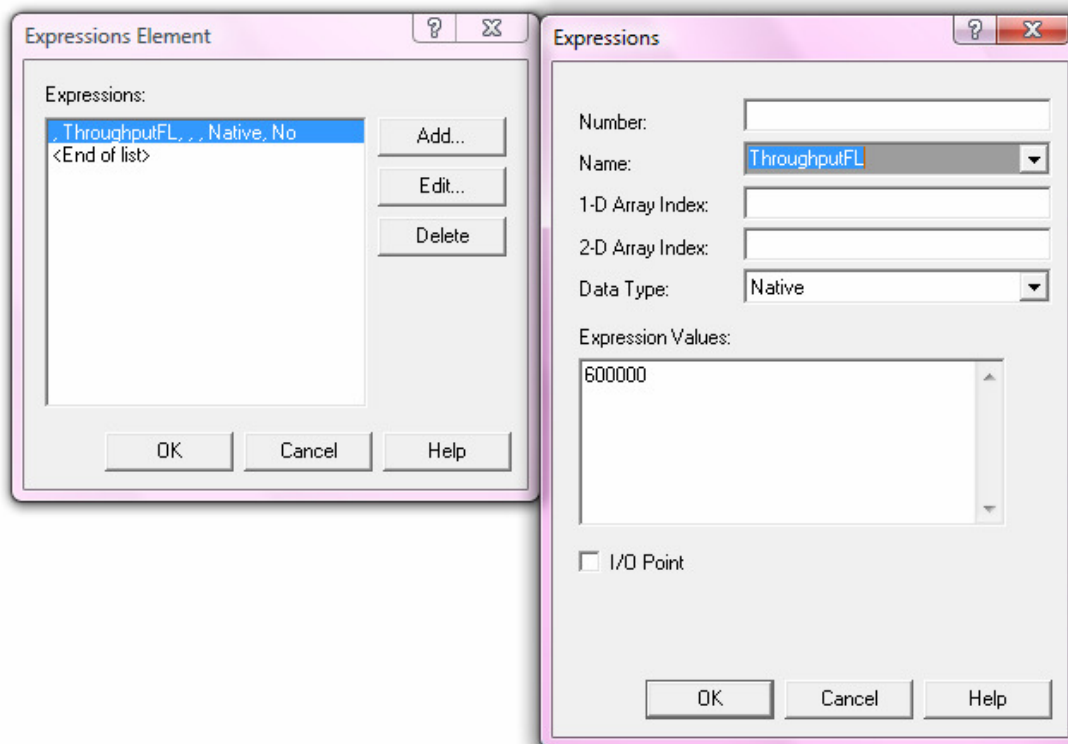
**Figura 4b.** Tela *Choose* para a Técnica TDD

As saídas de cada serviço são representadas pelos *departs*; em ambas as técnicas, a figura 5 ilustra estas saídas.



**Figura 5.** Entidade *Server* onde são alocadas a quantidade de canais na interface aérea.

Os valores de *Throughput*, e do tamanho da replicação são alterados conforme as simulações a serem feitas. No caso deste trabalho o *Throughput* utilizado foi de 600kbps, e solicitada somente uma replicação. As figuras 6 e 7 ilustram isto.



**Figura 6.** Entrada do *Throughput* a ser utilizado na simulação.



Simulate

Project

Title: WIMAX

Analyst: Marcia Savoine

Date: 04 11 2008

Replicate

Number of Replications: 1

Beginning Time: 0.0

Length of Replication: 24\*60\*6

Terminating Condition:

Between Replications...

Initialize System

Initialize Statistics

Warm-Up Period: 600

OK Cancel Help

**Figura 7.** Entrada da replicação do ambiente da simulação.

## Anexo B Descrição das Tabelas e Gráficos das Simulações

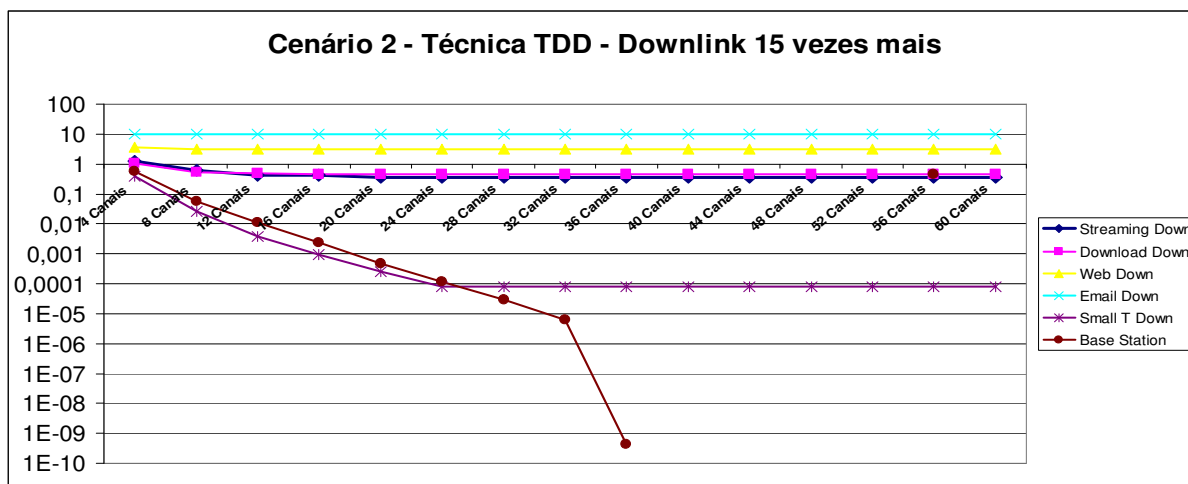
Abaixo são mostradas as tabelas e os gráficos referentes aos cenários das simulações descritos no capítulo 4, em ambas as técnicas, TDD e FDD.

### Cenário 2 – Tráfego igualmente assimétrico para todos os serviços

#### A) TÉCNICA TDD

##### Tráfego de dados no *downlink* 15 vezes maior

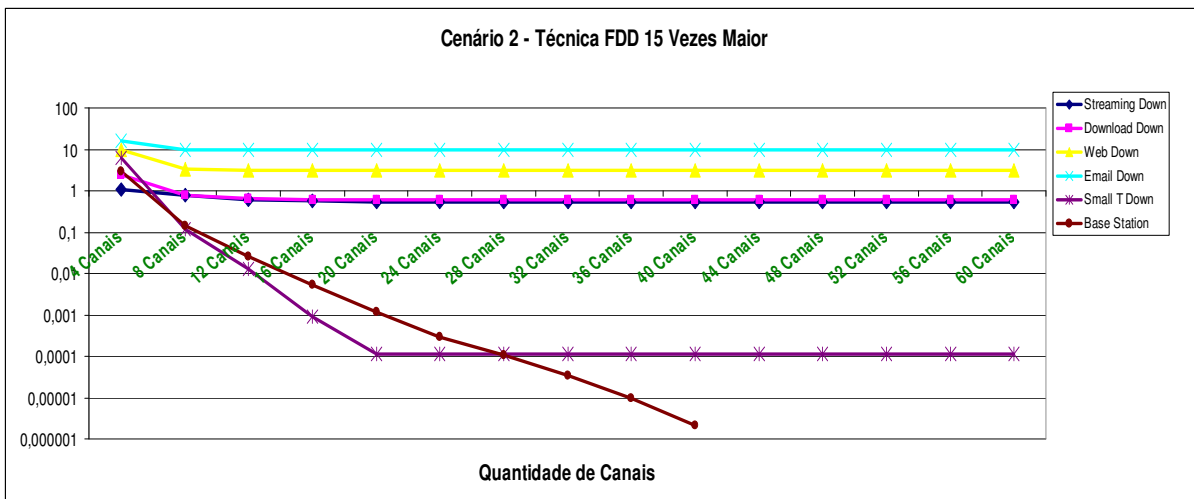
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,27160	0,62795	0,43011	0,41306	0,36063	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	1,06800	0,53105	0,47754	0,46761	0,46560	0,46515	0,46503	0,46501	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500
Web Down	3,57280	3,20110	3,17780	3,17510	3,17470	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460
Email Down	10,20200	9,85960	9,83820	9,83580	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,37455	0,02591	0,00377	9,7183E-04	2,5758E-04	7,8956E-05	7,8708E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05	7,8695E-05
Base Station	0,54786	0,05783	0,01076	0,00233	4,7995E-04	1,1844E-04	2,8504E-05	6,1621E-06	4,4855E-10	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,46322	0,00000



#### B) TÉCNICA FDD

##### Tráfego de dados no *downlink* 15 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,09320	0,75710	0,59957	0,54948	0,53972	0,53517	0,53353	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	2,46060	0,76542	0,64379	0,62061	0,61568	0,61464	0,61440	0,61432	0,61429	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427
Web Down	9,42260	3,31850	3,19750	3,18260	3,17950	3,17890	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880
Email Down	15,82600	9,93380	9,84530	9,83720	9,83570	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small T Down	6,26500	0,11518	0,01310	9,28950E-04	1,16200E-04	1,14890E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04	1,14800E-04
Base Station	3,00310	0,14420	0,02583	0,00531	0,00116	2,97000E-04	1,03700E-04	3,31550E-05	9,79700E-06	2,12360E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



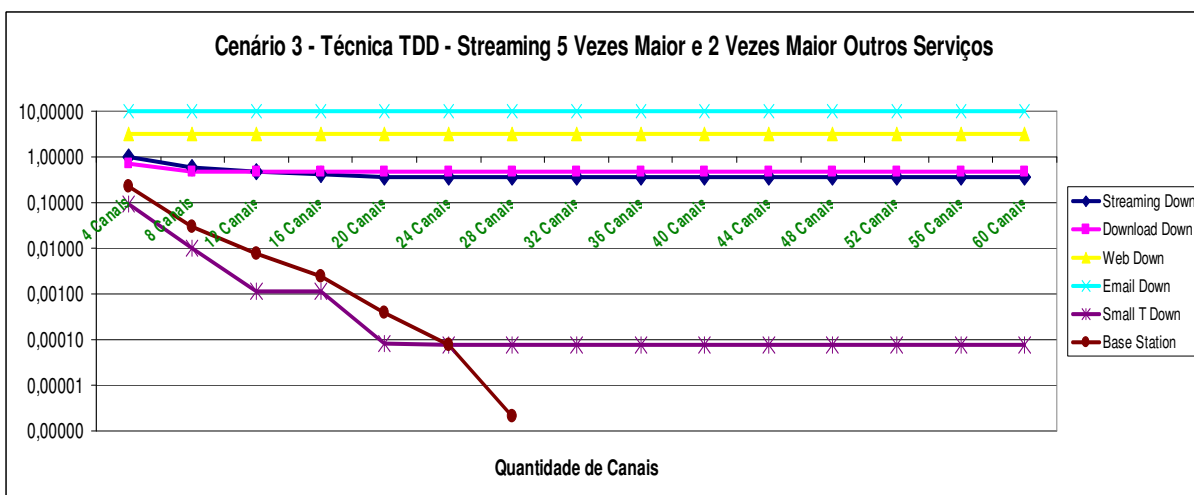
### Cenário 3 - Tráfego com assimetrias diferenciadas por serviços

Cenário 3A - Tráfego de *downlink* nos vários serviços com variação de 2 a 5 vezes mais

#### A) Técnica TDD

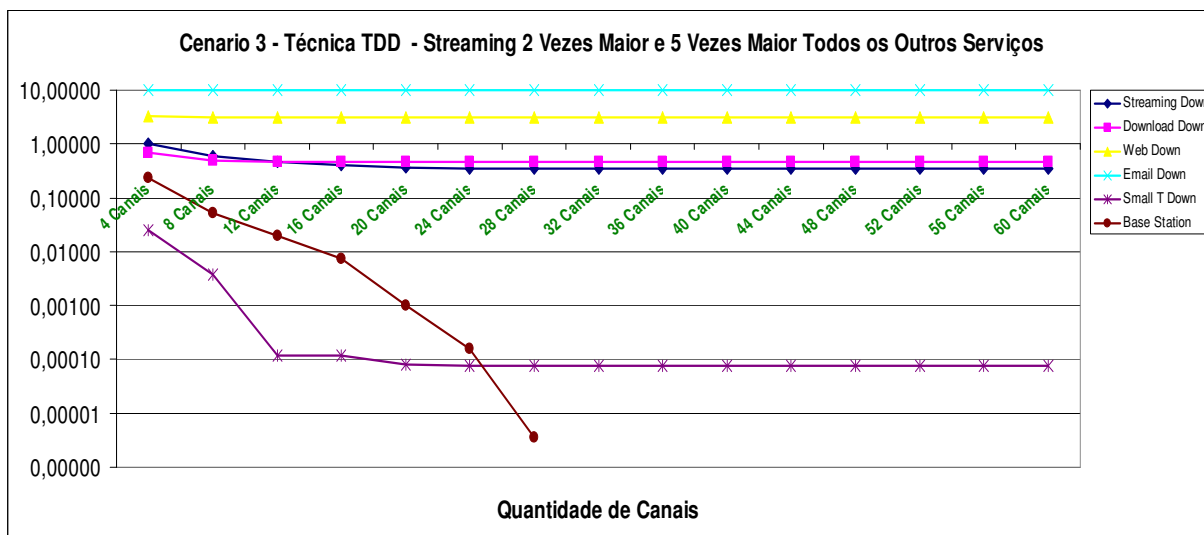
Serviço de *Streaming* 5 vezes maior e todos os outros serviços 2 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,02910	0,58933	0,45982	0,40852	0,35763	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,71232	0,49039	0,47019	0,46676	0,46610	0,46590	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584
Web Down	3,24020	3,18020	3,17580	3,17500	3,17490	3,17460	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450
Email Down	9,93040	9,84560	9,83670	9,83490	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480
Small T Down	0,09453	0,00973	0,00116	0,00115	7,90030E-05	7,88060E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05	7,87980E-05
Base Station	0,22516	0,03046	0,00765	0,00241	3,83230E-04	7,84110E-05	2,04920E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



### Serviço de Streaming 2 vezes maior e todos os outros serviços 5 vezes maior

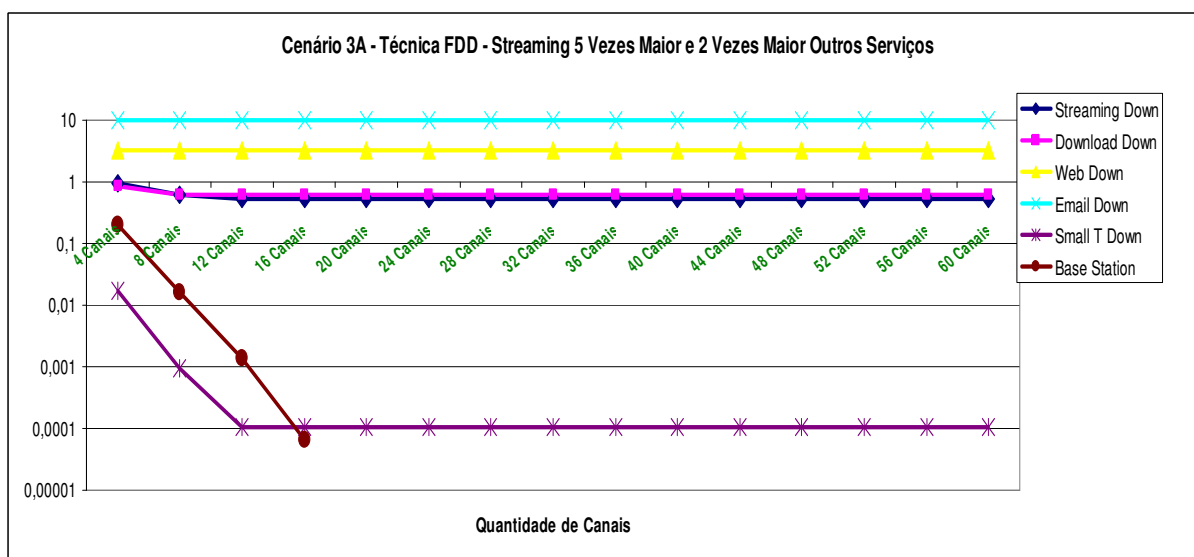
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,99629	0,58666	0,46790	0,39956	0,35771	0,35575	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,67313	0,48767	0,47084	0,46824	0,46740	0,46649	0,46629	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628
Web Down	3,22760	3,17970	3,17640	3,17640	3,17480	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470
Email Down	9,86040	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,02523	0,00375	1,16010E-04	1,15330E-04	7,93140E-05	7,64270E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05
Base Station	0,23866	0,05086	0,02008	0,00754	9,92070E-04	1,55660E-04	3,62110E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



### B) Técnica FDD

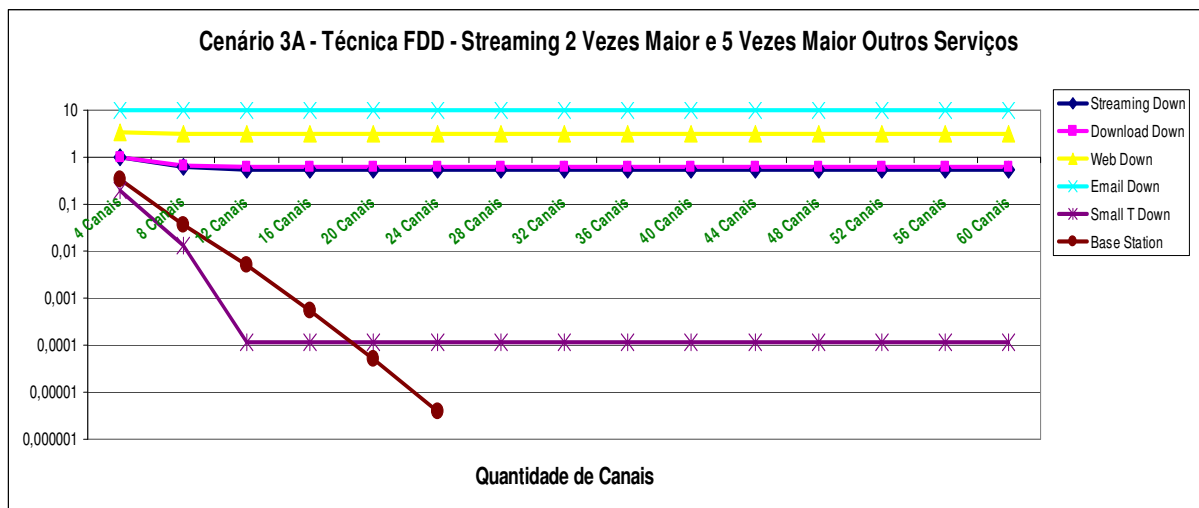
### Serviço de Streaming 5 vezes maior e todos os outros serviços 2 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,92680	0,61544	0,53869	0,53334	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	0,85619	0,62980	0,61536	0,61390	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381	0,61381
Web Down	3,24700	3,18760	3,17840	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830	3,17830
Email Down	9,85510	9,83570	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small T Down	0,01750	9,29470E-04	1,06980E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04	1,06740E-04
Base Station	0,19894	0,01642	0,00137	6,61090E-05	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



## Serviço de Streaming 2 vezes maior e todos os outros serviços 5 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,99629	0,58666	0,46790	0,39956	0,35771	0,35575	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,67313	0,48767	0,47084	0,46824	0,46740	0,46649	0,46629	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628	0,46628
Web Down	3,22760	3,17970	3,17640	3,17640	3,17480	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470	3,17470
Email Down	9,86040	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,02523	0,00375	1,16010E-04	1,15330E-04	7,93140E-05	7,64270E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05	7,63000E-05
Base Station	0,23866	0,05086	0,02008	0,00754	9,92070E-04	1,55660E-04	3,62110E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



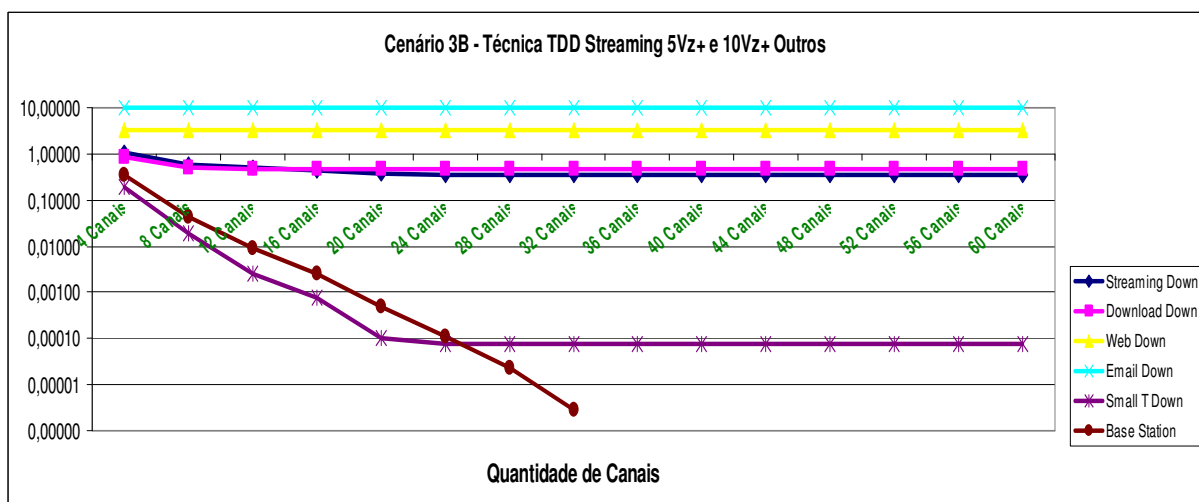
## Cenário 3B

Tráfego de *downlink* nos vários serviços com variação de 5 a 10 vezes mais

### A) Técnica TDD

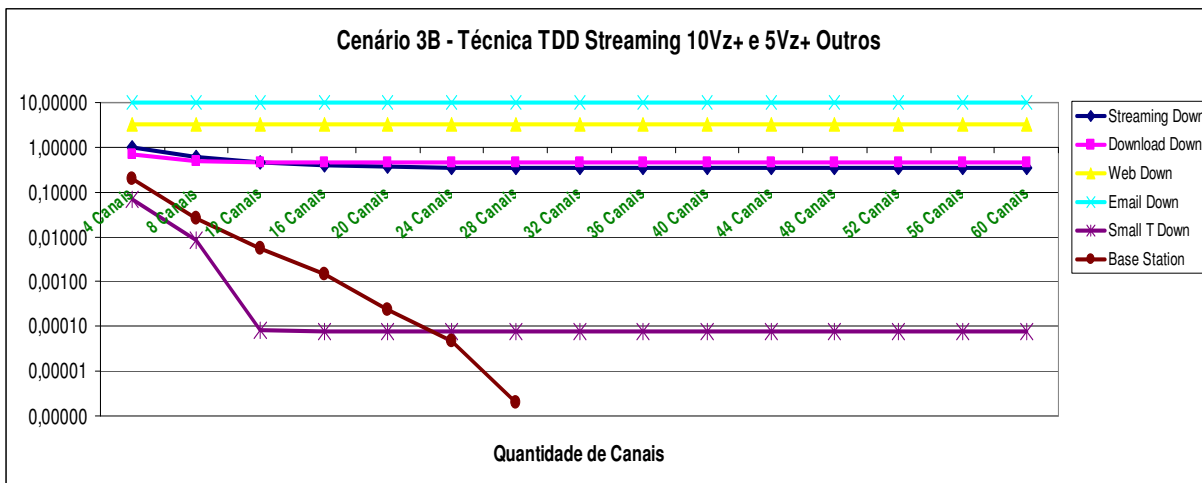
## Serviço de Streaming 5 vezes maior e todos os outros serviços 10 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,06850	0,57877	0,49762	0,42548	0,36252	0,35575	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,84989	0,51000	0,47481	0,46831	0,46707	0,46665	0,46651	0,46648	0,46648	0,46648	0,46648	0,46648	0,46648	0,46648	0,46648
Web Down	3,37870	3,19310	3,17700	3,17530	3,17460	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450
Email Down	9,98910	9,84640	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,19515	0,01839	0,00244	7,50E-04	1,06E-04	7,77E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05	7,75E-05
Base Station	0,34476	0,04261	0,00924	0,00245	4,99E-04	1,13E-04	2,29E-05	2,87E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



### Serviço de Streaming 10 vezes maior e todos os outros serviços 5 vezes maior

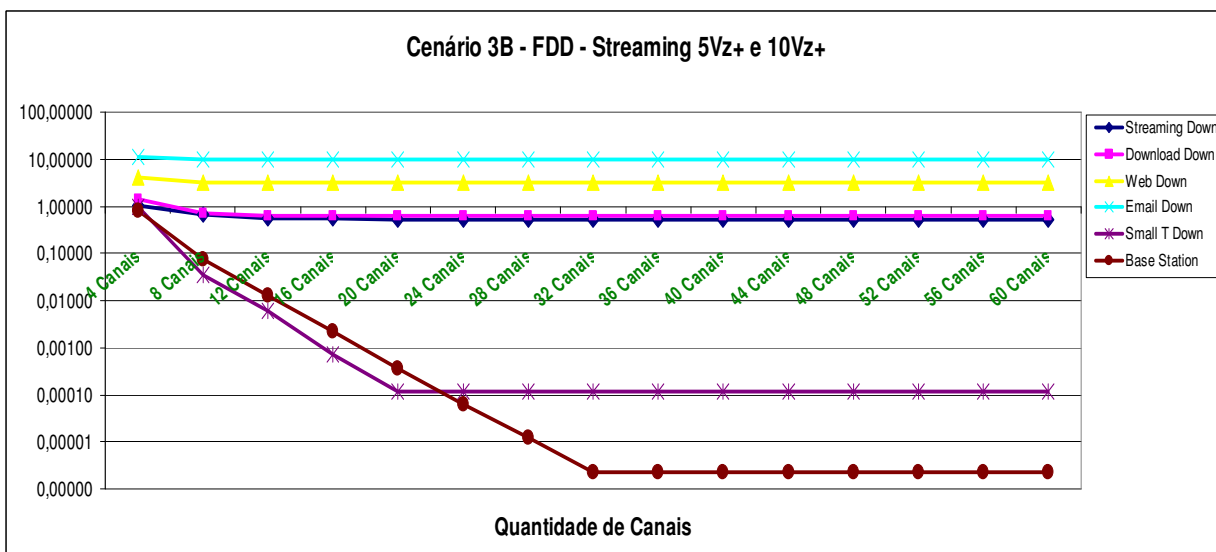
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,97576	0,61757	0,46259	0,39061	0,36538	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,70200	0,48976	0,47004	0,46654	0,46592	0,46585	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584	0,46584
Web Down	3,24400	3,18020	3,17580	3,17500	3,17490	3,17460	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450
Email Down	9,92870	9,84560	9,83670	9,83490	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480	9,83480
Small T Down	0,07083	0,00839	8,2519E-05	7,8989E-05	7,8798E-05	7,8798E-05	7,8798E-05	7,8798E-05	7,8798E-05	7,8798E-05	7,88E-05	7,88E-05	7,88E-05	7,88E-05	7,88E-05
Base Station	0,19235	0,02651	0,00554	0,00145	2,3445E-04	4,8369E-05	2,0652E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



### B) Técnica FDD

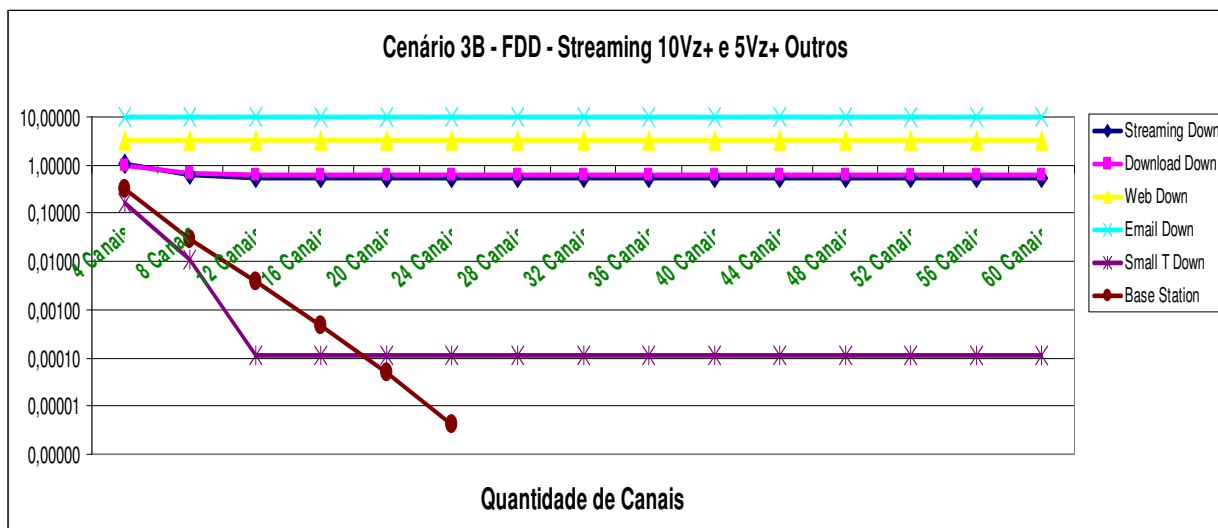
### Serviço de Streaming 5 vezes maior e todos os outros serviços 10 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,04340	0,67364	0,55517	0,53478	0,53353	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	1,38300	0,89874	0,62968	0,61707	0,61483	0,61444	0,61437	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436
Web Down	4,07270	3,23450	3,18500	3,18010	3,17890	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880
Email Down	10,88200	9,86850	9,83940	9,83590	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small T Down	0,94190	0,03447	0,00615	7,0137E-04	1,1479E-04	1,1361E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04
Base Station	0,81044	0,07430	0,01285	0,00222	3,6810E-04	6,30430E-05	1,21610E-05	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06	2,22020E-06



### Serviço de *Streaming* 10 vezes maior e todos os outros serviços 5 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,01840	0,63805	0,54525	0,53509	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	0,99546	0,65245	0,62078	0,61648	0,61597	0,61591	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590	0,61590
Web Down	3,34130	3,18930	3,17990	3,17890	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880
Email Down	9,96030	9,83700	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small T Down	0,16795	0,01076	1,1645E-04	1,1289E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04	1,1272E-04
Base Station	0,32149	0,02993	0,00380	4,5079E-04	4,87720E-05	4,117800E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

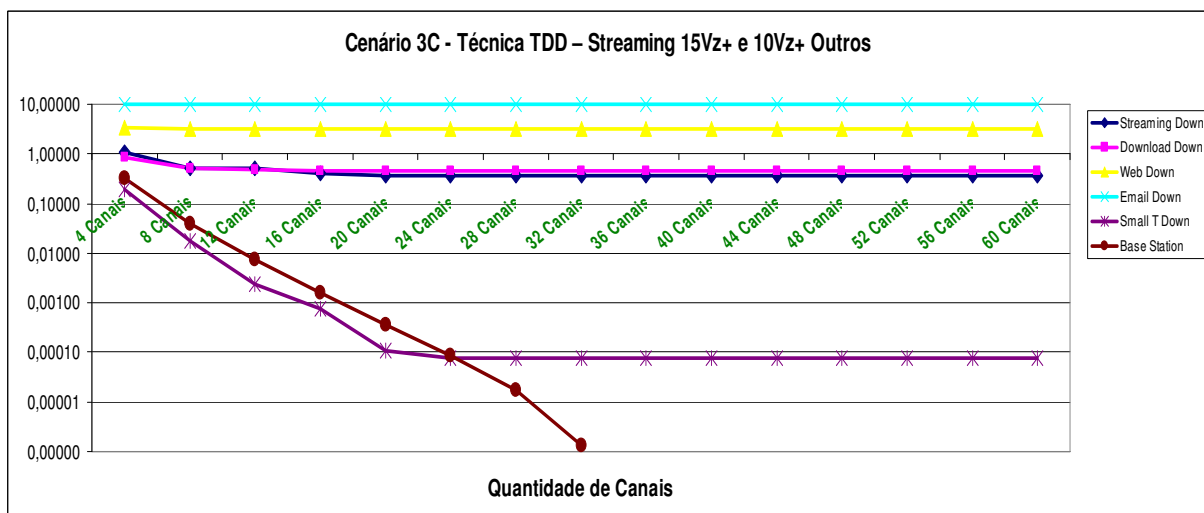


### CENÁRIO 3C - Tráfego de *downlink* nos vários serviços com variação de 10 a 15 vezes mais

#### A) Técnica TDD

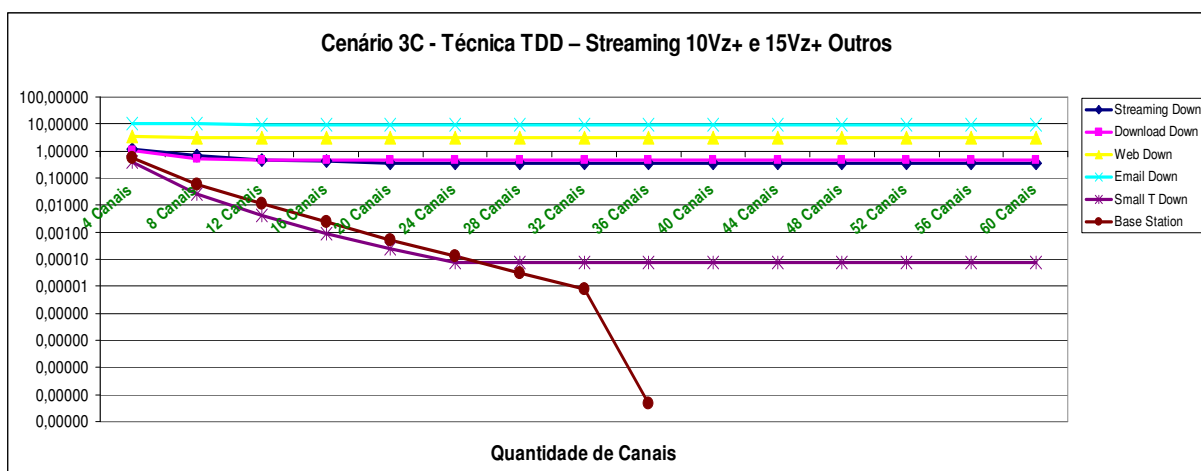
### Serviço de *Streaming* 15 vezes maior e os outros serviços 10 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,10160	0,49776	0,52414	0,41397	0,36129	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	0,84328	0,50857	0,47436	0,46812	0,46694	0,46661	0,46651	0,46648	0,46648	0,46648	0,46650	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500
Web Down	3,36850	3,19080	3,17650	3,17490	3,17460	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17450	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460
Email Down	9,98190	9,84550	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,18968	0,01751	0,00244	7,50E-04	1,0561E-04	7,76610E-05	7,75160E-05	7,75130E-05	7,75130E-05	7,75130E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05
Base Station	0,33338	0,03873	0,00736	0,00161	3,5023E-04	8,64900E-05	1,76040E-05	1,313200E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



## Serviço de *Streaming* 10 vezes maior e os outros serviços 15 vezes maior

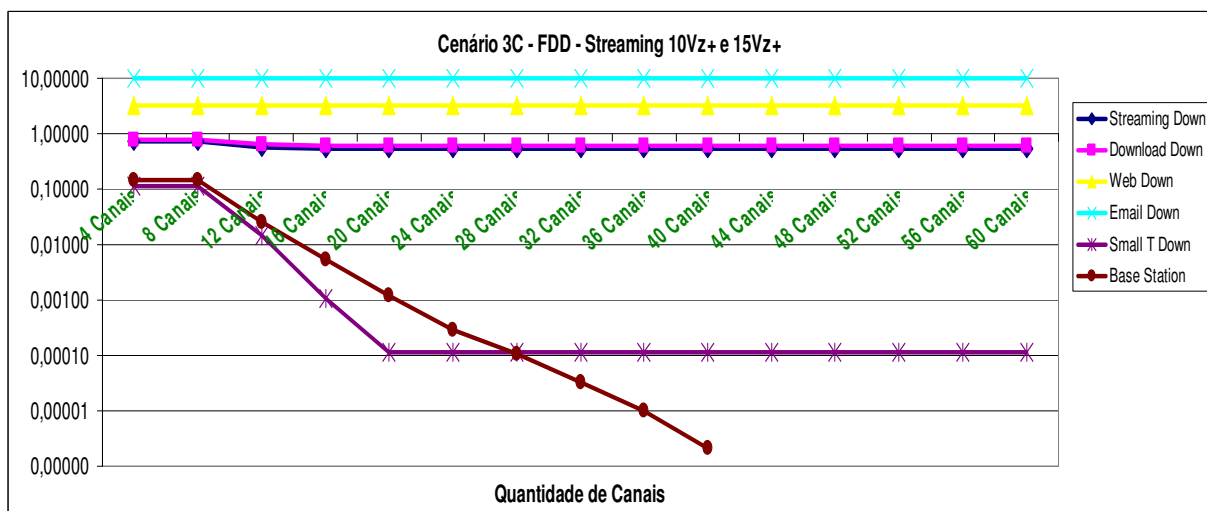
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,18590	0,68155	0,48247	0,42837	0,35772	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556	0,35556
Download Down	1,07490	0,53210	0,47782	0,46767	0,46566	0,46517	0,46504	0,46501	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500	0,46500
Web Down	3,57640	3,20150	3,17790	3,17530	3,17480	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460	3,17460
Email Down	10,20300	9,85960	9,83820	9,83580	9,83480	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470	9,83470
Small T Down	0,38545	0,02631	0,00397	8,9215E-04	2,5696E-04	7,89350E-05	7,87080E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05	7,86950E-05
Base Station	0,55535	0,05912	0,01126	0,00251	5,2322E-04	1,3108E-04	3,18290E-05	7,522700E-06	4,4810000000E-10	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



## B) Técnica FDD

### Serviço de *Streaming* 10 vezes maior e os outros serviços 15 vezes maior

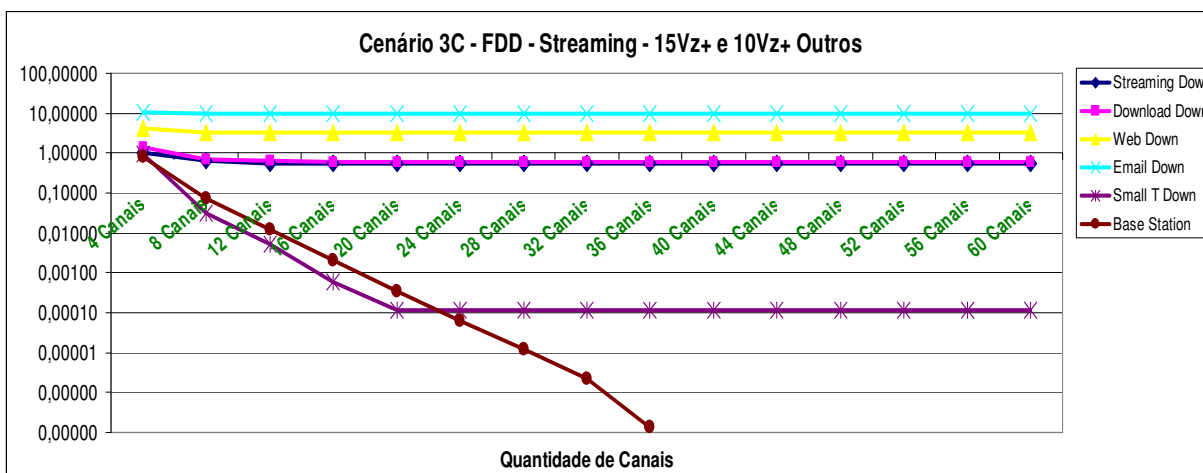
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	0,71285	0,71285	0,56539	0,53841	0,53756	0,53456	0,53346	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	0,76589	0,76589	0,64395	0,62065	0,61570	0,61464	0,61440	0,61432	0,61429	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427	0,61427
Web Down	3,31850	3,31850	3,19750	3,18260	3,17950	3,17890	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880	3,17880
Email Down	9,93580	9,93580	9,84530	9,83720	9,83570	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small T Down	0,11604	0,11604	0,01409	0,00104	1,1625E-04	1,1489E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04	1,1480E-04
Base Station	0,14465	0,14465	0,02597	0,00533	0,00117	2,9703E-04	1,0358E-04	3,31180E-05	9,786000E-06	2,121200E-06	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000





### Serviço de Streaming 15 vezes maior e os outros serviços 10 vezes maior

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	20 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais	36 Canais	40 Canais	44 Canais	48 Canais	52 Canais	56 Canais	60 Canais
Streaming Down	1,05590	0,65566	0,54305	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333	0,53333
Download Down	1,36460	0,69641	0,62891	0,61689	0,6148	0,61444	0,61437	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436	0,61436
Web Down	4,04680	3,23240	3,18400	3,1799	3,1789	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788	3,1788
Email Down	10,86300	9,86850	9,83940	9,8359	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355
Small T Down	0,92814	0,03128	0,00543	5,9950E-04	1,1470E-04	1,1361E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04	1,1354E-04
Base Station	0,79364	0,07151	0,01199	0,00206	3,4826E-04	6,34710E-05	1,22440E-05	2,235300E-06	1,3253000E-07	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

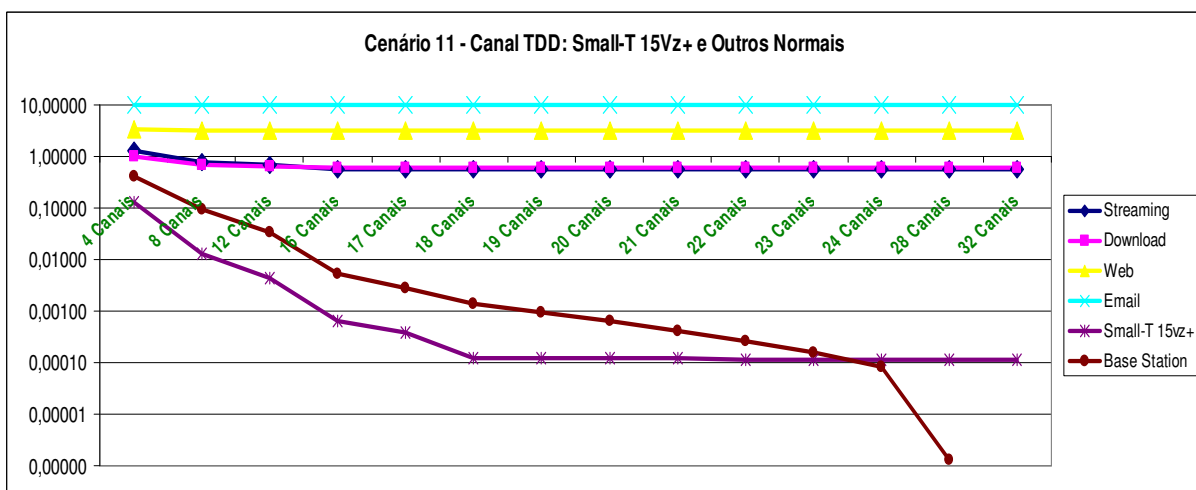


### CENÁRIO 3D - Tráfego de *downlink* nos serviços de Streaming Small-T com variação de 2, 5, 10 e 15 vezes mais que uplink

#### A) Técnica TDD

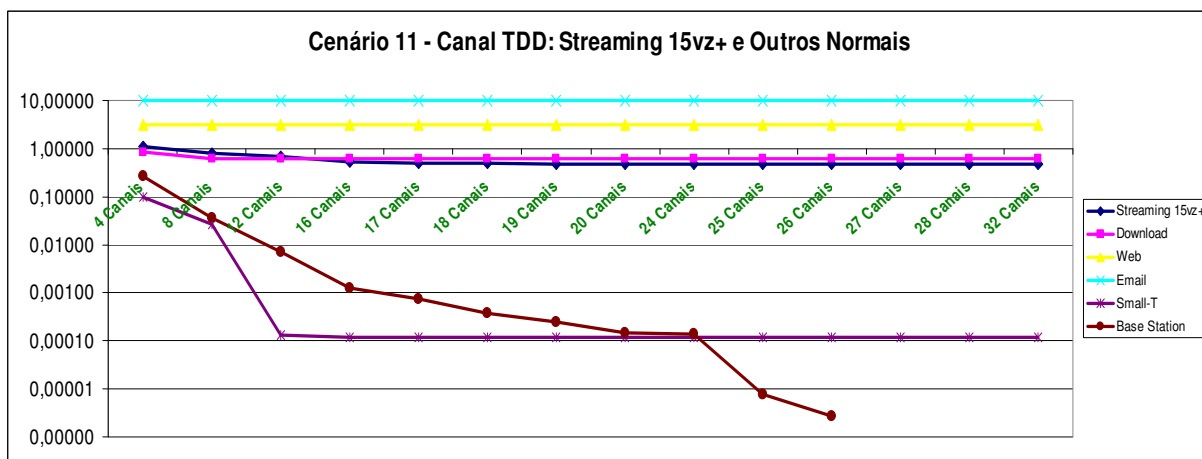
#### Serviço de *Small-T* 15 vezes maior e os outros serviços normais

Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	17 Canais	18 Canais	19 Canais	20 Canais	21 Canais	22 Canais	23 Canais	24 Canais	28 Canais	32 Canais
Streaming	1,32960	0,79883	0,69704	0,57184	0,56091	0,55649	0,55616	0,55569	0,55583	0,55566	0,55566	0,55565	0,55563	0,55563
Download	0,99440	0,66215	0,62388	0,61738	0,61631	0,61534	0,61454	0,61396	0,61352	0,61324	0,61303	0,61293	0,61281	0,61281
Web	3,39520	3,21280	3,18650	3,18110	3,17960	3,17880	3,17860	3,17860	3,17850	3,17850	3,17850	3,17850	3,17850	3,17850
Email	9,91350	9,83610	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570	9,83570
Small-T 15vz+	0,12755	0,01323	0,00443	6,26E-04	3,83E-04	1,20E-04	1,18E-04	1,18E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,17E-04	1,17E-04
Base Station	0,40535	0,09136	0,03281	0,00534	0,00284	0,00139	9,44E-04	6,46E-04	4,18E-04	2,67E-04	1,58E-04	8,21E-05	1,33E-06	0,0000



### Serviço de *Streaming* 15 vezes maior e os outros serviços normais

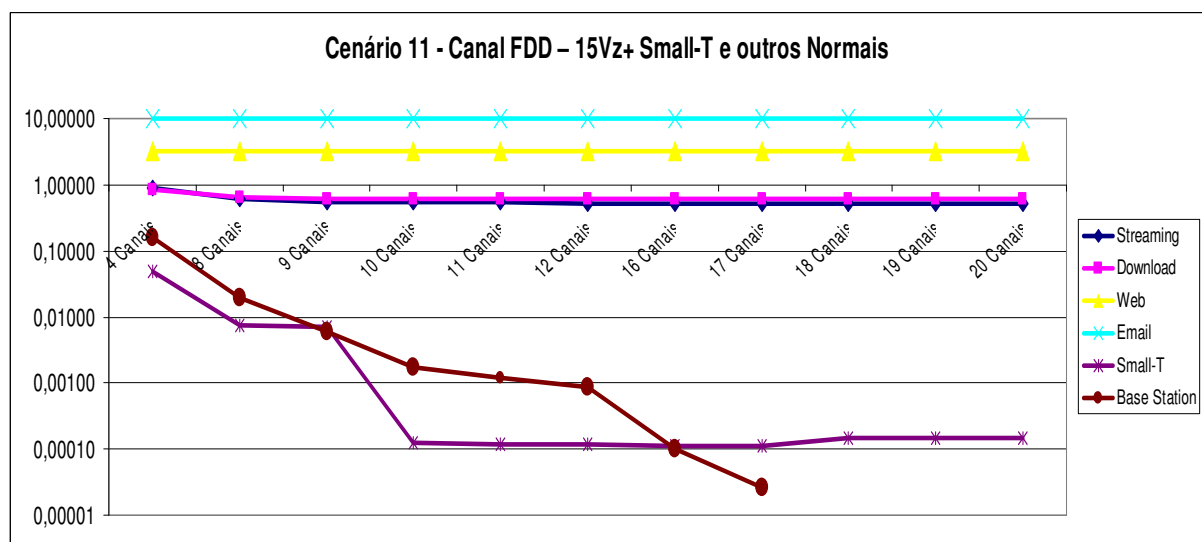
Serviços	4 Canais	8 Canais	12 Canais	16 Canais	17 Canais	18 Canais	19 Canais	20 Canais	24 Canais	25 Canais	26 Canais	27 Canais	28 Canais	32 Canais
Streaming 15vz+	1,10290	0,79354	0,67427	0,51775	0,50756	<b>0,49263</b>	0,48529	0,47974	0,47251	0,47206	0,47168	0,47148	0,47148	0,47148
Download	0,86847	0,62488	0,60838	0,60506	0,60454	0,60427	0,60415	0,60406	0,60394	0,60394	0,60394	0,60394	0,60394	0,60394
Web	3,22910	3,18310	3,17890	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870	3,17870
Email	9,86610	9,83860	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540	9,83540
Small-T	0,09636	0,0268	1,32E-04	1,22E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04	1,21E-04
Base Station	0,26774	0,03692	0,00714	0,00127	7,36E-04	3,77E-04	2,45E-04	1,43E-04	1,36E-04	7,69E-06	2,64E-06	0,00000	0,00000	0,00000



### B) Técnica FDD

#### Serviço de *Small-T* 15 vezes maior e os outros serviços normais

Serviços	4 Canais	8 Canais	9 Canais	10 Canais	11 Canais	12 Canais	16 Canais	17 Canais	18 Canais	19 Canais	20 Canais
Streaming	0,89751	0,59647	0,53716	0,53524	0,53437	0,53399	0,53341	0,53336	0,53333	0,53333	0,53333
Download	0,85471	0,63275	0,62420	0,62241	0,62118	0,62027	0,61795	0,61772	0,61765	0,61765	0,61765
Web	3,21690	3,18170	3,18110	3,17900	3,17850	3,17840	3,1782	3,1782	3,1782	3,1782	3,1782
Email	9,83690	9,83560	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355	9,8355
Small-T	0,04984	0,00745	0,00701	1,27820E-04	1,19910E-04	1,17220E-04	1,14720E-04	1,14630E-04	1,46000E-04	1,46000E-04	1,46000E-04
Base Station	0,15938	0,01952	0,00594	0,00174	0,00121	8,68870E-04	1,00230E-04	2,63680E-05	0,0000	0,0000	0,0000



### Serviço de *Streaming* 15 vezes maior e os outros serviços normais

Serviços	4 Canais	8 Canais	9 Canais	10 Canais	11 Canais	12 Canais	16 Canais	17 Canais	18 Canais	19 Canais	20 Canais
Streaming 15vz+	0,94517	0,62845	0,56381	<b>0,55349</b>	0,54667	0,54291	<b>0,53333</b>	<b>0,53333</b>	<b>0,53333</b>	<b>0,53333</b>	<b>0,53333</b>
Download	0,80976	0,61925	0,61242	0,61105	0,61020	0,60969	0,60913	0,60910	0,60910	0,60910	0,60910
Web	3,20930	3,17840	3,17810	3,17800	3,17800	3,17790	3,17790	3,17790	3,17790	3,17790	3,17790
Email	9,88300	9,83590	9,83560	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550	9,83550
Small-T	0,02742	1,13640E-04	1,11240E-04	1,10610E-04	1,10360E-04	1,10160E-04	1,10120E-04	1,10120E-04	1,10120E-04	1,10120E-04	1,10120E-04
Base Station	0,16215	0,01029	0,00335	0,00204	0,00121	7,27540E-04	2,15770E-04	4,45710E-06	0,0000	0,0000	0,0000

