

MINISTÉRIO DA DEFESA
EXÉRCITO BRASILEIRO
SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
CURSO DE MESTRADO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

SÉRGIO DOS SANTOS CARDOSO SILVA

ESCALONADOR MULTI-CRITÉRIO PARA SISTEMAS DE
MENSAGENS MILITARES EM REDES SEM FIO DE BAIXO
DESEMPENHO

Rio de Janeiro
2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

SÉRGIO DOS SANTOS CARDOSO SILVA

**ESCALONADOR MULTI-CRITÉRIO PARA SISTEMAS DE
MENSAGENS MILITARES EM REDES SEM FIO DE BAIXO
DESEMPENHO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Prof. Ronaldo Moreira Salles. - Ph. D.

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Salgado Vidal. - D. Sc.

Rio de Janeiro
2007

c2007

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80-Praia Vermelha
Rio de Janeiro-RJ CEP 22290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmar ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do autor e do(s) orientador(es).

005.43 S586e	Silva, Sergio dos Santos Cardoso Escalonador Multi-Critério Para Sistemas de Mensagens Militares em Redes Sem Fio de Baixo Desempenho, Sérgio dos Santos Cardoso Silva. – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2007. 120 p.:il, graf., tab. Dissertação: (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007. 1. Escalonamento. 2. Qualidade de Serviço Ótimo. I. Instituto Militar de Engenharia. II. Título.
	CDD 005.43

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

SÉRGIO DOS SANTOS CARDOSO SILVA

ESCALONADOR MULTI-CRITÉRIO PARA SISTEMAS DE
MENSAGENS MILITARES EM REDES SEM FIO DE BAIXO
DESEMPENHO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas e Computação do Instituto Militar de Engenharia, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências em Sistemas e Computação.

Orientador: Prof. Ronaldo Moreira Salles. - Ph. D.

Co-orientador: Prof. Paulo Cesar Salgado Vidal. - D. Sc.

Aprovada em 07/02/2007 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Ronaldo Moreira Salles. - Ph. D. do IME - Presidente

Prof. Paulo Cesar Salgado Vidal. - D. Sc. do IME

Prof. José Ferreira de Rezende - Ph. D. da UFRJ

Prof. Ernesto Pinto Leite - D. Sc. do IME

Prof. Juraci Ferreira Galdino - D. Sc. do IME

Rio de Janeiro
2007

Dedico este trabalho à minha amada esposa Ana Be-
atriz, aos meus pais José (*In Memoriam*) e Aurora e
à Deus por tudo que representam em minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida e sem o qual nada seria possível.

À minha amada esposa Ana Beatriz pelo amor, carinho e apoio oferecido durante essa jornada estando sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais José (*In memoriam*) e Aurora pelo esforço de oferecer uma excelente educação e pelo amor e carinho depositados.

Aos meus padrinhos Almir (*In memoriam*) e Therezinha que soube entender as minhas ausências no período e pela confiança depositada no meu trabalho.

A Diny que foi uma companheira inseparável nos longos dias de trabalho dando apoio e descontração

Ao meu orientador, Maj Salles, pelos ensinamentos transmitidos, pela paciência para esclarecer as dúvidas, pela amizade e confiança conquistadas e por todo tempo ocupado na orientação.

Ao meu Co-orientador, TC Vidal, pela amizade conquistada, pelos ensinamentos e paciência, que foram fundamentais no desenvolvimento deste trabalho

Aos meus amigos: Fabiano, Romeu, Gerard, Margi, Mônica, Elizabete, Cyana, Santos e aos amigos do IME: Flávio, Rafael, Francis, Draeger, Kele, Janilma, Sande entre outros que me apoiaram com suas críticas e sugestões, pelos momentos de descontração, risadas e ajudas prestadas nos momentos necessários.

Ao Exército Brasileiro pela oportunidade de realizar este curso e de evoluir profissionalmente.

Por fim, a todos os professores, alunos e funcionários do Departamento de Engenharia de Sistemas do IME, que, de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	9
LISTA DE TABELAS	11
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	12
1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Contexto e Motivação	17
1.2 Objetivo da Dissertação	19
1.3 Organização da Dissertação	20
2 COMUNICAÇÕES MILITARES	22
2.1 Introdução	22
2.2 Guerra Centrada em Redes	23
2.2.1 Vantagens da Guerra Centrada em Redes	26
2.2.2 Limitações e problemas da Guerra Centrada em Redes	27
2.3 STANAG 4406 - MMHS	28
2.4 Comunicações Militares no Exército Brasileiro	31
2.4.1 Comunicações táticas	32
2.4.2 Comunicações estratégicas	34
2.4.2.1 Redes Rádio Fixa	34
2.4.3 SISCOMIS	35
2.4.4 Sistema de Comando e Controle - SC2	36
3 QUALIDADE DE SERVIÇO MILITAR	38
3.1 Introdução	38
3.2 Conceito de Qualidade de Serviço Militar (M-QoS)	38
3.3 Framework de Gerência e Controle da Rede	39
3.4 Interface para M-QoS	42
3.5 Implementação de M-QoS utilizando DiffServ	44
4 ABORDAGEM TRADICIONAL	49
4.1 Introdução	49

4.2	Funcionamento do algoritmo de precedência	50
4.3	Problemas do algoritmo de precedência	51
5	ESCALONADORES PROPOSTOS	55
5.1	Introdução	55
5.2	Métodos multi-critério	56
5.2.1	Ordenação Lexicográfica	56
5.2.2	Método Função Valor	57
5.3	Critérios selecionados	57
5.4	Seqüência de Eventos	58
5.5	Escalonador Lexicográfico	60
5.5.1	Ordem dos critérios	61
5.5.2	Aplicação do algoritmo lexicográfico ao evento 3 da Seção 5.4	61
5.5.2.1	Critério Validade	62
5.5.2.2	Critério Precedência	64
5.5.2.3	Critério Nível Hierárquico	64
5.5.3	Aplicação do algoritmo ao evento 4 da Seção 5.4	64
5.6	Escalonador Barreira	65
5.6.1	Aplicação dos Critérios na Função Valor	66
6	SIMULAÇÃO	69
6.1	Introdução	69
6.2	Ambiente de Simulação	70
6.3	Cenários	71
7	RESULTADOS	76
7.1	Introdução	76
7.2	Buffer Ilimitado	76
7.2.1	1 dia de operação	77
7.2.1.1	Carga balanceada	77
7.2.1.2	Carga Não Balanceada	82
7.2.2	1 até 4 semanas de operação	82
7.2.2.1	Carga balanceada	82
7.2.2.2	Carga Não Balanceada	87

7.3	Buffer finito	95
7.4	Adequação dos escalonadores a cada cenário	102
8	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	104
8.1	Principais conclusões	104
8.2	Trabalhos futuros	106
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
10	APÊNDICES	112
10.1	APÊNDICE 1: Características das comunicações em canais HF.....	113
10.2	Introdução	113
10.3	Princípio de Funcionamento da comunicação em HF	114
10.4	Propagação em HF	115
10.5	Transmissão em HF	118
10.6	IP sobre HF	118

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG.2.1	Elementos da guerra centrada em rede (JR, 2004).	24
FIG.2.2	Interligação entre os sistemas táticos e estratégicos.	30
FIG.3.1	Framework para redes militares (KWIATKOWSKI, 1999).	41
FIG.3.2	Interface M-QoS (BLACKMORE, 2000)	43
FIG.3.3	Arquitetura DiffServ para M-QoS (KWIATKOWSKI, 2003).	45
FIG.4.1	Escalonador Tradicional.	50
FIG.4.2	Tempo de espera de uma mensagem de prioridade p e carga balanceada.	53
FIG.5.1	Evolução da Prioridade Final - P_0 e P_1 de 0 a 600s	67
FIG.5.2	Evolução da Prioridade Final - P_1 e P_1 de 600 a 3600s	68
FIG.6.1	Topologia utilizada nas simulações	72
FIG.7.1	Total de mensagens perdidas em 1 dia de operação e carga balanceada.	78
FIG.7.2	Perda de mensagens em 1 dia de operação e $\rho = 1,4$	79
FIG.7.3	Perda de mensagens em 1 dia de operação e $\rho = 1,5$	80
FIG.7.4	Tempo de atendimento das mensagens em 1 dia de operação.	80
FIG.7.5	Tempo de atendimento por classe em 1 dia de operação e $\rho = 1,5$	81
FIG.7.6	% de mensagens perdidas em 1 semana de operação e carga balanceada.	83
FIG.7.7	Variação da perda total de mensagens em relação ao tempo de operação ($\rho = 1,4$).	84
FIG.7.8	Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,3$	85
FIG.7.9	Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,5$	86
FIG.7.10	Tempo médio de atendimento - 1 semana de operação e carga balanceada.	88
FIG.7.11	Tempo médio de processamento - 1 semana de operação e carga balanceada.	89
FIG.7.12	% de mensagens perdidas em 4 semanas de operação e carga não balanceada.	90

FIG.7.13	Variação da perda total de mensagens em relação ao tempo de operação ($\rho = 1,4$).	91
FIG.7.14	Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,5$.	92
FIG.7.15	Tempo médio de atendimento - 1 semana de operação e carga não balanceada.	93
FIG.7.16	Tempo médio de atendimento por classe - 1 semana de operação, carga não balanceada e $\rho = 1,5$.	94
FIG.7.17	% de mensagens perdidas para 1 semana de operação, carga balanceada e buffer 720.000.	96
FIG.7.18	% de mensagens perdidas para 1 semana de operação, carga balanceada e buffer 5040.000.	97
FIG.7.19	Perda de mensagens por classe - 1 semana de operação, $\rho = 1,5$ e carga balanceada.	98
FIG.7.20	Perda de mensagens por classe - 1 semana de operação, $\rho = 1,5$ e carga não balanceada.	99
FIG.7.21	Tempo de atendimento no sistema para uma semana de operação, carga balanceada e buffer 720.000 bytes.	100
FIG.7.22	Tempo de atendimento no sistema para uma semana de operação, carga balanceada e buffer 5040.000 bytes.	101
FIG.10.1	Propagação da onda eletromagnética em HF.	116
FIG.10.2	Camadas da ionosfera.	117
FIG.10.3	Um modelo de rede IP conectada por um enlace HF	119

LISTA DE TABELAS

TAB.4.1	Tempo médio de espera para uma mensagem de prioridade p , carga balanceada e $\rho = 0,999$	52
TAB.5.1	Prazo de Validade (KINGSTON, 2000)	58
TAB.5.2	Nível Hierárquico	59
TAB.6.1	Nível Hierárquico	71
TAB.6.2	Número de Mensagens por Duração da Operação	74
TAB.10.1	Bandas de radio difusão nas ondas curtas	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

2G	-	Segunda Geração de tecnologia HF
3G	-	Terceira Geração de tecnologia HF
ACP	-	Allied Communication Publication
API	-	Application Procedure Interfaces
ARPANET	-	Advanced Research Projects Agency Network
BB	-	Bandwidth Brokerage
BLOS	-	Beyond Line-of-Sight
C2	-	Comando e Controle
CBWFQ	-	Class Based Weighted Fair Queueing
CC2CS	-	Centro de Comando e Controle do Comando Supremo
CISCOMIS	-	Comissão de Desenvolvimento do Projeto e da Implantação do
CITEX	-	Sistema de Comunicações Militares por Satélite Centro Integrado de Telemática do Exército
CORBA	-	Common Object Request Broker Architecture
CTA	-	Centro de Telemática de Área
CT	-	Centro de Telemática
DE	-	Divisão de Exército
DiffServ	-	Differentiated Services
DSTO	-	The Defence Science and Technology Organisation
EB	-	Exército Brasileiro
EMD	-	Estado Maior de Defesa
EMFA	-	Estado Maior das Forças Armadas
EMG	-	Estrutura Militar de Guerra
FFI	-	Norwegian Defence Research Establishment
FIFO	-	First In First Out
FOT	-	Frequência de Trabalho Ótima
FTP	-	File Transfer Protocol
HF	-	High Frequency
IP	-	Internet Protocol
ITU	-	International Telecommunications Union

JWID-02	-	Joint Warrior Interoperability Demonstration
LLQ	-	Low Latency Queueing
LUF	-	Frequência Mínima Utilizável
MD	-	Ministério da Defesa
MMHS	-	Military Message Handling Systems
MQoS	-	Military Quality of Service
MUF	-	Frequência Máxima Utilizável
NCW	-	Network Centric Warfare
NGSL	-	Network Generic Services Level
ONU	-	Organização das Nações Unidas
OTAN	-	Organização do Tratado do Atlântico Norte
PAMO	-	Processamento Automático de Mensagens Operacionais
PBNM	-	Policy Based Network Management
PE	-	Physical Elements Level
PF	-	Prioridade Final
QoS	-	Quality of Service
RED	-	Random Early Detection
RENER	-	Rede Nacional de Radio Amadores
RITEX	-	Rede Integrada de Telemática do Exército
RRF	-	Rede Rádio Fixa Principal
RRFP	-	Rede Rádio Fixa Principal
RRFS	-	Rede Rádio Fixa Seccional
SC2	-	Sistema de Comando e Controle
SEC	-	Sistema Estratégico de Comunicações
SICOMEx	-	Sistema de Comunicações do Exército
SIGLEEx	-	Sistema de Guerra Eletrônica do Exército
SIPLOM	-	Sistema de Planejamento Operacional Militar
SISCOMIS	-	Sistema de Comunicações Militares por Satélite
SISMC2	-	Sistema Militar de Comando e Controle
SISTAC	-	Sistema de Comunicações Táticas
SITAGE	-	Sistema Tático de Guerra Eletrônica
STANAG	-	Standardization Agreement
TCP	-	Transmission Control Protocol

UDP	-	User Data Protocol
VASAL	-	Value-added Services and Application Level
VMI	-	Valor Militar da Informação
VNDL	-	Virtual Network Devices Level
WRED	-	Wheighted Random Detection

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o emprego de métodos multi-critério para escalonar mensagens militares em redes HF. Devido às características de uma rede HF, tais como, baixa largura de banda, alta latência, alta variabilidade do canal e alta taxa de erros, faz-se necessário à priorização das mensagens de acordo com o valor militar do seu conteúdo.

Atualmente o operador do sistema classifica a mensagem utilizando um único critério, que é a precedência, dentro de quatro níveis pré-definidos: Urgentíssima, Urgente, Prioridade e Rotina. Para o método atual, utiliza-se um algoritmo de fila de prioridades, com cada precedência alocada a uma fila, e o escalonador sempre irá atender a fila de maior prioridade. Mensagens que possuem baixo valor militar irão aguardar no buffer até que não exista nenhuma mensagem de maior valor. Desta forma, dependendo da carga do sistema, as mensagens de menor valor podem ser atrasadas de tal forma que a validade de seu conteúdo pode expirar, acarretando em perdas elevadas que em alguns casos podem atingir mais de 50% das mensagens.

A presente dissertação propõe o uso de outros critérios de forma a quantificar o valor da prioridade final de uma mensagem, tais como: prazo de validade, precedência e nível hierárquico do emissor. Estes critérios foram selecionados com o objetivo de estimar a prioridade final e permitir que mensagens de menor precedência possam ser escalonadas em determinados momentos, mesmo na presença de mensagens de maior precedência. Dois algoritmos de escalonamento são propostos: ordenação lexicográfica e método da função valor.

Resultados de simulação demonstram as vantagens do emprego dos algoritmos propostos em comparação com os métodos tradicionais em diversos cenários.

ABSTRACT

This study aims at evaluating the use of multi-criteria methods to schedule military messages in HF networks. Given the characteristics of HF networks, such as low bandwidth, high latency, high channel variability and high error level, it has been necessary to prioritize messages according to the military value of their contents.

Nowadays, system operators rank messages using a sole criterion, which is precedence, within four pre-defined levels: Flash, Urgent, Priority and Routine. The current method employs a strict priority queueing algorithm, in which each precedence is placed in a queue, and the scheduler attends to the higher priority queue. Messages with low military value stand at the buffer until there are no higher-value messages. Thus, depending on the system charge, lesser messages may be delayed till expires, causing high losses of up to 50% of all messages.

This dissertation proposes the use of other criteria in order to quantify the value of a message's final priority, such as expiration time, precedence, and sender's hierarchical level. Those criteria were selected in order to estimate the final priority of a message and also to allow lesser precedence messages to be scheduled at certain times, even before higher precedence messages. We propose two scheduling algorithms: lexicographic ordering and value-function method.

Simulation results have demonstrated the advantageous use of the proposed algorithms in comparison to traditional methods in various scenarios.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

As comunicações são de extrema importância para o desenrolar das operações militares. Sem meios de comunicação eficientes, os líderes militares ficam impossibilitados de transmitir suas ordens aos seus subordinados, o que poderá conduzir ao fracasso da operação, além da perda de muitas vidas se as mensagens não chegarem a tempo e de forma correta.

As mensagens a serem transmitidas durante uma operação podem estar relacionadas ao uso da força bélica, cujo contato com o inimigo está próximo, e a necessidade de rapidez na entrega das mensagens é preponderante. Também podem ser empregadas nas operações de logística, quando o tempo pode não ser tão escasso como na situação anterior, mas a necessidade de que as mensagens sejam entregues dentro de sua validade é essencial, caso contrário pode faltar, por exemplo, apoio de manutenção, alimentos ou água.

As comunicações militares utilizam diversos tipos de meios de transmissão de acordo com a característica da missão, o tipo de comunicação (que pode ser estratégica ou tática), o conteúdo a ser transmitido, a largura de banda desejada, o tipo de tráfego, o custo e o ambiente.

De acordo com os dois tipos de comunicação referidos acima pode-se afirmar que para as comunicações estratégicas são utilizados, normalmente, meios de transmissão de maior largura de banda, menos susceptíveis a erros e, muitas vezes, utilizando infra-estrutura de redes cabeadas já existentes (JODALEN, 2004).

Quando se analisa as comunicações táticas, os meios de transmissão empregados são geralmente sem fio. Isso ocorre principalmente devido a fatores como a extrema mobilidade das unidades que impedem o uso de infra-estruturas fixas (JODALEN, 2004), a inexistência de redes cabeadas, impossibilidade de lançamento de cabos, distância entre o emissor e o destinatário, ambiente hostil, entre outros.

Apesar dos avanços científicos no desenvolvimento de tecnologias de rede sem fio mais eficientes, tais como IEEE 802.11(IEEE 802.11) e IEEE802.16 (IEEE 802.16), que prop-

iciam maior largura de banda e menor taxa de erros, existem cenários nos quais essas redes não podem ser empregadas. Isso ocorre principalmente em regiões como a Amazônia (BARROSO, 2006), devido às suas características fisiográficas, como a dimensão, vegetação e regime de chuvas, como em regiões desérticas, pela falta de infra-estrutura de telecomunicações ou energia elétrica. Ainda podemos citar as situações de desastres ou calamidades, quando a estrutura de telecomunicações pode ter sido parcialmente ou totalmente destruída, e o uso em operações militares.

Para esses cenários, as opções de meios de comunicação são restritas e estão baseadas principalmente no uso de redes de satélites ou redes *High Frequency* (HF). Estes meios tornam-se eficazes porque podem cobrir grandes distâncias, ultrapassar obstáculos naturais, os equipamentos são portáteis podendo funcionar com baterias ou pequenos geradores, além de permitirem integração com redes baseadas na arquitetura de protocolos *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) (JODALEN, 2004) (JODALEN, 2005) (BLAIR, 2000) (DANTAS, 2006).

Apesar de uma rede de satélites poder prover uma maior largura de banda, permitindo um tráfego maior de dados em relação aos enlaces de HF, o custo de operação é muito alto. Ainda existe a desvantagem que para se montar uma rede própria de satélites com uma boa cobertura, há a necessidade de projeto, construção e lançamento dos satélites, o que demanda muito tempo e altos investimentos. Convém ressaltar ainda a dificuldade de propagação dos sinais em áreas de mata densa, como é o caso da Amazônia.

Dessa forma, o meio de comunicação viável para o emprego imediato é a utilização de redes HF, que têm um custo baixo, tanto para a compra de equipamentos, quanto para operação da rede, podem ser rapidamente colocadas em operação, não necessitam de linha de visada e possuem longo alcance.

O avanço nos sistemas HF permitiu a integração com as redes baseadas na arquitetura de protocolos TCP/IP e viabilizou o uso de enlaces HF não somente para operações militares, mas também nos seguintes cenários:

- comunicações com plataformas móveis localizadas além da linha de visada;
- inexistência de infra-estrutura de telecomunicações;
- situações de desastres ou calamidades quando a estrutura de telecomunicações pode ter sido parcialmente ou totalmente destruída.

Podemos citar um recente de emprego real de redes HF durante as operações de salvamento após o ataque de 11 de setembro em Nova Iorque (JODALEN, 2004) onde a infraestrutura de telecomunicações entrou em colapso devido à falta de energia, à destruição parcial das redes e ao congestionamento causado por milhares de chamadas simultâneas. Para garantir o resgate das vítimas, a Guarda Nacional Americana utilizou redes HF para coordenar as operações (JODALEN, 2004).

No Brasil podemos citar a existência da Rede Nacional de Radio Amadores - RENER (SNDC) que foi criada pela Portaria Ministerial MI-302, de 24 de outubro de 2001, publicada no Diário Oficial da União n.º 201, Seção I, de 26 de outubro de 2001, com o objetivo de suprir os meios de comunicações usuais, quando os mesmos não puderem ser acionados, em razão de desastre, situação de emergência ou estado de calamidade pública.

Apesar das vantagens da tecnologia HF, existem diversas restrições ao seu uso, tais como: estreita largura de banda, alta taxa de erros e alta latência, o que levam a rede a operar em sobrecarga. Desta forma, faz-se necessário o emprego de mecanismos de prioridade para garantir a transmissão das mensagens de maior importância fazendo com que o sistema cumpra a sua finalidade.

É importante destacar que em redes militares, de forma diferente das redes tradicionais, a qualidade de serviço (*Quality of Service - QoS*) oferecida no sistema deve ser controlada em função do valor do conteúdo das mensagens, ou seja, a importância de cada transmissão para o cumprimento da missão (KOWALCHUK, 1996a).

Em redes militares, a forma tradicional de se implementar prioridades é através do emprego de filas de prioridades divididas em quatro categorias: Urgentíssima, Urgente, Prioridade e Rotina. Contudo o uso da precedência como o único critério de classificação pode impactar severamente a transmissão de mensagens de menor prioridade especialmente nos enlaces sem fio de baixo desempenho.

1.2 OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação tem por objetivo o estudo e análise de métodos multi-critério com o objetivo de otimizar o escalonamento das mensagens de tal forma que a perda de mensagens seja minimizada e as de menor prioridade também possam ser atendidas. Os métodos propostos levam em conta uma série de fatores na realização do escalonamento das mensagens e não exclusivamente o critério da precedência. Dois algoritmos são

propostos: o primeiro baseado na ordenação lexicográfica e o segundo no uso de função valor.

Especificamente esta dissertação possui os seguintes objetivos:

- revisar os conceitos empregados nas comunicações militares e seus respectivos sistemas;
- propor a utilização de outros critérios para classificação das mensagens;
- propor algoritmos de escalonamento baseados nos critérios de prazo de validade, precedência e nível hierárquico;
- maximizar o atendimento aos fluxos de mensagens;
- avaliar o desempenho dos métodos multi-critérios utilizados em relação ao método mono-critério atualmente em vigor, através dos seguintes parâmetros:
 - perda total de mensagens no sistema;
 - perda de mensagens em cada classe de precedência;
 - tempo médio de atendimento;
 - tempo de processamento.
- definir os limites para os quais os métodos multi-critérios apresentam melhor desempenho;
- avaliar o uso de mecanismo de gerência de buffer nos métodos propostos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho está organizado em 8 capítulos.

O Capítulo 2 apresenta as características e peculiaridades das comunicações militares. Posteriormente serão apresentadas alguns sistemas de mensagens militares adotados na Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e no Exército Brasileiro (EB).

O Capítulo 3 apresenta o conceito de qualidade de serviço em redes militares (MQoS) que implementa a priorização de fluxos mais importantes, a degradação dos níveis de menor valor e é apresentado o conceito da prioridade final (PF).

No Capítulo 4 é descrita a abordagem tradicional utilizada no EB a fim de priorizar os fluxos de informação através dos sistemas de mensagens militares existentes.

No Capítulo 5 são apresentados os métodos multi-critérios existentes que foram escolhidos para calcular o valor militar da informação de cada mensagem. São propostos outros critérios a serem utilizados com a finalidade de obter a Prioridade Final. As propostas de algoritmos de escalonamentos são apresentadas utilizando-se os critérios propostos aplicados aos métodos multi-critérios selecionados.

No Capítulo 6 descreve-se o ambiente de simulação utilizado para as avaliações de desempenho dos métodos propostos bem como os cenários de carga, buffer, validade e tempo de operação utilizados na avaliação.

No Capítulo 7 são apresentados os resultados obtidos referentes às avaliações de desempenho supra mencionadas.

No Capítulo 8 são apresentadas as principais conclusões desta dissertação e algumas sugestões para realização de trabalhos futuros de forma a estender e complementar os resultados obtidos em nossa análise.

2 COMUNICAÇÕES MILITARES

2.1 INTRODUÇÃO

Nos nossos dias, face ao ritmo de vida que a sociedade nos impõe e ao potencial tecnológico disponível, a informação constitui um fator decisivo, não só no setor dos negócios, mas também no setor militar e, neste caso, desde a Antiguidade, a informação é considerada um fator-chave no desenrolar dos conflitos.

As comunicações militares têm por finalidade promover as ligações necessárias entre os diversos escalões de uma Força Armada para conduzir as ordens aos elementos subordinados, assim como para receber as informações dos diversos ambientes que são utilizados durante as operações, para as tomadas de decisão. O funcionamento correto das comunicações é essencial para o sucesso de uma operação.

Militares norte-americanos avaliam que o resultado das guerras modernas depende cada vez mais da informação e da comunicação, o que facilita a flexibilidade e tende a incentivar organizações em rede, no lugar das hierarquias dos exércitos tradicionais (PISANI, 2002).

Historicamente, as primeiras comunicações militares eram realizadas através do envio/recebimento de sinais, que poderiam ser de fumaça, visuais ou sonoros, e poderiam ser codificados para evitar o reconhecimento pelo inimigo. Com o passar dos anos as comunicações evoluíram devido à necessidade de que as ordens pudessem ser enviadas ou recebidas com eficácia e eficiência.

A necessidade de evolução das comunicações militares ajudou a desenvolver diversos sistemas de comunicações difundidos atualmente para a população mundial. Um exemplo, foi a criação, em 1969, da *Advanced Research Projects Agency Network* (ARPANET), que surgiu da necessidade do Departamento de Defesa dos Estados Unidos de conectar as bases militares e os departamentos de pesquisa do governo americano, e tinha como objetivo desenvolver uma rede de comunicação que não os deixassem vulneráveis, caso houvesse algum tipo de ataque. Essa rede foi precursora da Internet.

A crescente importância das comunicações nos conflitos na era da informação vem mod-

ificando os conceitos das operações militares. Esta transformação no âmbito das Forças Armadas desloca-se da guerra clássica centrada em plataformas para a guerra centrada em rede (*Network Centric Warfare* - NCW), tratando esta última de comportamento humano e organizacional e sendo baseada em novos modos de pensar e de aplicar esses conceitos às operações militares (JR, 2004).

A transição da centralização em plataforma para centralização em rede é apenas o começo de uma transformação para níveis mais altos da guerra. Diversos autores acreditam que os próximos passos evolutivos levarão de uma guerra centralizada na informação para uma guerra centralizada no conhecimento (JR, 2004).

Devido à mudança nos paradigmas da guerra moderna, a comunicação tornou-se peça fundamental nas operações militares e todos os esforços devem ser realizados para que as mensagens sejam transmitidas rapidamente e alcancem o destinatário no menor espaço de tempo. Para atingir esse objetivo, devem ser desenvolvidos mecanismos que minimizem a perda das mensagens e diminuam o tempo de entrega. No Capítulo 4 são apresentados os métodos utilizados e suas deficiências e no Capítulo 5 são apresentadas propostas de escalonadores para que esse objetivo seja alcançado.

Este capítulo aborda os conceitos das comunicações militares. Na Seção 2.2 são apresentados o surgimento e os conceitos básicos da Guerra Centrada em Redes (NCW). Na Seção 2.3 é apresentado o padrão de sistema de mensagens da OTAN - STANAG 4406. O funcionamento das comunicações militares no Exército Brasileiro é descrito na Seção 2.4. Por fim, são apresentados os cenários nos quais os conceitos das comunicações militares se aplicam aos meios civis de comunicação.

2.2 GUERRA CENTRADA EM REDES

O conceito de Guerra Centrada em Rede, introduzido pelos EUA na década de 90, se tornou um requisito operacional para os países com ambição de participar em operações de coligação com forças norte-americanas. Consoante aos níveis de ambição, recursos e tradições culturais, cada nação desenvolveu adaptações nacionais de um processo de operação conjunta e integrada, dando preferência a segmentos específicos do espectro de conflito: Reino Unido - "*Network Enabled Capability*"; Suécia - "*Network Based Defense*"; Noruega - "NCW"; Canadá "*Network Enabled Operations*"; Austrália - "NCW"; Singapura - "*Knowledge Based Command and Control*"; ou mesmo a China através da execução de

simulações de operações em rede para treino de comandantes e forças militares. A OTAN desenvolve a sua capacidade de operação em rede denominada “*NATO Network Enabled Capability*” (VICENTE, 2006).

A guerra centrada em redes é definida como um conceito de operações de capacidade de predomínio na informação, que gera crescente poder de combate por meio de uma rede de sensores, tomadores de decisão e operadores de sistemas de armas, a fim de conseguir conhecimento compartilhado da situação operacional, aumento da rapidez de comando, andamento mais acelerado das operações, maior letalidade, crescente capacidade de sobrevivência e um certo grau de auto-sincronização (ALBERTS, 2000). A FIG. 2.1 apresenta uma visão conceitual de NCW com alguns de seus principais elementos ou elementos constitutivos.



FIG. 2.1: Elementos da guerra centrada em rede (JR, 2004).

A Guerra Centrada em Rede baseia-se, essencialmente, em três componentes: uma

organizacional, uma comportamental e uma técnica, exigindo na sua aplicação mudanças nas estruturas, nos comportamentos e a implementação das novas tecnologias. É fundamental que a força disponha de uma superioridade de informação relativamente ao seu adversário, e que interligue as componentes da força em rede para compartilhar a informação, comunicar e ativar os vários sistemas de armas, permitindo desse modo ultrapassar a tendência crescente do aumento da descontinuidade geográfica em termos de espaços de atuação das forças.

A NCW sustenta-se na capacidade de processamento automático dos computadores, bem como nas tecnologias de comunicação em rede, que fornecem informação e conhecimento compartilhado do campo de batalha às forças militares. Este conhecimento global, real e imediato potencializa as sinergias de comando e controle, fornecendo a capacidade para coordenar operações militares complexas a longa distância e, conseqüentemente, obtendo superioridade militar.

Técnicas de NCW foram empregadas, ainda que de forma incipiente, no Afeganistão e, mais recentemente, na “*Operação Iraqui Freedom - (OIF)*”. A NCW é um componente-chave do planejamento estratégico de defesa do Departamento de Defesa (DoD) dos EUA para a transformação do instrumento militar (NUNES, 2005).

Na guerra em redes, “ganha quem tem a melhor informação, não quem tem a maior bomba” (PISANI, 2002). O resultado dos conflitos depende cada vez mais da informação e da comunicação, o que facilita a flexibilidade e tende a incentivar organizações em rede, no lugar das hierarquias dos exércitos tradicionais.

Já é comumente aceito que a NCW, envolvendo a ligação de sistemas e o compartilhamento de informação total e em tempo real, permite assegurar a imediata disponibilidade de todos os meios e capacidades ao alcance dos comandantes durante as operações militares permitindo-lhes agir mais depressa e decisivamente. Os objetivos da guerra centrada em redes, atualmente aceitos pela comunidade que a desenvolve, englobam (NUNES, 2005):

- a) A auto-sincronização ou “fazer o que deve ser feito sem esperar ordens tradicionais”;
- b) A melhoria e alargamento da compreensão da “intenção do comandante”;
- c) A melhoria e compartilhamento do conhecimento da situação operacional e tática de todos os escalões de comando;
- d) A melhoria da capacidade de operar em coligação reduzindo os “ruídos” do campo de batalha.

A NCW pode conduzir a uma transformação do conceito operacional sobre o campo de batalha. Com o uso das redes é possível manter as bases de comando a uma boa distância da área de operações e as ordens serem transmitidas através dos meios de comunicação existentes. Essa idéia muda o paradigma atual de montar quartéis-generais no terreno que normalmente são grandes e pesados, inspirados no tradicional sistema de blocos de construção. A tendência é haver menos quartéis-generais e que terão que ser mais ligeiros e mais flexíveis dando maior mobilidade a tropa.

Entretanto, para atingir a flexibilidade e mobilidade desejadas, os meios de comunicação a serem utilizados deverão priorizar os meios sem fio, principalmente no contexto tático. Considerando que as bases de comando podem e devem estar afastadas do cenário das operações, muitas bases estarão a grande distância, longe da linha de visada e isso associado as características geográficas, como vegetação, chuvas, montanhas podem restringir os padrões de redes sem fio passíveis de emprego. Efetivamente, os padrões de comunicações sem fio que podem ser empregados nessas situações são redes de satélites e redes HF.

2.2.1 VANTAGENS DA GUERRA CENTRADA EM REDES

Recentes estudos demonstram que o poder está relacionado a capacidade de produzir, processar, acessar e compartilhar informação de forma mais veloz que o adversário. Superioridade de informação conduz à superioridade na ação. Esta perspectiva tem sido confirmada nas recentes operações e experiências militares. Forças verdadeiramente conjuntas, com capacidades amplamente integradas e operando de acordo com os princípios da NCW podem efetivamente explorar o elevado padrão de eficácia das novas tecnologias. Eis algumas das vantagens geradas por este padrão de eficácia da NCW (NUNES, 2005):

- a) Forças em rede podem ser mais reduzidas, mais leves e dotadas de maior mobilidade, tais características permitem cumprir efetivamente todas as missões com menores custos.
- b) Forças em rede podem utilizar novas táticas. Na OIF, forças do exército norte-americano utilizaram táticas que se podem designar por “*swarm tactics*”. Em consequência da rede as forças podem permanentemente conhecer as suas posições relativas, mesmo que não se encontrem em linha de visibilidade. Assim, podem operar

de forma aberta, em dispositivos menos densos, mais independentes, sem preocupações em manter formações rígidas e sem preocupações de segurança da retaguarda. Elas movimentam-se de forma rápida, mais fluida, compartilhando informação, de maneira que, se uma é empenhada, as outras podem acorrer em seu auxílio (*swarming*) concentrando a partir de todas as direções.

- c) A maneira como os soldados pensam e agem também irá mudar. Quando uma unidade encontra um problema no campo de batalha pode, por exemplo, entrar num “*online chat room*” (literalmente). O problema é então resolvido conceitualmente em rede, utilizando, se necessário, especialistas na retaguarda (estado-maior, por exemplo). Essas possibilidades dão confiança aos líderes e aos soldados e permitem orientar os efeitos das ações.
- d) O hiato de tempo sensor-ataque também se reduz. Utilizando sistemas de guerra centrada em redes no campo de batalha as forças têm a possibilidade de conduzir uma análise da informação *in loco* a partir dos sensores disponíveis em rede, ao invés de terem de esperar por relatórios finais oriundos da retaguarda.

2.2.2 LIMITAÇÕES E PROBLEMAS DA GUERRA CENTRADA EM REDES

Apesar das vantagens da NCW, existem alguns problemas ao empregá-la no campo de batalha. Alguns sistemas ainda não estão totalmente implementados, alguns deles ainda não são “*user-friendly*” e, sobretudo, podem falhar, tendo as unidades que continuar a cumprir a missão.

Por outro lado, forças com estas capacidades podem cair na tentação de subestimar os adversários, especialmente quando estes não possuem tecnologias NCW. Sabe-se igualmente que estes adversários irão buscar ultrapassar esta incapacidade procurando níveis diferentes de empenho transformando as suas operações (terrorismo e guerrilha), agindo em novos campos de batalha (ambientes urbanos), utilizando novas armas (mídia, população e armas de destruição em massa), convertendo-se a novas doutrinas (e fanatismos) e adquirindo tecnologia.

Este parece ser o ponto comum no combate assimétrico que hoje se trava: a corrida à tecnologia por todas as partes. Esta situação comporta questões ligadas à aquisição e transferência de tecnologia (ao segredo) com que as potências tecnológicas se debatem.

Torna-se absolutamente essencial desenvolver os sistemas mas também protegê-los, mantê-los seguros, evitando a sua proliferação, porém, esta missão parece ser particularmente difícil quando, por outro lado, se procuram objetivos de interoperabilidade e de compartilhamento do conhecimento e do desenvolvimento científico em áreas como o domínio do espaço e dos computadores.

Finalmente, existem dificuldades tecnológicas ainda por ultrapassar como maior capacidade de transmissão, segurança, filtragens, etc.

2.3 STANAG 4406 - MMHS

O conceito da guerra centrada em redes (NCW) foca na informação e torna a troca de informação ainda mais importante do que nos sistemas do comando e controle atuais. O conceito das operações é baseado na suposição de que a superioridade da informação conduzirá a um aumento do poder de combate.

Um dos principais desafios é encontrar maneiras de distribuir informação relevante a todas as partes envolvidas, a fim de conseguir compartilhar o conhecimento e tomar as decisões baseadas em uma descrição comum do teatro de operações. As forças envolvidas podem estar desdobradas no campo de operações ou operar dentro de um ambiente estratégico. Está claro que o aumento da interoperabilidade entre sistemas estratégicos e táticos é necessário, incluindo a distribuição da informação através de diferentes tipos de sistemas de comunicação com taxa de erro e de dados variável.

Muitas nações possuem um plano da migração para a abordagem NCW e alguns sistemas existentes continuarão a serem utilizados por muito tempo por causa dos investimentos já realizados. Um desses sistemas é o Sistema de Manipulação de Mensagens Militares (MMHS - *Military Message Handling System*) da OTAN baseado no *Standardization Agreement* (STANAG) 4406 (OTAN, 1999). O padrão STANAG 4406 inclui perfis estratégicos (Anexo C - STANAG 4406) e táticos (Anexo E - STANAG 4406) que podem ser utilizados para troca de informação entre os domínios estratégicos, com altas taxas de transferências, e domínios táticos, com baixa taxa de transferência, como por exemplo, canais HF.

Uma mensagem militar é diferente de uma mensagem interpessoal. Aquela é emitida em nome de uma unidade militar e estabelece um compromisso legal, sob leis militares, entre a unidade de envio e recebimento. Exemplos destes tipos de mensagens são as

ordens militares. Outro aspecto é que, devido às peculiaridades das missões militares, há a necessidade de priorizar as mensagens de acordo com a importância desta para o cumprimento da missão. No caso de emprego em meios civis essa necessidade também pode ocorrer em situações de emergência ou calamidade.

As mensagens militares podem ser gerenciadas por sistemas MMHSs que são responsáveis pela entrega, auditoria, arquivamento, numeração, liberação, emissão, segurança e a distribuição das mensagens recebidas. Na OTAN, o serviço de mensagens é visto como o veículo de transmissão seguro de mensagens para operações militares de missão-crítica (os sistemas de correio eletrônico não são) (JODALEN, 2004). A edição 1 do STANAG 4406 é o único padrão considerado para conseguir a interoperabilidade entre os sistemas de mensagem das nações que compõem a OTAN e está sendo extensamente testado e implementado por estas nações e pela própria OTAN. Esse sistema pode, conseqüentemente, ser utilizado para a comunicação entre as forças nacionais, a OTAN e/ou os aliados da OTAN.

Um dos componentes de um sistema MMHS é o agente de transferência de mensagens (MTA - *Message Transfer Agent*). É uma aplicação *store-and-forward* e que pode ser usada como um *gateway* entre o sistema estratégico e tático. O MTA possui uma dupla pilha de protocolos, implementando tanto o perfil estratégico orientado a conexão (S4406 anexo C) como o perfil tático não orientado a conexão (S4406 anexo E), por isso, o MTA pode rotear mensagens entre os sistemas estratégicos e táticos (OTAN, 1999). Um esquema do MTA e das pilhas de protocolos é apresentado na FIG. 2.2. Este conceito foi demonstrado inicialmente no *Joint Warrior Interoperability Demonstration* (JWID-02)(EGGEN, 2002) e será adotado na Noruega a fim de integrar o sistema MMHS estratégico e tático do Exército e da Marinha deste país.

O MTA deve possuir algoritmos eficientes que possam permitir o escalonamento adequado das mensagens para que sejam priorizadas de acordo com o valor intrínseco da informação que carregam.

A pilha de protocolos orientada a conexão definido originalmente no padrão STANAG 4406 - anexo C (e no padrão *Allied Communication Publication* (ACP) 123 (PUBLICATION, 1997)) foi desenvolvido para redes estratégicas com elevadas taxas de transmissão de dados e não é apropriada para os canais com baixa taxa de transferência. Existem diversos fatores que inviabilizam o uso desses protocolos orientados a conexão, mais especificamente o protocolo TCP, a nível tático, dos quais podemos citar como mais impor-

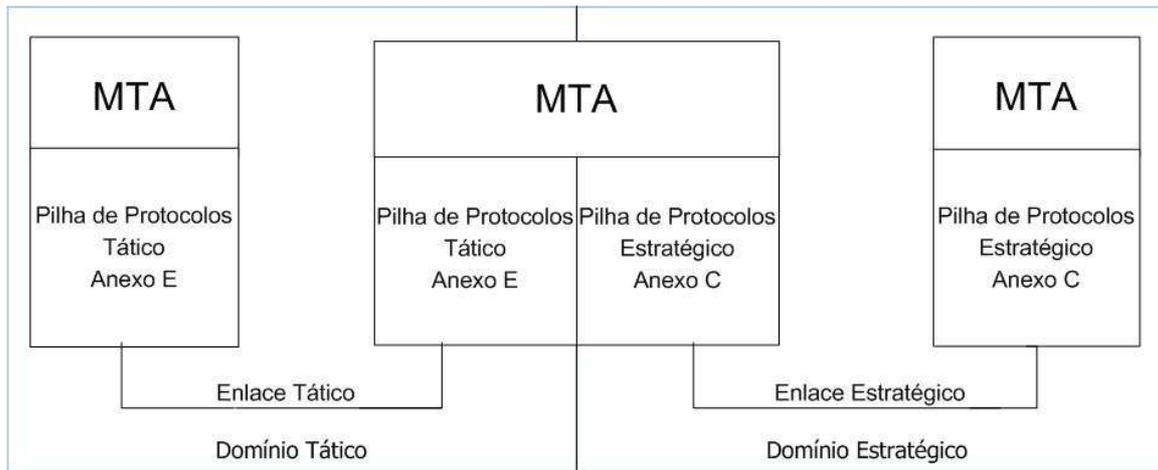


FIG. 2.2: Interligação entre os sistemas táticos e estratégicos.

tantes:

- o desempenho do protocolo TCP é baixo em canais táticos, principalmente devido ao mecanismo de retransmissão ineficiente e sua presunção de que a perda de pacotes é causada por congestionamento, apesar de existirem pesquisas no sentido de minimizar esse problema;
- por ser orientado a conexão, não há suporte a *multicast* ou manuseio do tráfego de dados para destinatários que operam com restrição rádio do tipo “rádio em silêncio”.

A solução foi a definição do STANAG 4406 - anexo E que desenvolveu uma pilha de protocolos específica para as comunicações táticas. Para poder atender as características de uma ligação de rádio tática, o perfil do protocolo tático especificado no anexo E adotou as seguintes funcionalidades: (JODALEN, 2004)

- pilha de protocolos não orientado a conexão, que permite menos sobrecarga e reduz o efeito da alta latência;
- escolha de operação em modos *full-duplex*, *half-duplex* ou *broadcast*;
- compressão para reduzir a quantidade de dados a serem transmitidos;
- operação em modos *unicast* ou *multicast*, o último provendo um uso mais eficiente dos recursos do rádio;

- procedimentos para manusear as restrições rádio.

Essas características do Anexo E permitem um aumento substancial da vazão para os canais de comunicações táticas com pequena largura de banda comparado ao uso dos protocolos do Anexo C como pode ser comprovado em (JODALEN, 2004) onde são realizadas simulações utilizando enlaces HF para interligar uma rede estratégica a uma rede tática móvel.

Entretanto, o Anexo E realizou alterações apenas nos protocolos de enlace de forma a minorar os problemas dos enlaces táticos não alterando a forma como as mensagens são classificadas e priorizadas no sistema, utilizando essencialmente o método descrito no capítulo 4. Devido ao provável congestionamento que deve ocorrer na interligação dos sistemas tático e estratégico, faz-se necessário aplicar mecanismos de priorização de mensagens de forma que as mensagens de maior prioridade sejam atendidas sem, no entanto, causar um excesso de perdas das mensagens de menor prioridade.

2.4 COMUNICAÇÕES MILITARES NO EXÉRCITO BRASILEIRO

As comunicações militares no Exército Brasileiro fazem parte do Sistema de Comunicações do Exército (SICOMEx), assim como compõem o Sistema de Comando e Controle (SC2).

O Sistema de Comando e Controle é o conjunto de instalações, equipamentos, comunicações, doutrina, procedimentos e pessoal essenciais para o comandamento, em nível nacional, das crises e dos conflitos e depende, fundamentalmente, do funcionamento efetivo dos sistemas de comunicações. O SC2 é utilizado pelos comandantes no ciclo básico de tomada de decisão que é deflagrado a partir dos estímulos recebidos do ambiente. O centro decisório, após detectar, comparar, analisar, decidir e agir, reage ao ambiente, para restabelecer a situação desejada.

Um Sistema de Comando e Controle (SC2), como parte integrante do processo decisório, necessita ser bem instalado, explorado e mantido para permitir o continuado exercício do comando - planejar, coordenar e controlar. As comunicações asseguram a eficácia desse sistema, processando, recebendo e transmitindo mensagens pelos mais diversos meios.

2.4.1 COMUNICAÇÕES TÁTICAS

As Comunicações Táticas representam o vetor máximo das ações de comando e controle no cenário de combate moderno. Esse combate vem sendo conduzido num ritmo cada vez mais acelerado, com freqüentes mudanças, em contextos cada vez mais complexos, graças à sofisticação e à diversidade de meios empregados.

Os meios táticos são utilizadas por unidades extremamente móveis e, normalmente não são capazes de utilizar a infra-estrutura fixa das redes de telecomunicações. Típicas unidades táticas móveis são: navios, aeronaves, carros de combate e forças especiais. As características típicas de rádios táticos de longo alcance são (JODALEN, 2004):

- baixa a moderada taxa de transferência de dados é suportada;
- taxa de dados variável dependendo da hora, localização e outros usuários do espectro de rádio;
- conexões não confiáveis: alta taxa de erros, freqüentes quedas nas conexões, nós inalcançáveis e falhas de equipamentos;
- alta latência;
- diferentes equipamentos rádio.

Soma-se as características acima, a necessidade dos equipamentos táticos suportarem restrições rádio que são normalmente necessárias para os usuários táticos do espectro de rádio.

O Sistema de Comunicações Táticas (SISTAC) é o conjunto harmônico e homogêneo de meios de comunicações empregados por tropas em operações, utilizando-se de pessoal e material orgânicos. Esse sistema deve possuir, como características mais marcantes a segurança (obtida com a ampla utilização de tecnologias de contra-contramedidas eletrônicas), a confiabilidade (assegurada pela utilização de rotas alternativas para garantir a rapidez e a continuidade das ligações) e a interoperabilidade, resultante da compatibilidade com o Sistema Nacional de Telecomunicações, Sistema Estratégico de Comunicações, Sistema de Comunicações do Estado-Maior de Defesa do Ministério da Defesa (MD), Sistemas de Comunicações de outras Forças Armadas e Sistema de Guerra Eletrônica do Exército (SIGELEx).

Entre os sistemas de comunicações táticos existentes no EB, aparecem dotados de moderna tecnologia o Sistema Celular de Campanha, o Sistema Tático de Comunicações da 3ª Divisão de Exército (SISTAC/3ª DE) e o Sistema de Comunicações do Sistema Tático de Guerra Eletrônica (SITAGE).

Das inovações tecnológicas presentes nesses modernos sistemas, ressaltam a operação em diversas faixas de frequência (rádios multibanda), comunicações seguras e transmissões seguras de voz e dados cifrados, nas versões portátil, veicular e transportável.

Os equipamentos rádio multibanda oferecem maior flexibilidade de emprego pelo uso de diversas faixas de frequência, e, dependendo do tipo, podem operar em HF, VHF e UHF. Esse material, apesar de multibanda, somente pode operar com frequências de uso permitido pelo EB e pelo MD. Além disso, possibilita interoperabilidade com outros equipamentos rádio que trabalham na mesma banda.

As características acima aplicam-se às redes HF, pois esta propaga-se através da reflexão na camada ionosférica e suporta uma taxa de dados limitada. Usado em condições favoráveis, a taxa de transferência máxima a se alcançar é de 9,6 kb/s para um canal de 3KHz. Entretanto, a taxa de dados é menor devido a absorção do sinal, ruídos e interferências. Mais detalhes sobre comunicações em HF são apresentados no Apêndice 10.1.

As comunicações táticas nos diversos níveis devem ser planejadas de uma forma sistêmica, evitando-se o uso do rádio para simples ligações pontuais. A concepção sistêmica baseia-se numa rede de comunicações táticas para troca de informações e que seja integrada ao sistema estratégico de comunicações, por meio de interfaces eletrônicas. Essa abordagem sistêmica permitirá a mudança para o conceito NCW.

Os sistemas de comunicações táticos devem ser flexíveis, interoperáveis, abrangentes, seguros e que permitam não só ligações simultâneas, mas também, transmissão automática de dados para garantir o uso da informação em tempo real.

O enlace HF é o meio de comunicação tático empregado atualmente pelo Exército Brasileiro nas diversas operações e existem pesquisas para a construção de rádios que permitam maior qualidade nas transmissões permitindo que os sistemas de comando e controle sejam operados de forma eficiente.

Entretanto, os SC2 atuais empregam mecanismo de classificação de mensagens baseado em um único critério: a precedência. Como exemplo podemos citar o Processamento Automatizado de Mensagens Operacionais (PAMO). Como será apresentado no capítulo

4 esse método é ineficiente.

O presente trabalho propõe o uso de outros critérios para classificação das mensagens aplicados a escalonadores multi-critérios propostos no capítulo 5, de forma a maximizar o atendimento das mensagens que irão trafegar nesses sistemas.

2.4.2 COMUNICAÇÕES ESTRATÉGICAS

As comunicações estratégicas compreendem o conjunto de pessoal e material necessário ao estabelecimento do Sistema Estratégico de Comunicações (SEC), integrante do Sistema de Comunicações do Exército (SICOMEx).

O SEC é representado pela reunião de meios de comunicações e canais privativos utilizados pelo Exército desde o tempo de paz. Destina-se a assegurar as ligações necessárias ao Alto Comando do Exército, aos Grandes Comandos e Guarnições Militares em suas sedes ou a qualquer escalão empregado no exterior. É um sistema de comunicações territorial e de concepção por área.

Estão compreendidos nesse universo os equipamentos das Redes-Rádio Privativas dos Grandes Comandos, Grandes Unidades e Organizações Militares, das Redes-Rádio Especiais, equipamentos de telecomunicações para uso administrativo das Unidades e material dos sistemas telefônicos das Organizações Militares (centrais telefônicas e telefones não pertencentes à Rede Integrada de Telemática do Exército - RITEx).

2.4.2.1 REDES RÁDIO FIXA

Apesar das comunicações estratégicas empregarem normalmente meios de comunicação que permitam um maior volume de tráfego, o Exército possui uma rede que utiliza enlaces HF que é denominada Rede Rádio Fixa (RRF).

Rede Rádio Fixa é a rede do Sistema Estratégico de Comunicações (SEC) que opera, de forma ininterrupta, na faixa de alta-frequência (HF). Possui, ao longo do território nacional, um ponto de presença (estação rádio) em cada guarnição e apresenta, como característica primordial, ser o meio de contingência para o Exército em qualquer eventual pane no Sistema Nacional de Telecomunicações (SNT).

A RRF permite a transmissão de dados, voz (fonia), integração rádio-telefone e telegrafia, e subdivide-se na Rede Rádio Fixa Principal (RRFP) e nas Redes Rádio Fixas

Secundárias(RRFS).

A RRFP é o conjunto formado pela Estação Rádio BR-1, pertencente ao Centro Integrado de Telemática do Exército (CITEx), e pelas estações próprias dos Centros de Telemática de Área (CTA) e Centros de Telemática (CT), que estão localizadas nas sedes dos comandos militares de área e regiões militares isoladas, respectivamente. A Estação Rádio BR-1 é o posto diretor da rede da RRFP. A RRFS é o conjunto formado por uma estação principal e suas estações subordinadas.

Como os sistemas da RRF estão sendo modernizados de forma que o processamento das mensagens seja automático, os escalonadores propostos neste trabalho também podem ser aplicados de forma a melhorar o fluxo das mensagens.

2.4.3 SISCOMIS

O Sistema de Comunicações Militares por Satélite (SISCOMIS) teve início em 1985, com as conclusões do Trabalho Interministerial (TIM) 62.1/83 (utilização do segmento espacial do Sistema Brasileiro de Telecomunicações por Satélites pelas Forças Armadas), elaborado no antigo Estado-Maior das Forças Armadas (EMFA).

O SISCOMIS se constitui na base física de telemática do Sistema Militar de Comando e Controle, visando a prover o Comando Supremo de sistema de comunicações estratégicas de alta capacidade, confiabilidade e segurança, integrando ainda a Presidência da República e os Ministérios das Relações Exteriores, Justiça e Fazenda.

Para projetar e instalar o SISCOMIS foi criada a Comissão de Desenvolvimento do Projeto e da Implantação do Sistema de Comunicações Militares por Satélite (CISCOMIS), com atribuições para coordenação dos trabalhos relativos a projeto, implantação, avaliação e acompanhamento do Sistema.

Os estudos feitos pela CISCOMIS culminaram com a aprovação de um projeto de sistema que considerou, predominantemente, a interligação das autoridades militares da Estrutura Militar de Guerra (EMG) e os aspectos estratégicos do início da década passada, ligados à importância geopolítica do Cone Sul.

Constituiu-se de três estações terrenas localizadas em Brasília, Rio de Janeiro e Curitiba, que se interligam por meio de transponders em banda C dos satélites BRASILSAT, e centralizam redes locais formadas por enlaces privativos de fibras ópticas e rádios digitais.

Disso resultou a implementação inicial das Estações Terrenas de Brasília para atender

ao Comando Supremo, aos Ministérios Civis e Comandos Militares, ao Comando Aeroestratégico e ao Comando de Defesa Aeroespacial Brasileira; do Rio de Janeiro para atender ao Comando do Teatro de Operações Marítimo; e de Curitiba para atender ao Comando do Teatro de Operações Terrestre (COMTOT) do Cone Sul.

A partir de 2000, o sistema foi expandido com as seguintes Estações Terrenas: de Manaus (ETNM), para atendimento ao Comando Militar da Amazônia e Comandos Combinados ativados na área Amazônica; de Campo Grande (ETNCG), para atendimento ao Comando Militar do Oeste e Comandos Combinados ativados na área; de Belém, para atendimento ao 2º Distrito Naval (DN) e Unidades da área; de Porto Alegre (ETNPA), para atendimento ao Comando Militar do Sul e Unidades da área; e de Natal (ETNN), para atendimento ao 3ºDN e unidades da área.

A cada Estação Terrena são interligadas as demais Estações Terrestres por meio de fibras ópticas ou enlaces rádio, dependendo das peculiaridades do terreno, formando um segmento terrestre em uma determinada Guarnição.

Para apoio às Operações Combinadas a serem implementadas pelo Estado-Maior de Defesa, o SISCOMIS conta com uma rede de Estações Táticas, operando em Banda X por meio de “transponders” instalados nos Satélites B1 e B2, da Empresa Star One (subsidiária da EMBRATEL).

Atualmente, as Forças Armadas brasileiras contam com canais exclusivos nos satélites civis da série Brasilsat, em banda X, compondo o Sistema de Comunicações Militares por Satélite (SISCOMIS).

A rede de assinantes do SISCOMIS está sendo expandida com a inclusão de ramais em todos os Ministérios, atendendo aos Ministros de Estado, Secretários-Executivos e outras autoridades. Em coordenação com a Anatel, foram substituídos os equipamentos de rádio-enlace do Ministério da Defesa, visando a desocupação das faixas de frequência destinadas às bandas “C”, “D” e “E” do Serviço Móvel Privado.

2.4.4 SISTEMA DE COMANDO E CONTROLE - SC2

O Sistema Militar de Comando e Controle - SISMC2, inserido no Sistema Nacional de Defesa, é o conjunto de instalações, equipamentos, comunicações, doutrina, procedimentos e pessoal essenciais para o comandamento, em nível nacional, das crises e dos conflitos.

O SISMC2 tem o sentido de propiciar as melhores condições possíveis para o exercício

da direção, do controle e da coordenação das forças militares em operação, fundamentando-se em doutrinas e sistemas operacionais que possibilitam o acompanhamento em tempo real das ações em curso.

O SISMC2 compõe-se dos seguintes órgãos: Centro de Comando e Controle do Comandante Supremo, órgão central do sistema e situado no Ministério da Defesa; Centros de Comando e Controle da Marinha, do Exército e da Aeronáutica; e Centros de Comando e Controle dos Comandos de Teatro de Operações, Comandos Combinados e de Força de Paz, quando ativados.

Cada Força Armada possui um software para apoiar seu Sistema de Comando e Controle de forma a permitir um fluxo de dados confiável, dentro dos padrões militares, e, ainda, o acompanhamento das operações militares.

O Estado-Maior de Defesa (EMD), que atua no nível estratégico, e os Comandos Combinados ou de Teatro de Operações, que atuam no nível operacional, utilizam para esse fim o Sistema de Planejamento Operacional Militar (SIPLOM). Todos os sistemas mencionados contam com meios seguros de voz e dados.

A capacidade de Comando e Controle instalada permitiu ao governo federal, no passado, por intermédio do Centro de Comando e Controle do Comando Supremo - CC2CS, no Ministério da Defesa, o acompanhamento do “Bug do Milênio”, e, mais recentemente, a coordenação da segurança da Cúpula América do Sul e Países Árabes, em Brasília. Permite, ainda, o acompanhamento dos exercícios de Operações Combinadas em diversas regiões do país e ligação com as tropas brasileiras no Haiti.

Ressalta-se que o EMD está apoiando o Grupo Executivo Interministerial para a Pandemia de Influenza na montagem de uma estrutura de Comando e Controle que permitirá a integração de todos os Ministérios envolvidos para acompanhamento das medidas preventivas necessárias.

Para que haja confiabilidade e presteza no fluxo de dados, é essencial que os sistemas sejam dotados de mecanismos que permitam que os dados sejam transportados por redes que possuam algoritmos eficientes para classificá-los dentro dos padrões militares. Esta dissertação apresenta algumas propostas de algoritmos em substituição aos utilizados atualmente.

3 QUALIDADE DE SERVIÇO MILITAR

3.1 INTRODUÇÃO

O conceito da guerra centrada em redes (NCW) motivou a pesquisa científica de diversos mecanismos que possibilitem as redes militares ou de missão críticas terem suas peculiaridades atendidas, tais como, priorização de tráfego, entrega antes do prazo de expiração, integração em redes de coalizão, entre outros.

Uma das linhas de pesquisa que estão sendo desenvolvidas é sobre o conceito de Qualidade de Serviço Militar (M-QoS). Essas pesquisas estão sendo conduzidas, principalmente, pelo *The Defence Science and Technology Organisation* (DSTO) da Austrália como parte das pesquisas do Programa Técnico de Cooperação (*The Technical Cooperation Program* - TTCP)(TTCP) que é uma organização internacional para colaboração e troca de informações técnicas e científicas na área de defesa e é formada de cinco nações: Austrália, Canadá, Nova Zelândia, Reino Unido e Estados Unidos.

Neste capítulo será apresentado o conceito da Qualidade de Serviço Militar. Serão descritos as pesquisas realizadas sobre o assunto e o estado da arte em que ela se encontra.

3.2 CONCEITO DE QUALIDADE DE SERVIÇO MILITAR (M-QoS)

Em redes comerciais, se não existem recursos disponíveis o suficiente para estabelecimento ou manutenção dos níveis de QoS para um determinado fluxo de dados, uma das soluções que podem ser adotadas é descartar o fluxo sem antes oferecer um serviço de qualidade inferior (degradação do nível de QoS).

Entretanto, como discutido em (KWIATKOWSKI, 1999), em redes militares quando não existem recursos de rede disponíveis para suportar os níveis de QoS exigidos para todos os fluxos, aqueles que carregam informações críticas para uma missão devem ter preferência em relação aos menos importantes. Além disso, em redes sobrecarregadas é preferível reduzir os fluxos militares menos importantes em vez de automaticamente pará-los. A aplicação final deve decidir se o serviço oferecido é suficiente para continuação

do fluxo. Por outro lado, a rede e não a aplicação final, é que decide qual fluxo deve ser degradado. Finalmente, prioridades elevadas para determinados fluxos devem ser aplicadas somente por um tempo limitado definido pela doutrina.

A QoS comercial conjuntamente com as características listadas acima é denominada Qualidade de Serviço Militar (M-QoS)(KWIATKOWSKI, 1999) (BLACKMORE, 2000).

Em outras palavras, em um ambiente militar, a qualidade de serviço de um fluxo de informações deve ser gerenciada de acordo com o seu valor militar (KOWALCHUK, 1996b) (KOWALCHUK, 1996a).

Para calcular o valor militar da informação de forma a classificar um determinado fluxo, são utilizados outros critérios além da precedência. De acordo com (KWIATKOWSKI, 1999) (BLACKMORE, 2000) fatores típicos que devem influenciar o valor militar de um fluxo incluem:

- a) Prioridade da missão configurada pelo comandante;
- b) Percepção do usuário (alta, média ou baixa prioridade);
- c) Relevância no tempo;
- d) Tipo de tráfego (áudio, vídeo, dados, etc).

Os critérios acima podem variar seu valor durante a transferência da informação.

Diversos estudos estão sendo realizados para prover as redes militares de dispositivos que permitam que suas peculiaridades sejam atendidas e assim o provimento de MQoS. Para atingir esses objetivos foi proposto um framework de gerência e controle da rede (KWIATKOWSKI, 1999), uma interface para troca de informações (BLACKMORE, 2000) e alterações nos serviços diferenciados (DiffServ) (KWIATKOWSKI, 2003) para implementar Qualidade de Serviço em Redes Militares. Estes conceitos serão detalhados a seguir.

3.3 FRAMEWORK DE GERÊNCIA E CONTROLE DA REDE

Para implementar a priorização de fluxos militares e a degradação dos níveis de QoS é necessário haver um controle dos ajustes necessários a um determinado fluxo na rede e determinar quais recursos serão utilizados.

Em (KWIATKOWSKI, 1999) é proposto um framework de gerência e controle da rede de forma a suportar os requisitos de M-QoS que foram especificados pelos usuários. O objetivo é criar um mecanismo que permita controlar como os ajustes dos fluxos e o uso dos recursos da rede serão utilizados. Além disso, deve ser permitido que diferentes políticas sejam empregadas para suportar M-QoS.

Por exemplo, pode-se imaginar que existam diversas políticas com um número diferente de prioridades definidas para os fluxos da rede ou vários procedimentos para preempção dos fluxos menos importantes. O mecanismo de controle e gerência deve ser flexível de forma a permitir a execução das políticas definidas. Além disso, também é preferível usar uma política uniforme no provimento de M-QoS através de todas as redes envolvidas, mesmo se usarem tecnologias diferentes na transmissão como redes comutadas ou por pacote (por exemplo ATM, IP e IP sobre ATM).

A escolha correta de um mecanismo básico de controle de rede e da arquitetura da gerência da rede tem um enorme impacto no provimento de M-QoS (KWIATKOWSKI, 1999). Por isso, podemos concluir que por mais que sejam necessárias pesquisas no intuito de oferecer melhores e mais eficientes protocolos para os enlaces HF, se os mecanismos e as aplicações utilizadas não forem eficientes, o desempenho geral do sistema não será satisfatório.

Segundo (KWIATKOWSKI, 1999), a arquitetura escolhida deve ser baseada em padrões existentes ao invés de se utilizar soluções proprietárias para poder permitir maior flexibilidade na implantação dos requisitos necessários ao funcionamento da M-QoS.

A arquitetura proposta por (KWIATKOWSKI, 1999) é representada pela FIG. 3.1 e especifica um ambiente que seja aberto e programável. Aberto no sentido de utilizar as *Application Programming Interfaces*(API) padronizadas para acesso aos elementos de rede e programável no sentido de utilizar linguagens de alto nível flexíveis que permitam:

- a) Representar as funcionalidades dos recursos da rede através de abstrações de software; e
- b) Manipular através das APIs as capacidades dos equipamentos.

Para implementação desse framework o tráfego militar é separado em duas grandes classes:

- tráfego militar essencial - os fluxos de informação estão sujeitos à priorização e preempção de acordo com os seus valores militares;

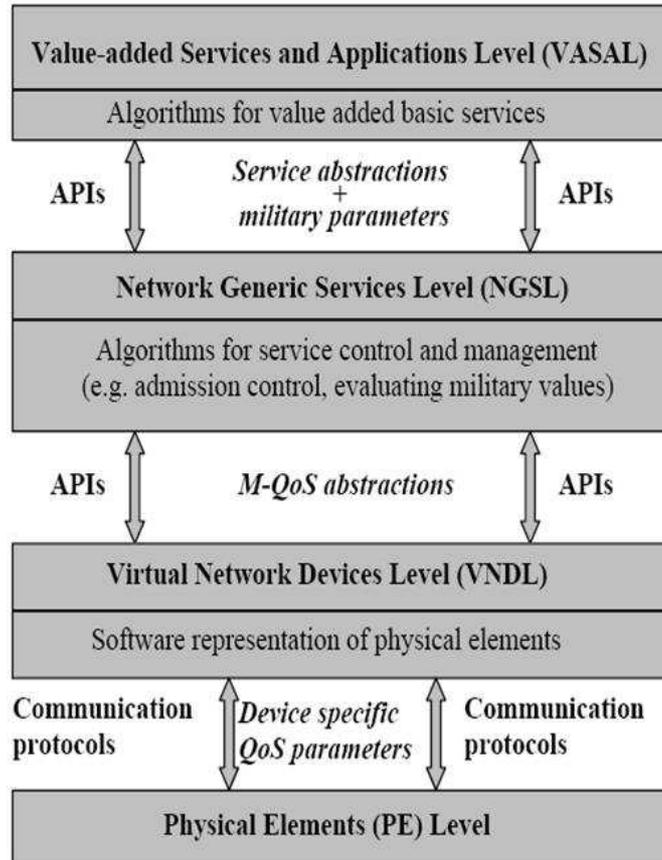


FIG. 3.1: Framework para redes militares (KWIATKOWSKI, 1999).

- tráfego militar não essencial - na segunda classe são permitidos apenas tráfegos do tipo melhor esforço no caso de redes IP ou a menor prioridade possível em redes ATM.

O nível mais baixo é o nível físico (*Physical Elements Level* - PE) que é composto pelos dispositivos físicos, como comutadores, roteadores e terminais que irão formar a infraestrutura de comunicação militar. Este nível oferece ao nível superior acesso aos dispositivos através de protocolos como *Simple Network Management Protocol* (SNMP)(CASE, 1990), *Common Management Information Services and Protocols for the Internet* (CMIP)(WARRIER, 1990) ou *General Switch Management Protocol* (GSMP)(DORIA, 2002). Na comunicação entre os dois níveis serão trocadas informações relativas aos parâmetros específicos para QoS, como largura de banda, latência e atraso.

Na camada *Virtual Network Devices Level* (VNDL), as APIs que são oferecidas ao nível superior são softwares distribuídos que têm a finalidade de abstrair os dispositivos físicos e seus estados. Em outras palavras, os dispositivos são vistos através das APIs como dispositivos virtuais. Os requisitos de M-QoS são especificados através das APIs e traduzidos através da interface com o nível PE nos parâmetros específicos de QoS.

A próxima camada, *Network Generic Services Level* (NGSL), é responsável pelo funcionamento adequado da rede e inclui todos os algoritmos de controle e gerenciamento da rede, incluindo os responsáveis por:

- a) Estimar os valores para os parâmetros militares que caracterizam o fluxo de informação;
- b) Invocar funções para manipular fluxos de informação, como, por exemplo, para degradar os níveis de QoS dos fluxos menos importantes.

A camada NGSL também é responsável por garantir os níveis de QoS entre as estações finais.

Na camada NGSL poderiam ser aplicados os escalonadores propostos nessa dissertação de forma a calcular o valor militar da informação, de acordo com o proposto no item (a) acima, e manipular os fluxos de informação que trafegam na rede.

A camada superior *Value-added Services and Application Level* (VASAL) é responsável por encapsular os serviços da camada NGSL através da criação de interfaces para as aplicações militares e permitir que o usuário final possa operar. Nessas interfaces, os usuários poderão configurar os valores para os critérios que serão selecionados de forma a estimar o valor militar da informação.

As funções das camadas VNDL, NGSL e VASAL são executadas utilizando-se um middleware tal como CORBA, assim como que a estrutura acima deve permitir que as camadas NGSL e VASAL sejam especificadas de forma transparente à tecnologia de transmissão.

3.4 INTERFACE PARA M-QOS

Com o objetivo de permitir que sejam desenvolvidos novas aplicações para os organismos de defesa australianos, foi proposta em (BLACKMORE, 2000) uma alteração no

framework citado na seção 3.3, modificando a camada VASAL de forma que a aplicação final fosse separada do sistema de gerência da rede. A FIG. 3.2 ilustra a alteração.

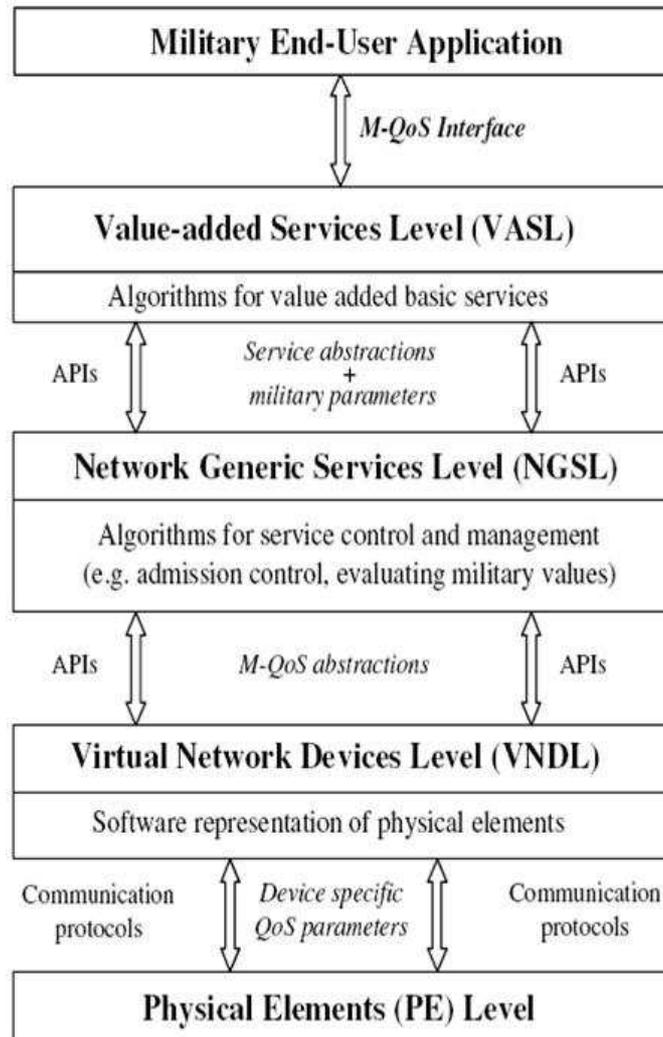


FIG. 3.2: Interface M-QoS (BLACKMORE, 2000)

Com essa alteração no framework de controle e gerência de rede foi necessário o projeto de uma interface padrão, denominada interface M-QoS, com a finalidade de estabelecer a troca de informações entre a aplicação final e a gerência da rede.

A interface de MQoS se faz necessária para permitir que as seguintes funcionalidades sejam atingidas:

- a) O conjunto de critérios militares especificados seja passado da aplicação para o gerenciamento da rede de forma a ser estimada a Prioridade Final (PF) do fluxo;

- b) As políticas implementadas na rede irão definir como a avaliação da PF é determinada;
- c) A forma como a M-QoS é realizada na rede deve ser o mais transparente possível para as aplicações e usuários.

Pelo item (b) acima, pode-se observar que ao oferecer M-QoS são permitidas diferentes formas para se calcular o valor da PF e esta pode variar entre as redes que o fluxo trafegar, assim como dentro da própria rede ou domínio em momentos ou circunstâncias diferentes, como, por exemplo, tempos de crise e de paz. Esta dissertação apresenta no Capítulo 5 alguns métodos para se estimar a PF de um determinado fluxo.

Essa flexibilidade em utilizar diversas políticas para o cálculo da PF é que permite o uso desse framework em diversas circunstâncias e não apenas em aplicações militares, ou seja, é onde reside a dualidade da aplicação.

A interface deve permitir também que:

- d) A aplicação do usuário especifique parâmetros comerciais de QoS (taxa máxima de transferência e atraso máximo dos pacotes) que determinam a quantidade de recursos da rede a serem reservados para satisfazer os requisitos de QoS;
- e) A aplicação possa definir quais parâmetros militares serão utilizados (qualitativamente) que podem ser: prazo de validade, identificação da missão, precedência, nível hierárquico do emissor ou outros parâmetros que possam ser utilizados para obter a prioridade final de um fluxo ou mensagem;
- f) O gerenciamento da rede deve informar a aplicação sobre problemas em atender os requisitos de QoS solicitados.

Os parâmetros descritos em (d) e (e) são utilizados pelo controle e gerência da rede para calcular a prioridade final do fluxo de acordo com o algoritmo definido pela política.

Em (BLACKMORE, 2000) são propostos trabalhos futuros visando o estudo de algoritmos viáveis para o cálculo da Prioridade Final e como as políticas relacionadas a MQoS podem ser implementadas nas redes.

3.5 IMPLEMENTAÇÃO DE M-QOS UTILIZANDO DIFFSERV

Em (KWIATKOWSKI, 2003) são propostas algumas alterações na arquitetura de serviços diferenciados (DiffServ)(BLAKE, 1998) de forma a permitir a implementação de qualidade de serviço nas redes militares em conjunção com o uso de um corretor de banda (*Bandwidth Brokerage* - BB) e do gerenciamento de redes baseado em políticas (*Policy Based Network Management* - PBNM). O objetivo dessa implementação é suportar M-QoS na Rede Estratégica de Defesa Australiana e na sua interconexão com o domínio tático através do uso de enlaces de satélites.

Essa nova arquitetura, esboçada na FIG. 3.3, assume que cada domínio DiffServ é dotado de um BB que será responsável por realizar o controle de admissão de fluxos militares essenciais que irão atravessar o seu domínio. O controle de admissão será baseado nos recursos de rede disponíveis, nas requisições de QoS dos fluxos e no valor militar do fluxo comparado aos já existentes.

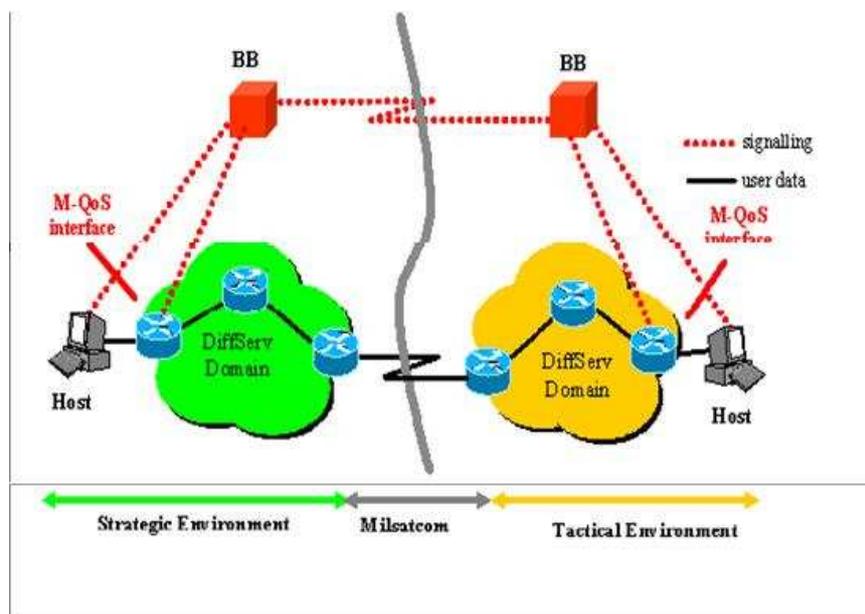


FIG. 3.3: Arquitetura DiffServ para M-QoS (KWIATKOWSKI, 2003).

A interface M-QoS definida na Seção 3.4 será utilizada para prover a comunicação entre a aplicação do usuário e o BB do mesmo domínio. Se o fluxo for admitido, o BB do domínio de origem ordena ao roteador de ingresso da fonte do tráfego para realizar o policiamento e marcar todos os pacotes pertencentes àquele fluxo. O controle de admissão será realizado

por todos os BBs pertencentes aos domínios pelos quais o fluxo irá atravessar. Além disso, os BBs impõem restrição de tempo aos fluxos de maior prioridade.

Essa arquitetura propõe o uso dos mecanismos *Class Based Weighted Fair Queueing* (CBWFQ)(SIRIS, 2005) (CISCO, 2001a), *Weighted Random Early Detection* (WRED)(BOURAS, 2005) (CISCO, 2001b) e *Low Latency Queueing* (LLQ)(DEKERIS, 2006) (CISCO, 2001c), presente nos roteadores comerciais, para implementar a priorização dos fluxos mais importantes e a degradação dos níveis de QoS dos menos importantes.

O mecanismo CBWFQ permite o compartilhamento de banda de forma igualitária após serem agrupados por classes. As classes podem ser classificadas por uma série de parâmetros, tais como, prioridade, interface ou aplicação originária.

A utilização do CBWFQ para implementação de M-QoS foi para garantir a alocação mínima de banda pré-configurada para cada fila. Para cada fila em particular, o percentual alocado da capacidade total do enlace também determina o peso associado a cada pacote pertencente àquela fila.

O CBWFQ é um algoritmo eficiente para aplicações de dados, porém não é adequado para garantir prioridade absoluta para o uso em aplicações de tempo real, como voz e vídeo. Dessa forma, foi necessário o uso do LLQ para garantir que os tráfegos de voz e/ou vídeo tenham prioridade. Em outras palavras, o LLQ implementa filas prioritárias no CBWFQ e estas são totalmente esvaziadas antes das filas CBWFQ serem atendidas.

Entretanto, o LLQ tem um inconveniente de não ser adequado para uso conjuntamente com o WRED. De acordo com (KWIATKOWSKI, 2003), estão sendo investigados alterações para resolver esse problema.

O mecanismo WRED é uma implementação da Cisco (Cisco Inc) que combina as funcionalidades do RED com a classificação de pacotes por precedência IP, permitindo então que os pacotes sejam classificados pela precedência militar. Baseado nessa classificação o WRED descarta pacotes seletivamente, inicialmente os pacotes de menor prioridade, com diferentes pesos para cada classe.

O sistema de detecção *Random Early Detection* (RED) (FLOYD, 1993) é um mecanismo para prevenção e inibição de congestionamento. O algoritmo monitora o tráfego antecipadamente, descartando pacotes aleatoriamente e indicando para a fonte reduzir a taxa de transmissão, evitando assim situações de congestionamento antes que ocorram picos de tráfego. Quando habilitado numa interface, o RED começa a descartar pacotes a uma taxa que pode ser previamente configurada.

WRED é útil em qualquer interface na qual a possibilidade de congestionamento seja iminente. Entretanto, é geralmente utilizado em roteadores centrais de backbone (*core routers*), com a precedência IP habilitada pelos roteadores de acesso (*edge routers*).

Para simulação desse sistema foram utilizados apenas dois níveis de prioridade militar: alta prioridade e baixa prioridade. Para a rede foi utilizado um emulador de satélites para simular um enlace de baixa capacidade (125 kbps), com taxa constante e sem erros. Foram utilizados tráfegos TCP com fluxos FTP e video-conferência através do protocolo UDP.

De acordo com os resultados apresentados por (KWIATKOWSKI, 2003), a associação desses mecanismos pode servir para prover precedência militar e degradação dos níveis de QoS para alguns tipos de tráfegos TCP/UDP e também foi possível visualizar utilização eficiente da largura de banda durante as situações de congestionamento.

Apesar dos bons resultados apresentados, algumas considerações devem ser feitas no uso do Diffserv para emprego nos sistemas táticos de mensagens através de enlaces HF.

Primeiro é a complexidade do sistema que foi implementado. Há a necessidade de diversos sistemas e equipamentos de forma a permitir que os fluxos sejam separados. Também há necessidade de pessoal técnico com conhecimento para os ajustes dos sistemas. Se for necessário o emprego para interligar apenas alguns pontos ou para uma única unidade em território hostil, a estrutura necessária inviabiliza o emprego.

Outro aspecto é quanto a quantidade de níveis de prioridade utilizados. Apenas dois níveis podem ser insuficientes para oferecer a separação de todos os níveis existentes. Além disso, não foram utilizados outros critérios para classificação do fluxo, apenas a precedência para estimar o valor militar do fluxo, o que não é adequado conforme será explicado no Capítulo 4. Deveriam ser utilizados outros critérios e algum método multi-critério de forma a estimar a prioridade final do fluxo.

Como citado na Seção 2.3, o uso do protocolo TCP não é adequado para emprego em situações táticas. Outro problema relativo ao protocolo TCP, e que também foi detectado na simulação proposta por (KWIATKOWSKI, 2003), é a inconformidade do protocolo TCP para se ajustar às perdas dos tráfegos de maior importância causando a não utilização plena da largura de banda disponível. Para contornar a situação, foi utilizado um shaper para reduzir o excesso de tráfego no enlace. Porém, num sistema de mensagens militares, não há como reduzir o número de mensagens emitidas pelos usuários, pois elas são geradas de acordo com a necessidade da missão.

Outro aspecto a ser considerado é que o enlace utilizado é de capacidade bem superior

a de um enlace HF, permitindo inclusive o tráfego multimídia na rede. No caso de um enlace de baixa capacidade, será permitido apenas o tráfego de um fluxo único que irá transportar as mensagens. O que é necessário nessa situação é determinar qual mensagem será a próxima a ser enviada.

Finalmente, durante as operações, a carga de mensagens será sempre superior a capacidade do canal. Em outras palavras, o canal irá operar saturado e com as mensagens sendo acumuladas nos buffers. Dessa forma o mecanismo WRED irá detectar antecipadamente o congestionamento e, no sentido de tentar evitá-lo, irá descartar antecipadamente as mensagens ocorrendo um provável aumento na perda das mensagens.

Pela discussão acima, percebe-se a importância de trabalhos de pesquisa que possam dar suporte às necessidades das comunicações táticas sobre sistemas de baixo desempenho.

4 ABORDAGEM TRADICIONAL

4.1 INTRODUÇÃO

Os Sistemas de Comando e Controle (SC2) atuais utilizam apenas um critério, a precedência, para a classificação do valor do conteúdo das mensagens que trafegam nos sistemas estratégicos e táticos.

A precedência identifica a importância da mensagem e, conseqüentemente, a ordem em que as mensagens e/ou fluxos de informações devem ser atendidos. A precedência é atribuída pelo emissor da mensagem de acordo com a importância do assunto contido na mensagem.

Atualmente, existem quatro níveis de precedência empregados nas Forças Armadas Brasileiras:

- Urgentíssima: tem precedência sobre todas as demais, interrompendo o processamento e transmissão de outras mensagens - (P_0);
- Urgente: tem precedência sobre as demais de precedência mais baixa - (P_1);
- Prioridade: precedência mais alta que se pode dar a mensagens administrativas - (P_2);
- Rotina: todas as mensagens que a importância não justifique precedência mais elevada - (P_3).

De acordo com a precedência, cada mensagem tem um prazo de validade associado. As mensagens Urgentíssimas devem ser entregues em dez minutos; Urgentes em uma hora; Prioridade em 6 horas e Rotina em 24 horas (KINGSTON, 2000). Esses valores são os empregados pela OTAN, pelos órgãos militares dos Estados Unidos da América e nos estudos científicos sobre redes militares.

Neste capítulo será apresentado o funcionamento do algoritmo de precedência atualmente utilizado nos sistemas SC2 e serão descritos os problemas e limitações do método tradicional.

4.2 FUNCIONAMENTO DO ALGORITMO DE PRECEDÊNCIA

O algoritmo de precedência funciona mantendo-se quatro filas de prioridades. Quando uma nova mensagem i chega ao sistema e existe alguma mensagem j ocupando o canal de transmissão, ela é armazenada na fila correspondente à sua precedência.

Para cada fila é utilizada uma política *Firt In First Out* (FIFO), ou seja, a primeira mensagem armazenada naquela fila será a primeira a ser atendida.

Quando ocorre o término do envio da mensagem j , será escalonada para envio a mensagem mais antiga armazenada na fila de maior precedência. Uma maneira direta de implementar os níveis da precedência seria utilizar um escalonador baseado no algoritmo *Strict Priority Queuing* (KLEINROCK, 1976).

Essa abordagem também permite a preempção de uma mensagem, ou seja, se uma mensagem de precedência baixa, como por exemplo rotina, está sendo transmitida e chega uma mensagem urgentíssima, o sistema interrompe a transmissão da mensagem de rotina e inicia a urgentíssima. A FIG. 4.1 apresenta um diagrama conceitual dessa abordagem.

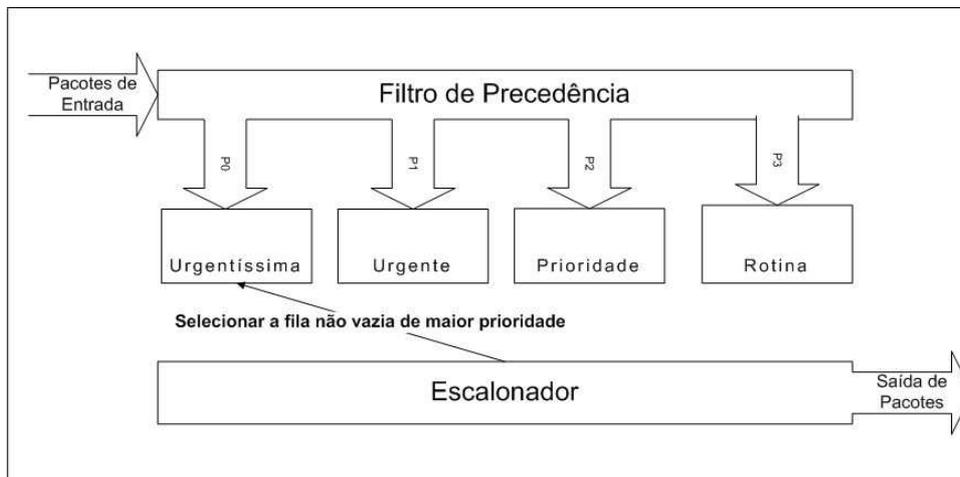


FIG. 4.1: Escalonador Tradicional.

Outra característica da abordagem tradicional é que não são implementados mecanismos de gerenciamento de buffer. Se uma mensagem P_0 chega ao sistema e sua fila está cheia, ela é descartada.

Alguns escalonadores já foram sugeridos com a finalidade de melhorar o atendimento

das mensagens em uma rede baseada em precedência, mas nesses algoritmos é mantido o conceito das mensagens de maior precedência usurparem os recursos de comunicação existentes.

Como exemplo podemos citar o escalonador apresentado em (KINGSTON, 2000). Este escalonador opera em dois níveis: no primeiro nível o fluxo é classificado de acordo com a precedência; no segundo nível o fluxo é separado de acordo com requisitos de latência e variação de atraso.

Os fluxos são atendidos inicialmente de acordo com a precedência, da forma como citada anteriormente, porém sem realizar a preempção. Após ser verificado qual a maior classe de precedência existente, os fluxos são atendidos de acordo com os requisitos necessários de atraso e variação de atraso, permitindo ou não que fluxos de voz sobre IP, video conferência ou outras aplicações que requerem maior quantidade de recursos sejam transmitidas.

O escalonador definido em (KINGSTON, 2000) mantém grande parte dos problemas de uma rede baseada exclusivamente em precedência como citada na Seção 4.3. Outro aspecto da inviabilidade de uso desse escalonador é que esta dissertação foca no escalonamento para sistemas rádio que possuem escassos recursos, não sendo possível o tráfego de conteúdo diferente de mensagens de texto.

Outro exemplo de escalonador para redes de precedência foi apresentado por (XIAO). Neste artigo são propostos mecanismos de controle de recursos usando preempção. São apresentados cálculos para prover a probabilidade de bloquear e realizar a preempção com o objetivo de maximizar o custo relativo e o lucro de uma rede. Essa abordagem é proposta como alternativa às pesquisas realizadas sobre os mecanismos de controle de admissão tradicionais utilizados em redes sobrecarregadas.

4.3 PROBLEMAS DO ALGORITMO DE PRECEDÊNCIA

O uso do mecanismo de precedência é ineficiente (III, 1999) (XIAO) e pode causar grande atraso ou perda das mensagens de menor precedência. Quando a taxa de chegada de mensagens for igual à capacidade do canal HF o tempo médio das mensagens de menor precedência será muito superior à sua validade.

O tempo médio de espera (W) de uma mensagem de prioridade p é definido por (KLEINROCK, 1976):

$$W_p = \frac{W_0}{(1 - \sigma_p)(1 - \sigma_{p+1})} \quad p = 1, 2, \dots, P \quad e \quad (4.1)$$

$$\sigma_p = \sum_{i=p}^P \rho_i \quad (4.2)$$

Onde ρ é a taxa de utilização do canal definida pela taxa de chegada (λ) sobre a taxa de serviço (μ). O parâmetro W_0 é o tempo médio de serviço para uma nova mensagem que chega ao sistema e encontra uma mensagem sendo atendida e é calculada através da EQ. 4.3.

$$W_0 = \sum_{i=1}^P \frac{\lambda_i \bar{x}_i^2}{2} \quad (4.3)$$

Onde x_i^2 é o segundo momento para o tempo de serviço para uma mensagem da classe i .

Supondo uma situação que apresente as seguintes características:

- 4 classes de prioridade;
- tamanho médio da mensagem a ser transmitido de 10 KB;
- enlace HF com capacidade nominal de 9600 bps; e
- taxa de utilização balanceada, ou seja, a taxa de utilização de cada classe é igual a $\rho_i = \rho/4$.

O tempo médio de atendimento para cada fila será o apresentado na TAB. 4.1 considerando uma taxa de utilização $\rho = 0,999$.

Precedência	Tempo Espera(s)
Urgentíssima	48,48
Urgente	96,77
Prioridade	289,54
Rotina	145061,64

TAB. 4.1: Tempo médio de espera para uma mensagem de prioridade p , carga balanceada e $\rho = 0,999$.

Como pode ser verificado pelos resultados apresentados na TAB. 4.1 o tempo de espera de uma mensagem de rotina é 67% maior que sua validade. Se a taxa de utilização for

igual a 1, o tempo médio das mensagens de rotina irá tender ao infinito como pode ser verificado na FIG. 4.2.

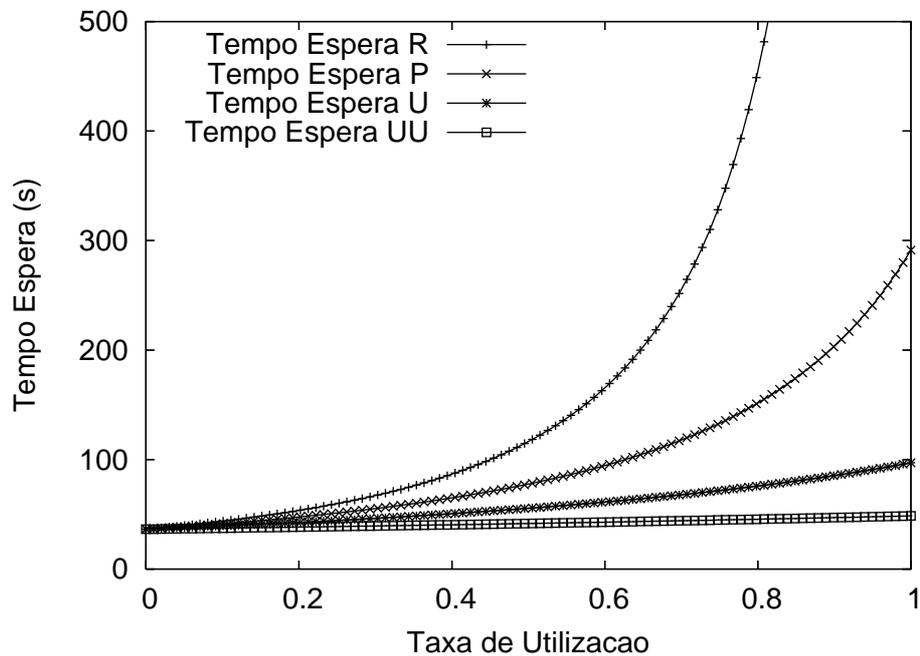


FIG. 4.2: Tempo de espera de uma mensagem de prioridade p e carga balanceada.

Como durante as operações militares os sistemas de comunicações existentes são insuficientes para as cargas de mensagens (III, 1999), podemos afirmar que invariavelmente irá ocorrer o estrangulamento das mensagens de menor precedência.

Apesar de haver a necessidade de dar prioridade ao tráfego das mensagens de maior importância, as mensagens com nível Prioridade e Rotina podem carregar informações que se não forem entregues podem comprometer o desempenho de uma determinada missão.

Podemos citar, por exemplo, uma situação na qual uma mensagem transporta um pedido de suprimento de água ou comida. Apesar de ela não carregar informação crítica como, por exemplo, um apoio de fogo, se essa mensagem não conseguir chegar ao destino em tempo hábil, a tropa irá passar fome, o que com certeza prejudicará o desempenho daquela unidade.

Outro aspecto negativo da abordagem tradicional é a preempção. A preempção é um dos fatores que causam maior insatisfação aos usuários de uma rede que utiliza esse me-

canismo, sendo inclusive retirada de algumas propostas de escalonadores (KINGSTON, 2000) (XIAO) . Além da insatisfação, existe um desperdício do uso do canal, principalmente no caso de redes de baixa capacidade e sobrecarregadas. Isso ocorre porque uma mensagem terá ocupado o canal de transmissão durante um certo tempo e, mesmo faltando 1 byte para terminar sua transmissão, ela tem seu envio cancelado para dar lugar a uma mensagem de maior precedência que chegou ao sistema.

Além dos aspectos descritos acima, nesta abordagem não há a preocupação de se verificar o prazo de validade das mensagens, por isso todas as mensagens são enviadas, mesmo que o prazo de validade tenha expirado. O envio de mensagens expiradas em uma rede saturada causa desperdício de recursos e pode causar a perda de outras mensagens de precedência igual ou inferior que estão aguardando na fila para serem transmitidas.

A informação correta deve ser entregue no lugar certo e no tempo certo (OFFICER, 1999). Com base nesse conceito, na mudança dos paradigmas das operações para a abordagem da guerra centrada em redes e nos problemas existentes na abordagem tradicional, faz-se necessário o estudo de mecanismos que possam minimizar esses problemas e conseguir reduzir a perda de mensagens nos sistemas, como também fazer com que as mensagens cheguem em tempo hábil para as tomadas de decisão.

5 ESCALONADORES PROPOSTOS

5.1 INTRODUÇÃO

Como em uma operação a informação correta deve ser entregue no lugar certo e no tempo certo com o mínimo de perda e atraso (OFFICER, 1999), faz-se necessário realizar pesquisas com o objetivo de alcançar mecanismos ótimos que permitam que os fluxos de mensagens militares sejam transportados de forma eficiente e, com isso, as tomadas de decisão sejam realizadas com base nas informações atualizadas do Teatro de Operações.

Essa necessidade não se restringe apenas às operações militares. Qualquer sistema que opere em missões críticas, como por exemplo em operações de resgates e em situações de calamidade, também precisam ter suas mensagens classificadas corretamente de acordo com sua importância.

A importância do uso de escalonadores eficientes para missões críticas aumenta quando os meios de transmissão são de baixa capacidade. Apesar dos avanços nos sistemas de transmissão HF que permitiram melhorar a qualidade na transmissão, se o escalonador que for utilizado não funcionar de forma adequada, o sistema como um todo apresentará um desempenho insatisfatório. Por isso, além de ser necessário realizar pesquisas com o objetivo de melhorar o enlace HF, o mesmo deve ser feito em relação a escalonadores apropriados para esses meios de transmissão.

Na Seção 4.3 foram apresentados os problemas existentes na abordagem tradicionalmente utilizada. Para que a informação seja transportada de forma eficiente, novos métodos para classificar as mensagens e estimar a Prioridade Final (PF) devem ser analisados. O primeiro passo dessa análise é a definição de outros critérios a serem utilizados para o cálculo da PF.

Com os critérios definidos, o segundo passo é investigar métodos de decisão multi-critério para serem empregados. Para cada escalonador um algoritmo multi-critério irá calcular a prioridade final da mensagem. Com o cálculo realizado será possível efetuar o agendamento de tal forma a minimizar as perdas, otimizando o uso dos escassos recursos observados geralmente em redes sem fio de baixo desempenho.

Considerando o conceito da M-QoS no qual os fluxos de menor importância devem ter seus níveis degradados ao invés de serem totalmente cortados, o escalonador deve permitir que mensagens de menor precedência sejam enviadas mesmo na presença de outras com maior precedência e, com isso, permitir uma coexistência mais justa das diferentes classes. Entretanto, deve-se evitar que mensagens de prioridade elevada sejam descartadas.

Para possibilitar o emprego do escalonador em outras atividades além das operações militares, deve ser permitido que os critérios possam ser substituídos por outros mais adequados, ou que seja possível a reordenação dos critérios de acordo com a importância investida em cada critério.

Nesse capítulo serão apresentados os métodos de decisão multi-critério que foram selecionados para calcular o valor militar da informação. Serão definidos os critérios a serem utilizados, bem como a ordem com que serão utilizados. Os eventos que podem ocorrer no sistema serão descritos de forma a verificar em que evento determinado método deve ser aplicado. Por fim, serão apresentadas os escalonadores propostos baseados nos métodos multi-critério estudados.

5.2 MÉTODOS MULTI-CRITÉRIO

Na literatura existem diversos métodos de decisão multi-critério definidos. Para esta dissertação, foram selecionados dois métodos multi-critérios. O primeiro algoritmo utiliza os conceitos da ordenação lexicográfica (ZYKINA, 2003). O segundo utiliza conceitos do método da função valor (MIETTINEN, 1998).

5.2.1 ORDENAÇÃO LEXICOGRÁFICA

O primeiro método investigado utiliza os conceitos da ordenação lexicográfica. Um exemplo natural deste tipo de ordenação é a forma como as palavras são ordenadas em um dicionário. Na matemática, é a ordenação do produto cartesiano de dois conjuntos A e B . Dados dois conjuntos A e B , a ordenação lexicográfica do produto cartesiano $A \times B$ é definida como:

- Se (a_1, b_1) e (a_2, b_2) pertencem a $A \times B$, então $(a_1, b_1) < (a_2, b_2)$ se e somente se:
 - a) $a_1 < a_2$, ou

$$b) \ a_1 = a_2 \text{ e } b_1 < b_2$$

Generalizando para uma seqüência de caracteres $A = (a_1, a_2, \dots, a_k)$ e $B = (b_1, b_2, \dots, b_k)$, $A < B$ se e somente se o primeiro elemento a_i diferente de b_i for menor que b_i , ou seja, uma palavra A aparecerá antes de uma palavra B se a letra a_i aparecer antes da letra b_i no alfabeto.

Aplicando a ordenação lexicográfica ao escalonador multi-critério, cada elemento a_i será associado a um critério selecionado de forma a calcular a PF,

5.2.2 MÉTODO FUNÇÃO VALOR

A segunda abordagem propõe a utilização do método da função valor (MIETTINEN, 1998). Neste método, o tomador de decisões deve fornecer uma formulação matemática da função valor $U : R_k \rightarrow R$ que representa a sua preferência. Assim, o problema da função valor

$$\begin{aligned} &\text{maximizar } U(f(x)) \\ &\text{sujeito a } x \in S \end{aligned} \tag{5.1}$$

pode ser resolvido por qualquer método de otimização uniobjetivo.

A função valor escolhida com o objetivo de calcular o valor da PF foi a função barreira. Esta função é um método de penalidade, em geral, empregado para resolver problemas com restrições de desigualdade. Dois tipos de função são bastante conhecidos na literatura (NOCEDAL, 1999) (FLETCHER, 1969): a função barreira logarítmica e a função barreira inversa. Esta última foi a adotada nesta dissertação, sendo definida por

$$x \in \mathfrak{R}^n \mapsto f(x) = \frac{\kappa}{g(x)} \tag{5.2}$$

A função valor será responsável por mensurar o valor da Prioridade Final de cada mensagem agregando todos os critérios selecionados. Para cada mensagem será aplicada a função e aquela que resultar em um maior valor será a selecionada para envio.

5.3 CRITÉRIOS SELECIONADOS

Para estimar o valor da prioridade final (PF) de uma determinada mensagem i foram definidos três critérios:

- Prazo de Validade - (E_i);
- Precedência - (P_i); e
- Nível Hierárquico do Emissor - (H_i).

O critério de precedência foi mantido porque é a forma de emprego comumente utilizada pelas Forças Armadas do Brasil e da maioria das nações. Este critério permite que o emissor faça uma diferenciação subjetiva da importância da sua mensagem no contexto da operação. Serão mantidos os quatro níveis de precedência atualmente empregados e definidos na Seção 4.1: Urgentíssima, Urgente, Prioridade e Rotina.

Como o objetivo do escalonador é minimizar a perda das mensagens, o prazo de validade deve ser obrigatoriamente utilizado como critério de definição do valor militar, permitindo que os algoritmos possam priorizar as mensagens que estejam próximas de expirar. Os prazos de validade serão fixos e os valores estão apresentadas na TAB. 5.1.

TAB. 5.1: Prazo de Validade (KINGSTON, 2000)

Precedência	Tempo (s)
Urgentíssima	600
Urgente	3600
Prioridade	21600
Rotina	84600

O terceiro critério, nível hierárquico, serve para distinguir as mensagens de acordo com o nível do posto ou graduação do emissor e para realizar uma diferenciação entre as mensagens quando os outros critérios forem iguais (mesmo tempo para expirar e mesma precedência). Assim, as mensagens de unidades maiores como divisões de exército e brigadas devem ter prioridades sobre as mensagens expedidas por pelotões e companhias, por exemplo. Foram empregados dezesseis níveis hierárquicos que estão representados na TAB. 5.2.

5.4 SEQUÊNCIA DE EVENTOS

Os escalonadores propostos são empregados em eventos distintos durante a operação do sistema. Para um entendimento mais claro do funcionamento de cada algoritmo, faz-se

TAB. 5.2: Nível Hierárquico

Posto	Graduação	Nível	Posto	Graduação	Nível
General de Exército		H_0	Segundo-Tenente		H_8
General de Divisão		H_1	Aspirante a oficial		H_9
General de Brigada		H_2	Sub-Tenente		H_{10}
Coronel		H_3	Primeiro-Sargento		H_{11}
Tenente Coronel		H_4	Segundo-Sargento		H_{12}
Major		H_5	Terceiro-Sargento		H_{13}
Capitão		H_6	Cabo		H_{14}
Primeiro-Tenente		H_7	Soldado		H_{15}

necessário definir os eventos que podem ocorrer. Para cada evento uma ação correspondente deve ser realizada. Existem quatro tipos de evento que podem ocorrer quando uma nova mensagem i chega ao sistema e estão definidos a seguir:

- **Evento 1** - Chegada de uma nova mensagem i e ausência de mensagens sendo transmitidas (sistema vazio);

- Se o tempo de envio T_i é menor que o prazo de validade E_i , então enviar i ;

$$(T_i < E_i) \tag{5.3}$$

do contrário a mensagem será descartada;

- **Evento 2** - Chegada de uma nova mensagem i , uma mensagem j está sendo transmitida e o buffer está vazio;

- Se a soma do tempo de espera para terminar a transmissão de j W_j e o tempo de envio T_i para i for menor que o prazo de validade E_i de i ,

$$(W_j + T_i < E_i) \tag{5.4}$$

então armazenar i no buffer;

- **Evento 3** - Chegada de uma nova mensagem i , uma mensagem está sendo transmitida e o buffer não está vazio;

- Primeiro deve ser verificado se é possível atender a mensagem na próxima transmissão, porque se não for possível a mensagem é prontamente

descartada;

- Se a soma do tempo de espera para terminar a transmissão de j , W_j , e o tempo de envio T_i i for menor que o prazo de validade E_i de i , um algoritmo deverá ser empregado para tratar da nova configuração do sistema;

$$(W_j + T_i < E_i) + \text{algoritmo} \quad (5.5)$$

- **Evento 4** - Término da transmissão e existência de mensagens no buffer.

- empregar algoritmo de escalonamento.

5.5 ESCALONADOR LEXICOGRÁFICO

O primeiro escalonador proposto é o escalonador lexicográfico que é baseado no método descrito na Seção 5.2.1. Este escalonador tem por objetivo manter o buffer do sistema ordenado pela PF de cada mensagem e, quando for enviar, escalonar a primeira mensagem armazenada na fila. A primeira mensagem é aquela que possui maior prioridade.

Para encontrar a PF de uma mensagem é realizada a ordenação em cada critério até encontrar a posição única que a mensagem deve ocupar na fila de espera. Essa posição determina o valor daquela mensagem.

Para cada evento definido na Seção 5.4 o escalonador lexicográfico terá uma determinada ação. Para os eventos 1 e 2 nenhum cálculo precisa ser realizado. No evento 1, a ação será transmitir a mensagem e, no evento 2, armazená-la no buffer.

O evento 3 é o principal para o escalonador lexicográfico e será detalhado na Seção 5.5.2. Neste evento é que o algoritmo será utilizado para procurar a posição correta para a nova mensagem i que chega ao sistema.

Para o evento 4 o algoritmo é bastante simples e na Seção 5.5.3 está descrito detalhadamente o funcionamento.

A complexidade do algoritmo para o pior caso é $O(n)$, quando sempre chega uma mensagem com menor PF que as existentes no buffer e é armazenada no final da fila. Entretanto, a probabilidade de ocorrer essa situação é muito baixa. Na média, a complexidade média do algoritmo fica em $O(\log n)$.

Entretanto, o primeiro passo a ser tomado na execução do escalonador lexicográfico é definir qual a seqüência para ordenar os critérios. Para permitir o emprego do sistema

em diversas situações, deve ser possível que a ordem possa ser alterada de acordo com a necessidade. A ordem adotada por esta dissertação está descrita na Seção 5.5.1.

5.5.1 ORDEM DOS CRITÉRIOS

Para os critérios apresentados na Seção 5.3, foi definida a seguinte seqüência de ordenação de acordo com a importância atribuída a cada critério:

- a) Prazo de Validade - E_i ;
- b) Precedência - P_i ; e
- c) Nível Hierárquico - H_i .

Como o objetivo principal do escalonador é maximizar o atendimento das mensagens ou, em outras palavras, fazer com que o número de mensagens que perderam a validade seja o menor possível, deve-se inicialmente procurar as possíveis posições que a nova mensagem i pode ocupar, de acordo com o prazo de validade, ou mais especificamente, comparando os tempos de expiração das outras mensagens. As mensagens que estiverem mais próximas de expirar têm prioridade no atendimento.

Na seqüência de funcionamento do algoritmo, as mensagens serão ordenadas pelo critério da precedência. Deve-se posicionar i na frente daquelas de menor prioridade, porém, evitando que mensagens existentes na fila expirem.

Após as mensagens estarem ordenadas pela precedência, o próximo critério a ser utilizado é o do nível hierárquico do emissor. Este critério será utilizado como fator de desempate. As seqüências de mensagens de mesmo nível de precedência que estiverem agrupadas serão reordenadas movendo as mensagens que possuírem maior nível hierárquico para o início da seqüência. Para essa movimentação da mensagem não pode haver um incremento no número de mensagem expiradas.

5.5.2 APLICAÇÃO DO ALGORITMO LEXICOGRÁFICO AO EVENTO 3 DA SEÇÃO 5.4

Quando ocorre a chegada de uma nova mensagem i , uma mensagem está sendo transmitida e o buffer não está vazio, como descrito no evento 3 da Seção 5.4, será necessário

a aplicação da ordenação multi-critério. Para cada critério é estabelecido um objetivo a ser alcançado.

O primeiro passo que o escalonador deve realizar é verificar se a mensagem que chegou ao sistema pode ser atendida caso ela seja posicionada na primeira posição da fila, conforme descrito na EQ. 5.3. Essa primeira etapa evita ocupar o enlace com uma mensagem que não chegará válida ao seu destino e desperdiçar tempo de processamento para calcular a PF.

5.5.2.1 CRITÉRIO VALIDADE

Terminado o teste anterior e sendo possível atender a nova mensagem i , deve-se encontrar, utilizando-se o critério da validade, as posições nas quais esta possa ser armazenada sem causar a expiração de mensagens antigas j existentes no buffer.

Inicialmente deverão ser encontradas todas as possíveis posições que a nova mensagem i pode ocupar no sistema, até a posição limite k a partir da qual ela não poderá ser atendida.

$$k \leftarrow \text{Max}(z) \left\{ (W_x + \sum_{p=1}^z T_p + T_i) < E_i \right\}, z = 1 \dots n \quad (5.6)$$

Sendo W_x o tempo de espera até o término da transmissão da mensagem x que está em transmissão, T_p o tempo de transmissão para cada mensagem na fila de espera, T_i o tempo de envio da nova mensagem i , E_i o prazo de validade de i , z a posição das mensagens no buffer e n o número total de mensagens no buffer.

Posteriormente, deve-se checar se o atendimento de i irá causar a expiração de uma mensagem antiga j e guardar a posição da última expirada e a quantidade de mensagens, caso existam.

$$j \leftarrow \text{Max}(z) \left\{ (W_x + \sum_{p=1}^z T_p + T_i) > E_l \right\}, z = 1 \dots n, l = i + 1 \dots n; \quad \text{e} \\ \forall (W_x + \sum_{p=1}^z T_p + T_i) > E_l, z = 1 \dots n \Rightarrow N_j + 1 \quad (5.7)$$

Sendo E_p o prazo de validade da mensagem p existente no buffer e N_j o número de mensagens que podem expirar com a inserção de i .

Calculados o valor da posição limite k , da posição da última mensagem j e o número de mensagens expiradas N_j , podemos ter três situações distintas:

a) Se $N_j = 0$ então o conjunto de solução para esse critério será $S1 = \{1 \dots k\}$; caso $k = n$, onde n é o número total de mensagens no buffer naquele instante, a mensagem i poderá ser posicionada em qualquer lugar do buffer e pode-se passar o conjunto solução para o próximo critério;

b) Se $N_j = 1$, duas situações podem ocorrer:

1) Se $k > j$, então i pode ser posicionada após a última mensagem j e o conjunto solução será

$$S1 = \{j \dots k\} \quad (5.8)$$

2) Caso contrário, deve-se verificar qual a mensagem (i ou j) tem menor (PF) de acordo com os próximos critérios:

- i. Se $PF_i > PF_j \Rightarrow$ Descartar $j \rightarrow$ conjunto solução será $S1 = \{1 \dots k\}$;
- ii. Se $PF_i < PF_j \Rightarrow$ procurar uma mensagem p no buffer tal que $PF_i > PF_p$ e que implique em $Nr_j = 0$.

Se houver, trocar a mensagem i por p no buffer e, recursivamente, procurar uma outra mensagem q no buffer tal que $PF_p > PF_q$ até a de menor prioridade que seja descartada.

Caso não exista mensagem p , descartar i .

Nessa situação o conjunto solução será a posição p que foi substituída ou o próprio descarte não necessitando de passar para os próximos critérios.

c) Se $N_j > 1$, a nova mensagem i é descartada, independente do valor da precedência. Dessa forma, o algoritmo lexicográfico irá descartar apenas uma mensagem a cada chegada de uma nova mensagem i .

Com o término da aplicação deste critério, pode-se garantir que a cada chegada de uma nova mensagem i no máximo 1 mensagem será descartada. O resultado é o conjunto de soluções $S1$ com as possíveis posições que a nova mensagem pode ocupar no sistema.

5.5.2.2 CRITÉRIO PRECEDÊNCIA

A próxima etapa do escalonador é aplicar o critério de precedência (P_i) ao conjunto de soluções $S1$. Deve-se procurar dentro do conjunto de soluções $S1$ as possíveis posições para i comparando-se a precedência das mensagens. A mensagem i deve ser posicionada após a última mensagem j de maior ou igual precedência que i e que esteja no conjunto $S1$.

$$S2 = \{p \dots q\} | P_{p-1} \geq P_i \quad \text{e} \quad q \leq k \quad (5.9)$$

O resultado deste critério é o conjunto de soluções $S2$ com todas as possíveis posições que i pode ocupar no sistema.

5.5.2.3 CRITÉRIO NÍVEL HIERÁRQUICO

Finalmente, o conjunto solução $S2$ será aplicado ao terceiro critério: nível hierárquico do emissor (H_i). De forma semelhante ao critério da precedência, deve-se procurar em $S2$ as possíveis posições que i pode ocupar de tal forma que esta seja posicionada após a última mensagem de maior ou igual nível hierárquico que i e que será a sua posição final no buffer.

$$S3 = \{r\} | H_{r-1} \geq H_i \quad \text{e} \quad r \leq q \quad (5.10)$$

Se durante a aplicação de algum critério resultar uma única solução, o algoritmo pára e armazena i na posição indicada.

O buffer então estará ordenado de acordo com o grau de importância das mensagens e a primeira é a que tem a maior Prioridade Final.

5.5.3 APLICAÇÃO DO ALGORITMO AO EVENTO 4 DA SEÇÃO 5.4

Quando a transmissão de uma mensagem termina e existem mensagens no buffer, a mensagem a ser escalonada será a primeira mensagem m armazenada no buffer ordenado.

Apesar de ser verificado no evento 3 as posições possíveis de atendimento para cada mensagem armazenada, antes de enviar a mensagem deve ser verificado se é possível enviá-la.

$$\begin{aligned}
 T_m < E_m &\rightarrow \text{Enviar } m \\
 T_m > E_m &\rightarrow \text{Descartar } m
 \end{aligned}
 \tag{5.11}$$

Essa necessidade existe porque como a variabilidade do canal HF é alta, a taxa de transmissão pode ter sido reduzida em relação ao momento no qual foi realizado o cálculo.

Se a mensagem m for descartada, deve-se checar cada mensagem na ordem da fila até que seja encontrada uma que possa ser enviada. Aquelas que não foram atendidas, devem ser descartadas.

5.6 ESCALONADOR BARREIRA

Na segunda proposta, o escalonador será baseado no método da função valor definido na EQ. 5.2. Esta função será responsável por mensurar o valor da Prioridade Final de cada mensagem aplicando os critérios definidos na Seção 5.3 e a função barreira definida na EQ. 5.2. O escalonador irá selecionar a mensagem que estiver no buffer e possuir o maior valor da PF.

Assim como descrito para o Escalonador Lexicográfico, para cada evento definido na Seção 5.4 uma ação será realizada. Para o eventos 1 e 2 o método barreira não precisa ser aplicado e a ação a ser tomada é aquela definida para cada evento.

No evento 3, para cada nova mensagem i que chegar não haverá necessidade de ser realizado nenhum tipo de cálculo e as mensagens serão armazenadas na última posição da fila de espera. Para o evento 4, o escalonador irá selecionar a mensagem com maior valor resultante da aplicação da EQ. 5.2.

A computação do valor da PF será realizada durante as transmissões das mensagens. Enquanto uma mensagem x é transmitida pelo enlace HF, a função valor é aplicada a todas as mensagens que estão armazenadas na busca daquela que possuir maior valor.

Um problema que inicialmente pode surgir é se o tempo de transmissão seria suficiente para calcular todas as PF das mensagens armazenadas.

No pior caso, se for considerar uma mensagem de correio eletrônico sem conteúdo escrito, apenas com os cabeçalhos SMTP, o tamanho fica em torno de 2KB e o tempo

de envio ficaria em aproximadamente 1,7 segundos sem considerar a latência do canal. Considerando outros tipos de arquivos, como por exemplo, um produzido pelo Microsoft Office Word sem conteúdo possui tamanho aproximado de 10,5KB, um produzido pelo BrOffice.org Writer 6,8 KB. Como os arquivos que serão transmitidos terão algum tipo de informação, os tamanhos serão maiores e os tempos de transmissão também serão, além disso, a alta variabilidade do canal e latência que estará associada ao comprimento do enlace farão com que o tempo disponível para o cálculo seja adequado.

O algoritmo barreira necessita fazer uma busca em toda a fila existente no buffer, assim a complexidade do algoritmo é $O(n)$.

5.6.1 APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS NA FUNÇÃO VALOR

Os critérios adotados nesta dissertação e descritos na Seção 5.3 foram aplicados à função definida em EQ. 5.2 da seguinte forma:

- a) Critério Prazo de validade: A função $g(x)$ foi definida em função da diferença entre a validade da mensagem e o tempo de espera no sistema como apresentado na EQ. 5.12. Conforme o tempo de espera aumenta, o resultado de $g(x)$ diminui e o valor da função barreira cresce exponencialmente. Com isso, quanto mais próximo a mensagem estiver de expirar, sua prioridade tenderá ao infinito.

$$g(W_j) = E_j - B_j \quad (5.12)$$

onde E_j é o prazo de validade da mensagem j armazenada no buffer e B_j o tempo que a mensagem j está armazenada no buffer.

- b) Critérios de nível hierárquico e precedência: Estes critérios servem para determinar um peso $\delta_{ph} \mid p = P_0 \dots P_3$ e $h = H_0 \dots H_{15}$, ou seja, o valor de κ aplicado ao numerador da função de tal forma que as mensagens de maior (menor) nível hierárquico e precedência possuem maior (menor) peso $\delta_{00} = 64$ ($\delta_{315} = 1$).

Aplicando os critérios à função valor, esta fica definida por

$$Max \left\{ f(W_j) = \frac{\delta p_j h_j}{E_j - B_j} \right\} \quad (5.13)$$

Assim, pode ser concluído que a Prioridade Final cresce conforme a mensagem se aproxima de expirar e esse crescimento é mais acentuado para as mensagens de maior precedência e

nível hierárquico devido ao peso δ maior. A FIG. 5.1 apresenta a evolução da Prioridade Final em relação ao tempo de espera para duas mensagens urgentíssimas (P_0), sendo uma enviada por um General de Exército ($\delta_{00} = 64$) e outra por um Soldado ($\delta_{015} = 49$), e uma mensagem urgente (P_1) enviada por um General de Exército ($\delta_{10} = 48$).

Como pode se perceber nas FIG. 5.1 e FIG. 5.2, a PF das mensagens urgentíssimas crescem exponencialmente conforme chegam próximo do limite de tempo de espera (600 segundos) enquanto que a PF da mensagem urgente praticamente não sofre alteração. A PF desta só ira crescer significativamente a partir de aproximadamente 3000 segundos de espera, como pode ser verificado na FIG. 5.2.

Outro aspecto a ser observado é a variação do peso $\delta p_j h_j$ associado a uma mesma precedência não causa um grande deslocamento entre as curvas. Essa pequena variação é suficiente para servir como critério de desempate entre mensagens de mesma precedência e com o mesmo tempo de espera. Essa diferenciação ficou em função do nível hierárquico como aconteceu no Escalonador Lexicográfico.

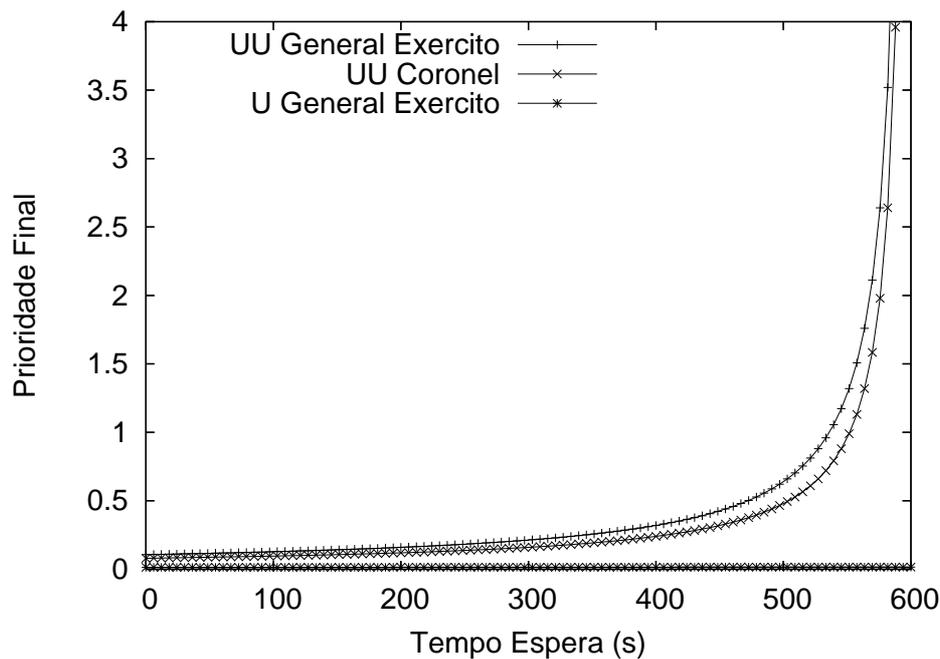


FIG. 5.1: Evolução da Prioridade Final - P_0 e P_1 de 0 a 600s

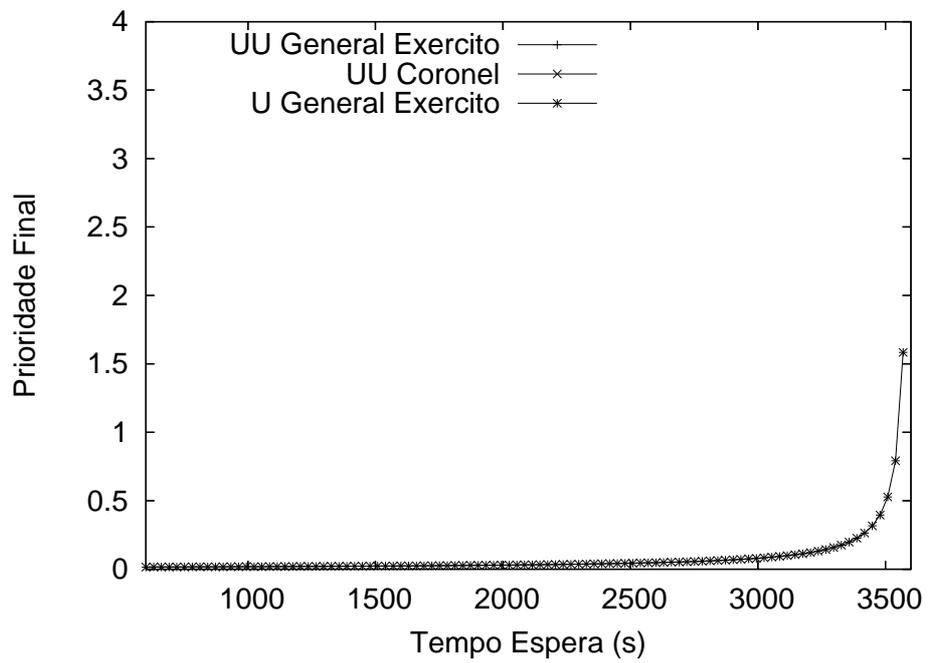


FIG. 5.2: Evolução da Prioridade Final - P_1 e P_1 de 600 a 3600s

6 SIMULAÇÃO

6.1 INTRODUÇÃO

Conforme mencionado na Seção 1.2, o objetivo da presente dissertação é propor novos escalonadores e avaliá-los em comparação com a abordagem tradicional descrita no Capítulo 4. As estratégias a serem avaliadas são:

- uso de um enlace HF operando em sua taxa de transmissão nominal, em condições favoráveis e sem considerar erros;
- uso do escalonador atualmente empregado em um canal HF;
- uso do escalonador lexicográfico;
- uso do escalonador barreira; e
- uso de sistemas com buffer ilimitado e limitado.

Será avaliado o desempenho dos escalonadores segundo os seguintes aspectos:

- perda total de mensagens;
- perda de mensagens de cada classe;
- tempo médio de atendimento; e
- tempo computacional.

Para essa análise será avaliada a influência dos seguintes parâmetros:

- tamanho do buffer;
- tempo de operação; e
- carga no sistema.

De forma complementar, será determinado em quais situações cada escalonador é mais indicado.

Para a simulação foi implementada uma abordagem utilizando eventos discretos, onde cada etapa de manipulação de uma mensagem pelo simulador configura um evento.

Neste capítulo serão abordados alguns aspectos do ambiente de simulação desenvolvido e as distribuições utilizadas para os eventos. Por fim, serão apresentados os cenários que foram utilizados para a simulação.

6.2 AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Como nos simuladores conhecidos não existe suporte para os escalonadores propostos, optou-se por desenvolver um novo ambiente de simulação utilizando a linguagem C.

Este simulador permite a configuração dos parâmetros das mensagens a serem trafegadas na rede, tais como: tamanho médio da mensagem, taxa de chegadas e validade; pode ser configurado características do sistema como o tamanho do buffer; e permite ajustar características do canal como a latência e a taxa de transmissão do canal.

Para a geração de números aleatórios foi utilizado o algoritmo Mersenne Twister (MT) (MATSUMOTO, 1998). MT é um gerador de números pseudo-aleatórios desenvolvido por Makoto Matsumoto e Takuji Nishimura em 1996/1997 e foi proposto devido às falhas existentes em vários geradores. Possui um período de repetição na ordem de $2^{19937} - 1$, é rápido e usa a memória de forma eficiente.

A chegada das mensagens ao sistema segue uma distribuição exponencial. O intervalo entre chegadas é uma superposição de processos de poisson independentes, ou seja, está sendo considerado que cada nível de precedência $P_i(t)$ é um processo de poisson com taxa λ_i . Então, o processo de chegadas de mensagens $P(t)$ é definido por

$$P(t) = P_{UU}(t) + P_U(t) + P_P(t) + P_R(t) \quad \text{com taxa} \quad \lambda = \lambda_{UU} + \lambda_U + \lambda_P + \lambda_R \quad (6.1)$$

A distribuição exponencial também é utilizada para estimar o tamanho da mensagens que chegam ao sistema.

O prazo de validade pode ser configurado no sistema para utilizar valores fixos, como os apresentados na TAB. 5.1, ou valores variáveis. Quando forem utilizados valores variáveis para o prazo de validade, estes seguem uma distribuição normal assumindo valores entre as faixas de tempo definidas na TAB. 5.1 para cada precedência.

O nível de precedência de cada mensagem será atribuído de acordo com a probabilidade calculada para cada nível. Este cálculo é realizado com base nas taxas de chegadas configuradas no sistema.

Os dezesseis níveis hierárquicos são configurados para cada mensagem seguindo uma distribuição normal. Para cada mensagem recebe aleatoriamente um valor que irá representar o nível hierárquico do emissor, conforme mostrado na TAB. 6.1.

TAB. 6.1: Nível Hierárquico

Posto	Graduação	Nível	Posto	Graduação	Nível
General de Exército		0	Segundo-Tenente		8
General de Divisão		1	Aspirante a oficial		9
General de Brigada		2	Sub-Tenente		10
Coronel		3	Primeiro-Sargento		11
Tenente Coronel		4	Segundo-Sargento		12
Major		5	Terceiro-Sargento		13
Capitão		6	Cabo		4
Primeiro-Tenente		7	Soldado		15

Com os parâmetros da simulação definidos e configurados, a lista de eventos futuros é gerada inserindo em cada mensagem o seu identificador, o tamanho, a hora de envio, o prazo de validade, a precedência e o nível hierárquico.

O critério de parada da simulação é definido pelo número total de mensagens. O número de mensagens deve ser configurado de acordo com o tempo de operação que se deseja simular, a taxa de transmissão desejada para o canal, a latência (que está associada à distâncias dos rádios HF) e o tamanho médio do arquivo.

As configurações para o ambiente de simulação podem ser realizadas através de leitura de arquivos texto, com todos os parâmetros configurados, ou manualmente, através de um menu de opções.

Os resultados como o tempo gasto para o atendimento de cada mensagem, a ordem de atendimento, a hora do término da transmissão, a quantidade total de mensagens perdidas e a quantidade de mensagens perdidas por nível de precedência são armazenados em arquivos de texto para que sejam analisados posteriormente.

6.3 CENÁRIOS

O cenário de simulação utilizado possui topologia semelhante à descrita em (DANTAS, 2006). Uma ligação ponto a ponto entre duas estações distando de aproximadamente 2900 km, interligadas por um canal HF, sem compartilhamento do meio, com taxa nominal de 9600 bps e latência de 10 ms. A FIG. 6.1 apresenta um esboço do cenário.

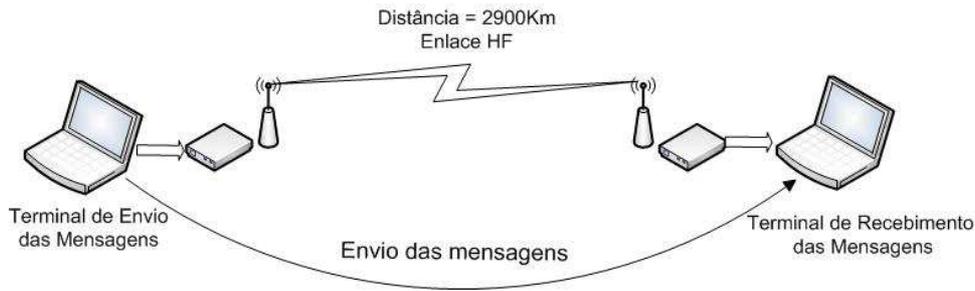


FIG. 6.1: Topologia utilizada nas simulações

Para a transferência de dados entre os terminais pode ser considerado o uso de servidores de mensagens que implementem qualquer tipo de troca de mensagens como HMTP - HF Email Transfer Protocol (JODALEN, 2004) ou MMHS - Military Messages Handling Systems (JODALEN, 2005). A troca de mensagens foi simulada como sendo unidirecional (um terminal enviando e outro recebendo).

Para as simulações foi considerado o uso de um canal HF ideal, ou seja, utilizando-se a máxima taxa nominal sem a introdução de bits de erro. Foi considerado suficiente para esta dissertação a análise do desempenho em relação ao agendamento de mensagens em um canal HF ideal, sem modelo de erros, bem como não foram especificados tipos de modem ou modo de operação. Maiores detalhes sobre um enlace HF podem ser verificados no Apêndice 10.1.

A distância entre os terminais foi definida em 2900 Km. O mecanismo de propagação em HF é uma reflexão total na camada F2 (ver Apêndice 10.1) com altura aproximada de 380 Km. Supondo ser esta uma propagação em espaço livre, o retardo de propagação é de aproximadamente 100 ms.

O canal HF é inteiramente dedicado ao tráfego entre os dois terminais, ou seja, sem compartilhamento do meio com outras estações. Dessa forma, não há necessidade de mecanismo de controle de acesso ao meio.

Três tamanhos de buffer foram utilizados para as simulações:

- a) Ilimitado;
- b) 720.000 bytes; e
- c) 5.040.000 bytes.

Os valores definidos para o tamanho do buffer nos ítems (b) e (c) foram especificados de forma a garantir o atendimento de todas as mensagens P_0 e todas as $P_0 + P_1$, respectivamente, dentro de seus prazos de validade. Esse valor foi calculado através da EQ. 6.2,

$$Tamanho_{buffer} = \mu_s * E_i * \text{Tamanho Médio do Arquivo} \quad (6.2)$$

onde μ_s é a taxa de serviço do canal e E_i o prazo de validade para o nível de precedência P_i , definido na TAB. 5.1.

Como já mencionado na Seção 6.2 o tráfego utilizado segue uma distribuição exponencial. O tamanho médio do arquivo foi configurado para 10 KB.

As cargas totais configuradas para operação do sistema foram:

- Baixa carga (taxa de utilização ρ menor que 50% da capacidade do canal - $\rho \leq 0,5$);
- Média carga (taxa de utilização entre 50% e 80% da capacidade do canal - $0,5 < \rho \leq 0,8$);
- Alta carga (taxa de utilização entre 80% e 100% da capacidade do canal - $0,8 < \rho \leq 1,0$); e
- Sobrecarga (taxa de utilização entre 100% e 150% da capacidade do canal - $1,0 < \rho \leq 1,5$).

A taxa de utilização do canal é definida por (KLEINROCK, 1976):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (6.3)$$

onde λ é a taxa de chegada de mensagens e μ a taxa de serviço. Como μ é invariável durante todos os processos de simulação, o único parâmetro a ser alterado é λ .

Foram simulados valores balanceados e não balanceados para λ . A carga balanceada ocorre quando os valores de λ_{P_i} de cada classe são iguais, ou seja, $\lambda_{P_i} = \lambda/c$, sendo c o número de classes de precedência. A situação não balanceada ocorre quando as taxas de chegada para cada classe são diferentes. Para as simulações foram adotadas as seguintes razões:

- $\lambda_{P_0}/\lambda_{P_1} = 1/2$
- $\lambda_{P_1}/\lambda_{P_2} = 1/2$

- $\lambda_{P_2}/\lambda_{P_3} = 1/2$

O prazo de validade utilizado nas simulações foi fixo e os valores adotados estão descritos na TAB. 5.1.

Para o tempo de duração da operação foram configurados os seguintes valores:

- 1 dia;
- 1 semana;
- 2 semanas;
- 3 semanas;
- 4 semanas;

Para definir a quantidade de mensagens para cada período de operação, foi realizado um cálculo de forma a determinar o valor máximo que o enlace HF poderia atender, para cada período, considerando o tamanho médio do arquivo que foi definido.

Para chegar a esse valor, multiplica-se a taxa de serviço μ (considerando utilização plena do enlace) pelo período desejado e encontra-se o valor médio das mensagens (N), conforme apresentado na EQ. 6.4

$$N = \mu * Período \tag{6.4}$$

A TAB. 6.2 apresenta um resumo do total de mensagens por período:

TAB. 6.2: Número de Mensagens por Duração da Operação

Tempo de operação	Quantidade de mensagens
1 dia	10125
1 semana	70875
2 semanas	141750
3 semanas	212625
4 semanas	283500

O número de simulações utilizada para cada cenário foi definido de acordo com o apresentado em (ROSS, 2002). Foi determinado que as simulações deveriam terminar quando o valor de d ficasse próximo de 1 de tal forma que

$$\frac{\sigma}{\sqrt{k}} \prec d \tag{6.5}$$

onde k é o número de simulações e σ é o desvio padrão da amostra baseada nos k valores. O intervalo de confiança da simulação ficou em torno de 1% para os parâmetros avaliados com probabilidade entre 95% a 99%. Para atingir esse intervalo de confiança, foi necessário executar 3.000 simulações para os cenários de menor duração (1 dia) e 500 simulações para os de maior prazo (4 semanas).

7 RESULTADOS

7.1 INTRODUÇÃO

Os resultados apresentados a seguir foram dispostos em tópicos, inicialmente, de acordo com o tamanho do buffer utilizado. Dentro de cada tópico os resultados estão dispostos de acordo com o tempo de operação e, por fim, por tipo de carga: balanceada e não balanceada.

De acordo com os objetivos da presente dissertação mencionados na S balanceada ou nãoção 1.2 a análise será realizada da seguinte forma:

- comparação do total de mensagens perdidas;
- comparação da perda de mensagens por níveis de precedência;
- tempo médio de atendimento; e
- tempo de processamento.

O tempo de processamento analisado está relacionado ao tempo computacional para execução dos algoritmos. Para as simulações foram utilizados dois micros Pentium 4 3.0GHz, um com 1GB de memória RAM e outro com 512 MB.

Posteriormente, serão analisados os limites para os quais os métodos multi-critério apresentam melhor resultado.

7.2 BUFFER ILIMITADO

No caso do uso de buffer infinito os escalonadores propostos apresentaram resultados bastante significativos. Em alguns casos a redução do número total de mensagens expiradas foi superior a 80%. Esse desempenho foi constatado quando o período de operação foi igual ou superior a uma semana. Outra aspecto observado é que somente houve perdas na situação de sobrecarga, ou seja, com $\rho \geq 1, 0$. A seguir serão apresentados os resultados de forma mais detalhada para as situações de sobrecarga.

7.2.1 1 DIA DE OPERAÇÃO

Para um dia de operação, buffer infinito e sobrecarga, os escalonadores propostos apresentaram comportamentos bastante distintos, principalmente quando a carga no sistema estava balanceada. Neste caso, a abordagem lexicográfica apresentou desempenho geral insatisfatório, comparada à abordagem tradicional. Por outro lado, o algoritmo barreira apresentou resultados muito bons em algumas situações, conseguindo reduzir a zero a perda de mensagens.

A seguir serão apresentadas as análises mais detalhadas para as cargas balanceadas e não balanceadas.

7.2.1.1 CARGA BALANCEADA

Como pode ser verificado na FIG. 7.1, que apresenta o total de mensagens perdidas com carga balanceada, a perda no escalonador lexicográfico iniciou a partir de $\rho = 1,3$, enquanto para a abordagem tradicional as mensagens expiradas surgiram a partir de $\rho = 1,4$.

Além disso, o valor quantitativo de perdas para a abordagem lexicográfica foi muito pior, apresentando desempenho inferior na ordem de 260%. Entretanto, o escalonador barreira não apresentou perdas significativas (maior que 1%) para nenhuma das cargas apresentadas mostrando-se mais adequado do que a abordagem tradicional.

As perdas ficaram concentradas apenas nas mensagens de maior precedência: urgentíssima (lexicográfico), urgente (lexicográfico) e prioridade (lexicográfico e tradicional). As FIG. 7.2 e FIG. 7.3 apresentam as perdas de mensagens, por nível de precedência, para $\rho = 1,4$ e $\rho = 1,5$, respectivamente.

O desempenho inferior da abordagem lexicográfica para um dia de operação pode ser explicado pela ordem de aplicação dos critérios. Como o primeiro critério utilizado foi o prazo de validade e conforme as mensagens de menor precedência permanecem mais tempo no buffer, a prioridade final delas aumenta devido à proximidade de atingir o prazo de validade.

Além disso, as mensagens de baixa precedência formam grandes grupos no buffer com mensagens de mesma precedência e nível hierárquico, como pode ser verificado nas

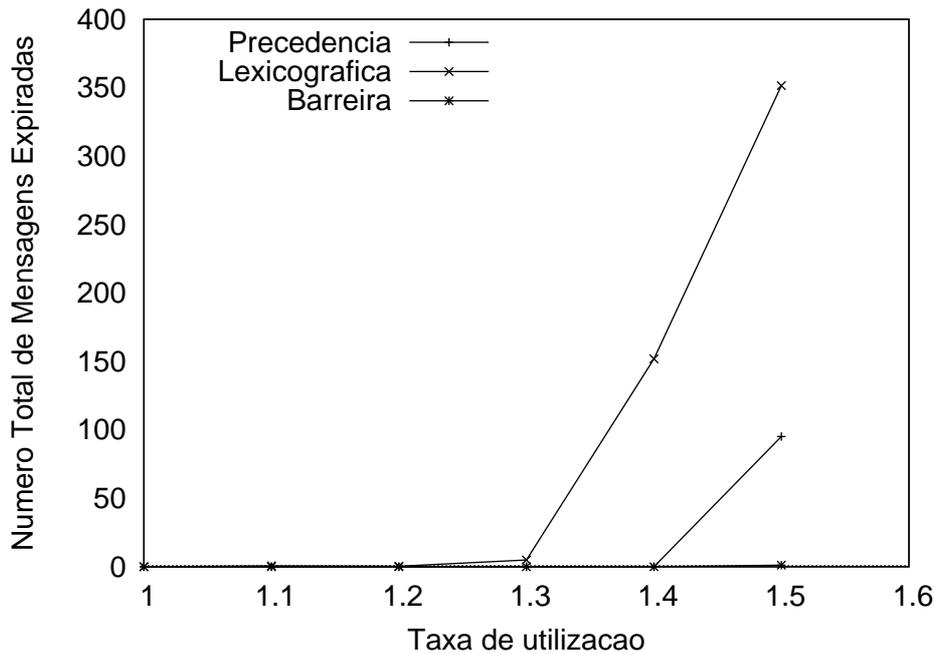


FIG. 7.1: Total de mensagens perdidas em 1 dia de operação e carga balanceada.

simulações com as mensagens de rotina (P_3) e nível hierárquico baixo (H_{10}), por exemplo. Conforme as mensagens desse grupo aproximam-se de perder a validade, as mensagens de maior precedência que chegam ao sistema não encontram posições adequadas no buffer para que sejam armazenadas sem causar a expiração de mais de uma mensagem antiga.

Portanto, como descrito na Seção 5.5.2.1, se existe mais de uma mensagem antiga que irá expirar com a introdução de uma nova mensagem, esta última é descartada.

A inexistência de perda das mensagens de rotina é justificável porque o prazo de operação de 1 dia é o mesmo valor utilizado para a validade da mensagem. Com isso, não há tempo hábil para que essas mensagens expirem.

O tempo médio de atendimento das mensagens no sistema para um dia de operação foi mais baixo para o escalonador lexicográfico quando $\rho = 1,4$ e $1,5$, como pode ser visto na FIG. 7.4. Entretanto, o menor tempo de atendimento não representa vantagem. Como o tempo de atendimento é calculado utilizando somente as mensagens que são transmitidas e o escalonador lexicográfico apresentou maior número de descartes, a consequência natural é que o tempo de atendimento seja menor.

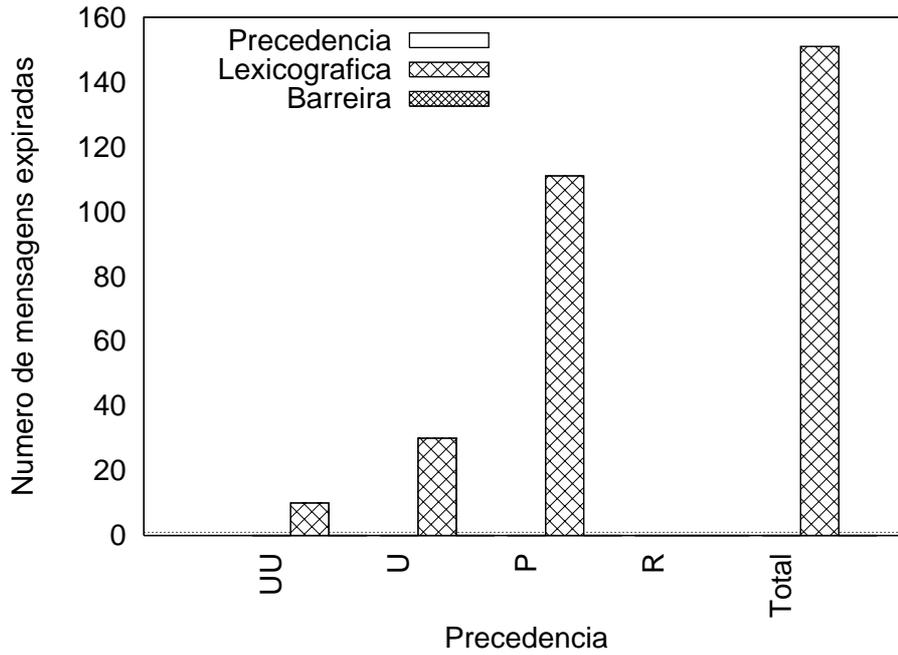


FIG. 7.2: Perda de mensagens em 1 dia de operação e $\rho = 1,4$

Analisando a FIG. 7.5 pode-se perceber que o tempo médio de atendimento para as mensagens de rotina reduziu com o uso do escalonador lexicográfico. Esse comportamento é esperado porque o algoritmo eleva a PF das mensagens conforme ela se aproxima de expirar.

Considerando as outras abordagens, não houve variação significativa, para $\rho = 1,5$ é que houve ligeira vantagem para o escalonador barreira.

O tempo de processamento apresentou resultados semelhantes para todas as abordagens, ficando em todos os casos abaixo de um segundo.

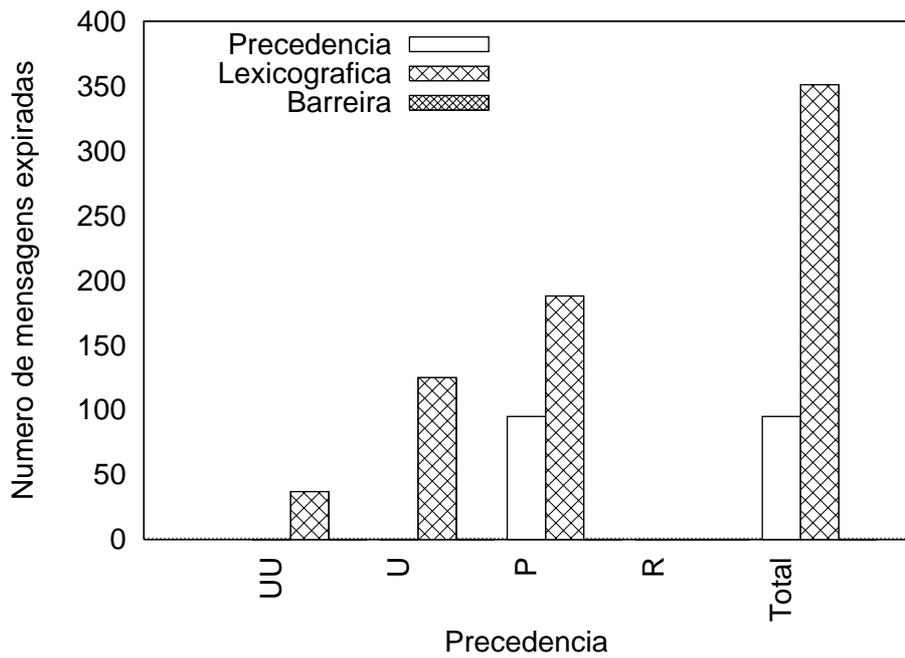


FIG. 7.3: Perda de mensagens em 1 dia de operação e $\rho = 1,5$

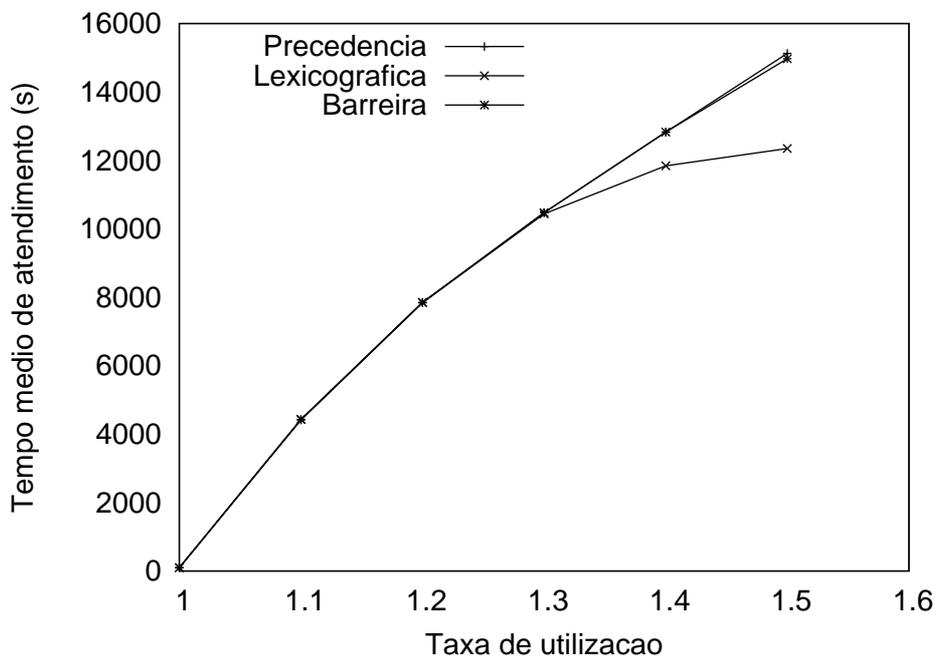


FIG. 7.4: Tempo de atendimento das mensagens em 1 dia de operação.

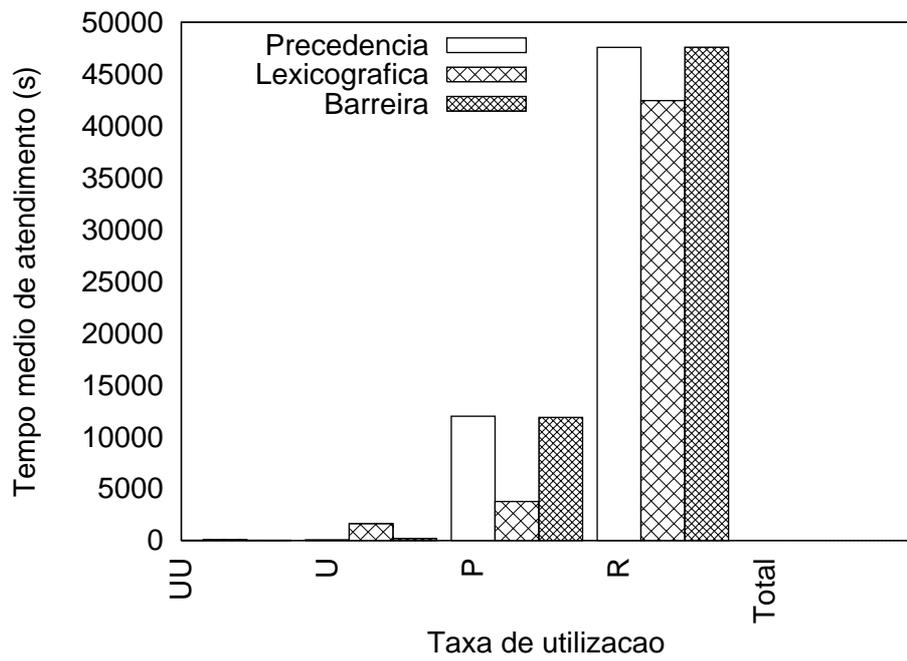


FIG. 7.5: Tempo de atendimento por classe em 1 dia de operação e $\rho = 1.5$.

7.2.1.2 CARGA NÃO BALANCEADA

Com a utilização da taxa de chegadas não balanceadas descritas na Seção 6.3, o desempenho dos escalonadores apresentou resultados semelhantes para todas as análises, considerando 1 dia de operação.

A perda total de mensagens no sistema foi praticamente nula em todas as abordagens empregadas. Apenas o escalonador lexicográfico apresentou pequenas perdas em algumas simulações, porém na média a perda foi de 0,03 mensagens.

Com relação ao tempo médio de atendimento e de processamento a variação foi menor que 1%, não representando valores significativos. Por essa razão os resultados não foram aqui apresentados.

7.2.2 1 ATÉ 4 SEMANAS DE OPERAÇÃO

Ao contrário do que aconteceu para o prazo de operação de um dia, os comportamentos dos escalonadores propostos foram superiores à abordagem tradicional. Em algumas situações a redução do número total de mensagens perdidas chegou próximo de 90% e no pior caso a redução ficou próxima da metade (48%). Entretanto, alguns problemas foram detectados, como por exemplo, um incremento na perda de mensagens de maior precedência, aumento no tempo de atendimento e no tempo de processamento.

A seguir serão apresentados os resultados de forma mais detalhada, separando entre o ambiente de carga balanceada e não balanceada.

7.2.2.1 CARGA BALANCEADA

Com carga igual para os níveis de precedência, a maior redução no número total de mensagens perdidas no sistema ocorreu utilizando o escalonador lexicográfico, apresentando redução da ordem 76% quando $\rho = 1,1$ para qualquer tempo de operação superior ou igual a 1 semana. O algoritmo barreira foi o que apresentou o segundo melhor desempenho. A FIG. 7.6 apresenta a comparação entre as perdas totais no sistema para uma semana de operação.

Conforme se verifica na FIG. 7.6, o desempenho do método tradicional causa uma

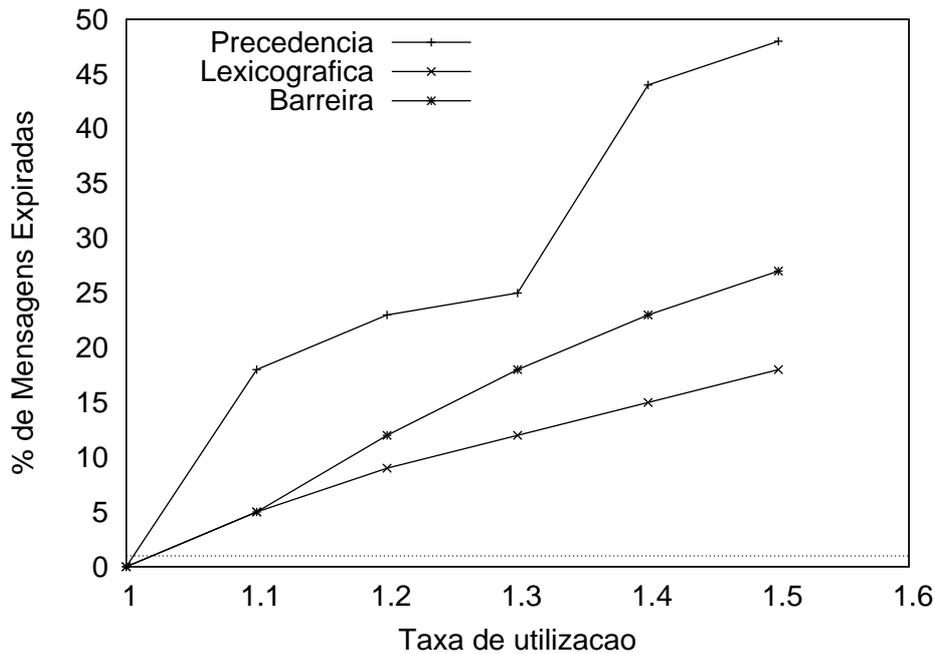


FIG. 7.6: % de mensagens perdidas em 1 semana de operação e carga balanceada.

perda excessiva do número total de mensagens. Quando a carga se aproxima de 50% acima da capacidade do canal, por volta de metade das mensagens enviadas expira. Como será descrito adiante, a acentuada perda ocorre principalmente nas mensagens de rotina que ficam armazenadas no buffer e não são atendidas em tempo hábil. Outro aspecto negativo da abordagem tradicional é o rápido crescimento do número de mensagens perdidas conforme a carga aumenta.

Os métodos propostos tiveram uma redução significativa e o crescimento no número de mensagens expiradas foi menos acentuado conforme a carga do sistema aumentava, especialmente no caso do escalonador lexicográfico.

Avaliando o desempenho dos escalonadores, com relação à perda total de mensagens associada ao tempo de operação igual ou superior a 1 semana, verificou-se pequena variação na abordagem lexicográfica, permanecendo praticamente constante para todas as cargas. No caso do método barreira e da abordagem tradicional, a perda de mensagens aumentou com o tempo de operação. A FIG. 7.7 esboça o desempenho das três abordagens em relação ao tempo de operação utilizando $\rho = 1, 4$.

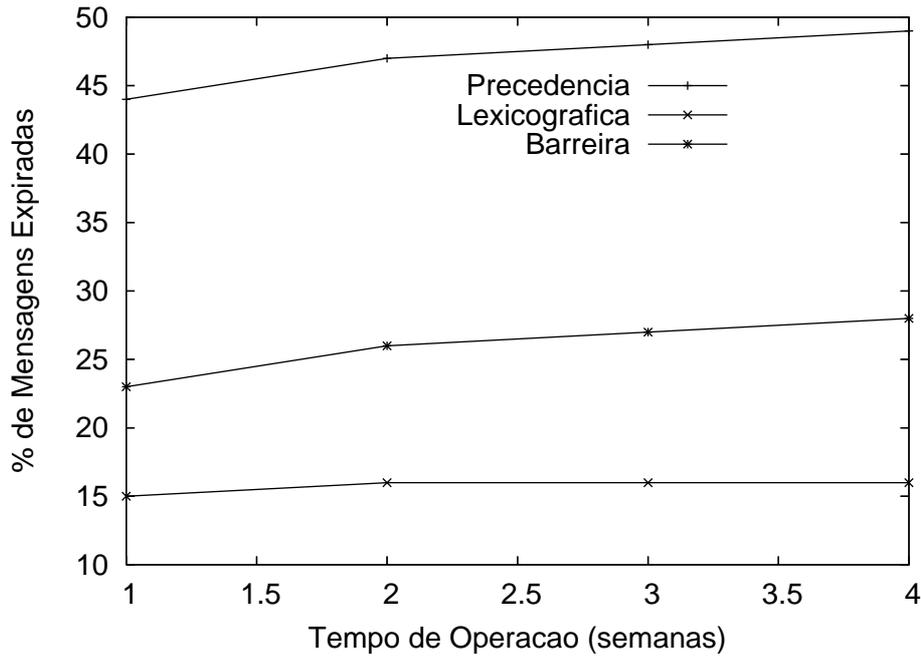


FIG. 7.7: Variação da perda total de mensagens em relação ao tempo de operação ($\rho = 1,4$).

Analisando a perda de mensagens por nível de precedência, na abordagem tradicional esta perda foi predominante nas mensagens de menor precedência (prioridade e rotina), como era esperado. No caso dos escalonadores propostos, ocorreram perdas em todos os níveis de precedência.

Considerando que está sendo utilizada carga balanceada, pode-se estimar que a quantidade de mensagens por classe é o número total dividido pelo número de classes. Portanto, analisando o cenário de uma semana de operação, em média serão enviadas 17.718 mensagens para cada classe em uma operação.

Analisando a FIG. 7.8, que apresenta o número de mensagens expiradas por nível de precedência para $\rho = 1,3$, e tendo em vista o comentário acima, pode-se perceber que praticamente todas as mensagens de rotina são prejudicadas nessa abordagem (em torno de 98%). Mesmo com carga 10% superior a taxa de transferência do canal, a perda de mensagens de rotina já apresenta resultados próximos a 71%.

A partir da carga $\rho = 1,4$ o mesmo problema acontece com as mensagens do nível prioridade. A FIG. 7.9 apresenta o número de mensagens expiradas obtidas para $\rho = 1,5$

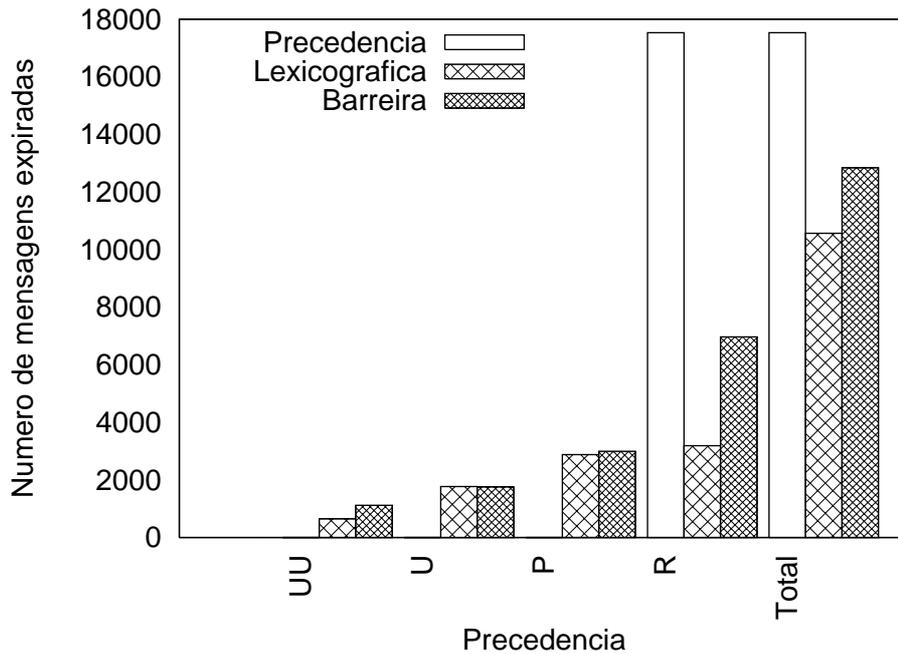


FIG. 7.8: Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,3$

e nela pode-se verificar que todas as mensagens de rotina são perdidas e cerca de 98% das de prioridade também são. Dessa forma, pode-se concluir que numa situação dessas, qualquer mensagem administrativa enviada pelo sistema não chegaria ao seu destino em tempo hábil, sendo o período de operação superior a 1 semana.

Os escalonadores propostos apresentaram substancial redução no número de mensagens perdidas de níveis de precedência mais baixo, como pode ser observado nas FIG. 7.8 e FIG. 7.9. Entretanto, algumas mensagens de alta precedência expiraram. Nesse aspecto o escalonador barreira apresentou desempenho inferior, produzindo em alguns casos por volta do dobro do número de mensagens perdidas em relação ao lexicográfico.

A perda de mensagens urgentíssimas no escalonador lexicográfico reflete o mesmo problema descrito na Seção 7.2.1.1 para tempo de operação de um dia. Como o primeiro critério adotado é o prazo de validade, conforme as mensagens de menor precedência se aproximam do prazo de validade, suas prioridades finais aumentam. Além disso, mensagens de baixa precedência formam blocos que estão próximos de expirar e com isso as novas mensagens de alta precedência não encontram posição, de forma que não acarretem

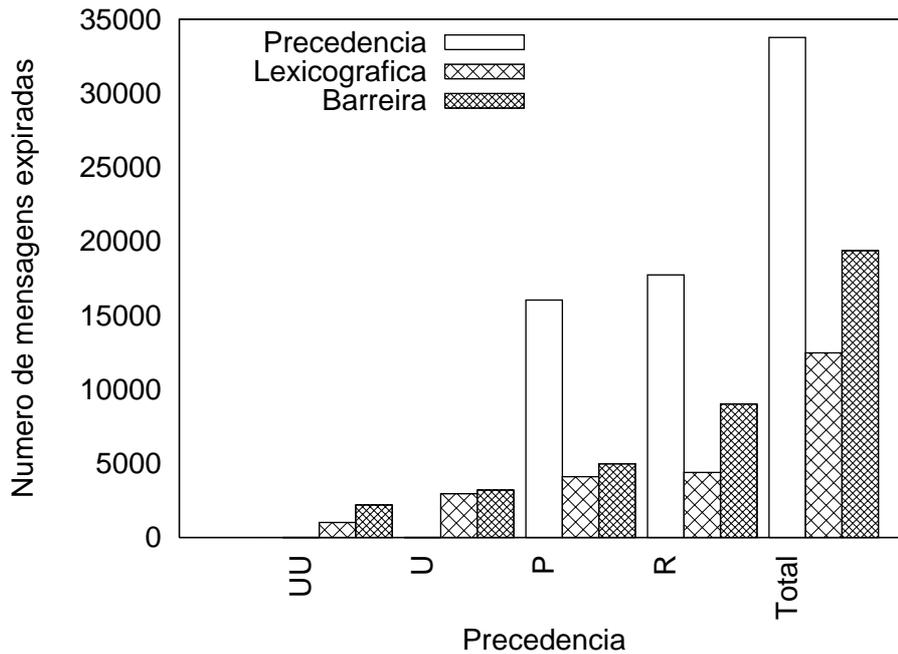


FIG. 7.9: Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,5$

prejuízo em diversas mensagens antigas.

No caso do método barreira, essa perda excessiva também está relacionada às mensagens de baixa precedência armazenadas no buffer. Conforme essas mensagens se aproximam do prazo de validade, suas prioridades finais crescem exponencialmente, fazendo com que estas sejam escaladas na frente das mensagens de maior precedência. Como os pesos associados à cada mensagem são muito próximos (foram definidos como critérios de desempate), essa diferença não foi suficiente para compensar o crescimento da PF das mensagens de menor precedência. A alteração nos pesos das mensagens pode produzir uma melhora do comportamento deste escalonador.

Além disso, as pequenas diferenças de peso fazem com que, principalmente, as mensagens de baixa precedência sejam selecionadas muito próximas de expirar. Com isso, de um determinado grupo de mensagens só uma é atendida, aumentando a perda total do sistema, além de fazer com que o tempo de atendimento seja maior que no escalonador lexicográfico.

Com relação ao tempo médio de atendimento, para o prazo de 1 ou mais semanas, as

mensagens que foram escalonadas pelo método lexicográfico foram as que apresentaram valores mais baixo. O escalonador barreira apresentou desempenho inferior ao lexicográfico, mas apesar disso, o desempenho foi bastante superior ao método tradicional.

A FIG. 7.10 esboça os resultados para o tempo de atendimento com $\rho \geq 1,0$ em uma semana de operação. Nesse gráfico pode-se comprovar como o tempo de atendimento cresce para o método tradicional conforme aumenta a carga. Esse comportamento reflete o fato que todas as mensagens de rotina e prioridade, mesmo que já tenham expirado, são transmitidas nesse sistema.

Analisando a FIG. 7.5 pode-se perceber que o tempo médio de atendimento para as mensagens de rotina reduziu com o uso do escalonador lexicográfico. Esse comportamento é esperado porque o algoritmo eleva a PF das mensagens conforme ela se aproxima de expirar.

Uma alteração na abordagem tradicional na qual as mensagens expiradas não fossem transmitidas poderia reduzir sensivelmente o tempo médio de atendimento e evitar que algumas mensagens de menor precedência armazenadas no buffer e válidas, fossem prejudicadas.

O desempenho no tempo de atendimento do escalonador barreira reflete o fato das mensagens serem enviadas próximas de seu prazo de validade, como descrito anteriormente.

Analisando o tempo de processamento, o método tradicional foi o que apresentou melhor desempenho. Como não há a necessidade de realizar nenhum cálculo computacional, mesmo com 4 semanas de operação e $\rho = 1,5$ o tempo computacional ficou abaixo de 1 segundo. Por outro lado, como o escalonador lexicográfico precisa percorrer todo o buffer e verificar qual mensagem tem maior PF, o tempo gasto foi muito alto. O tempo computacional cresce conforme a carga no sistema aumenta e também com o aumento no tempo de operação. As FIG. 7.11 mostra os resultados obtidos variando a carga, para uma semana de operação.

7.2.2.2 CARGA NÃO BALANCEADA

O comportamento para carga não balanceada para o período de operação de uma ou mais semanas foi semelhante ao apresentado para carga balanceada, porém, com um aumento da redução do número de mensagens perdidas. A redução alcançou, no melhor

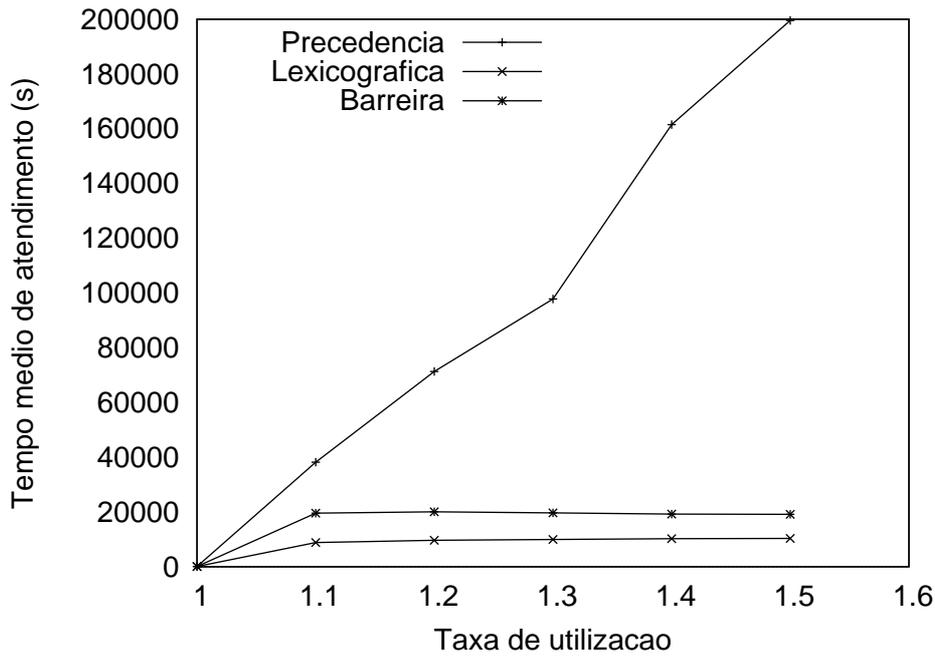


FIG. 7.10: Tempo médio de atendimento - 1 semana de operação e carga balanceada.

caso, o valor de 88% no cenário de 4 semanas de operação e $\rho = 1,1$, tendo sido obtida com o escalonador lexicográfico.

Como pode ser verificado na FIG. 7.12, a perda total de mensagens na abordagem tradicional atinge 45% do total das mensagens enviadas a partir da carga de 110%, acarretando perda da ordem de 84% das mensagens de rotina enviadas. Pode-se verificar também que o desempenho do escalonador lexicográfico é superior aos outros algoritmos empregados.

Semelhante à carga balanceada, os algoritmos tiveram sua eficácia reduzida com o aumento do tempo de operação, como pode ser visto na FIG. 7.13. Entretanto, a perda na eficiência foi maior no método tradicional e no barreira. O desempenho do método lexicográfico praticamente permaneceu constante.

Analisando a perda por classes, verifica-se que a perda foi reduzida significativamente para as mensagens de rotina, porém foram introduzidas perdas nas precedências mais altas, como pode ser verificado na FIG. 7.14. Como a taxa de chegadas não é balanceada, ou seja, as taxas das mensagens de maior precedência são menores, o prejuízo nas

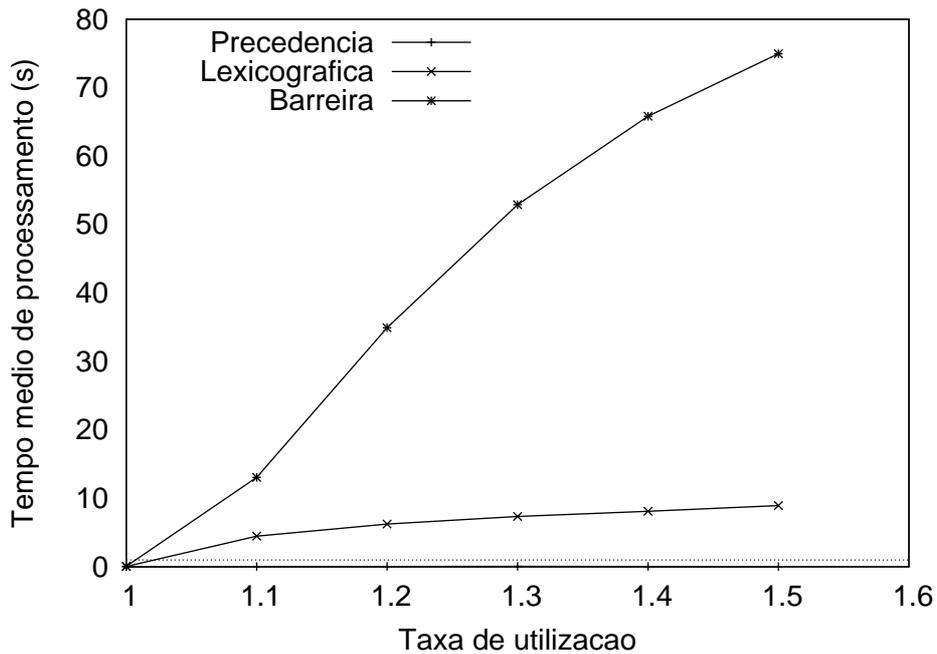


FIG. 7.11: Tempo médio de processamento - 1 semana de operação e carga balanceada.

mensagens de precedência é menor.

O tempo médio de atendimento aumentou nas duas abordagens propostas, como pode ser visto na FIG. 7.15, que apresenta os resultados para uma semana de operação. O aumento do tempo de serviço decorre do grande número de mensagens de rotina no sistema. Como estas mensagens permanecem mais tempo no sistema e têm validade alta, o tempo de atendimento aumenta.

Analisando a FIG. 7.16 pode-se perceber que o tempo médio de atendimento para as mensagens de rotina reduziu com o uso dos escalonadores propostos. Esse comportamento é esperado porque o algoritmo eleva a PF das mensagens conforme ela se aproxima de expirar. Por outro lado, o escalonadores propostos elevaram o tempo médio de atendimento para as mensagens de maior precedência.

O tempo de processamento para o sistema não balanceado e buffer ilimitado comportou-se semelhante ao apresentado na Seção 7.2.2.1. O tempo de processamento está relacionado ao tempo computacional para execução das simulações.

Apesar da maior perda nas mensagens de maior precedência, o escalonador lexicográ-

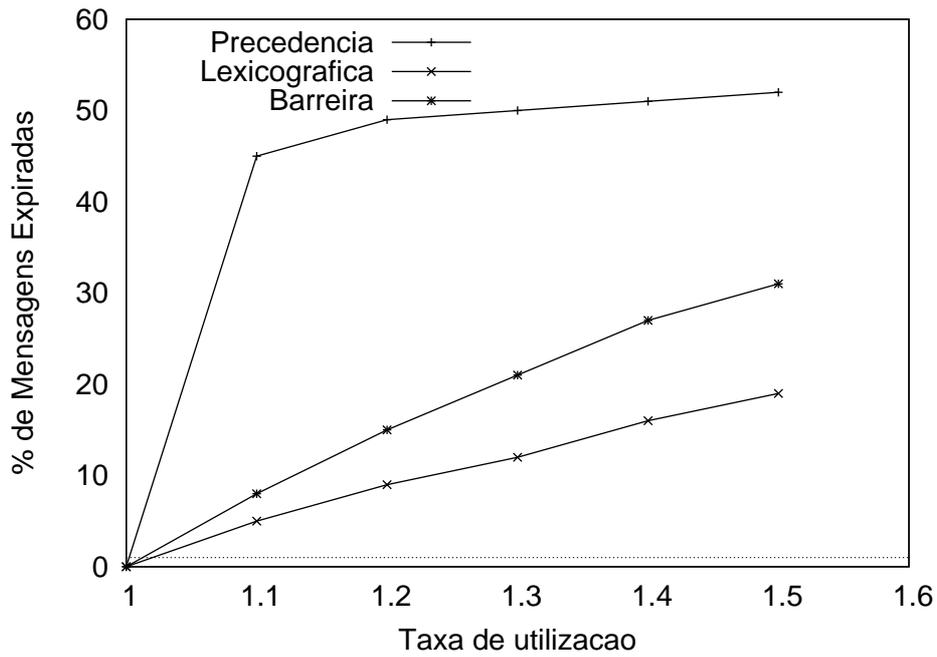


FIG. 7.12: % de mensagens perdidas em 4 semanas de operação e carga não balanceada.

fico pode ser considerado o método mais eficiente para emprego com buffer infinito para o prazo de mais de uma semana de operação, pois, a melhora no desempenho geral do sistema foi bastante significativa, principalmente na redução total de mensagens perdidas e na redução do tempo médio de atendimento.

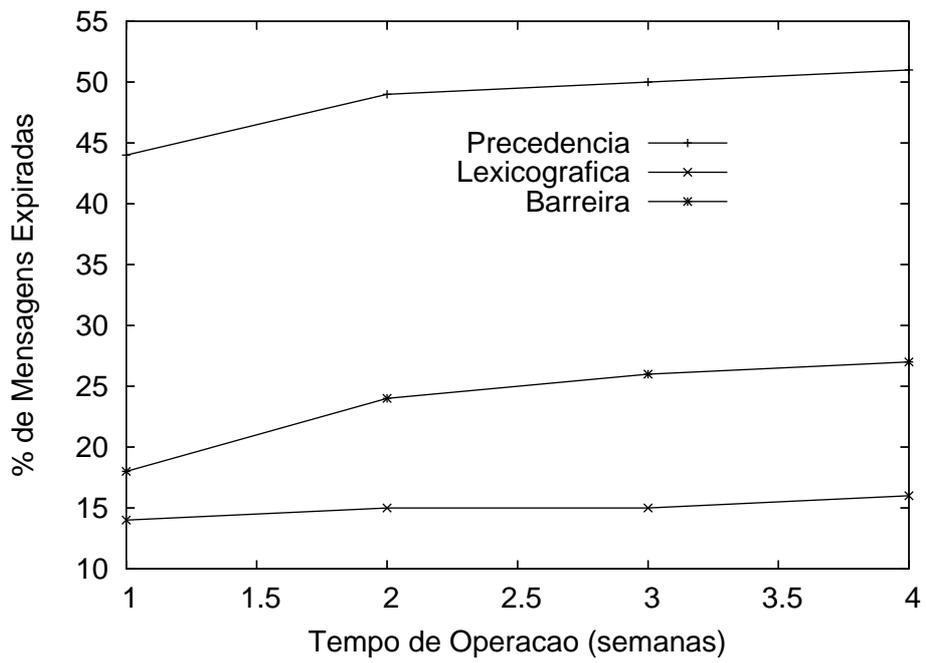


FIG. 7.13: Variação da perda total de mensagens em relação ao tempo de operação ($\rho = 1, 4$).

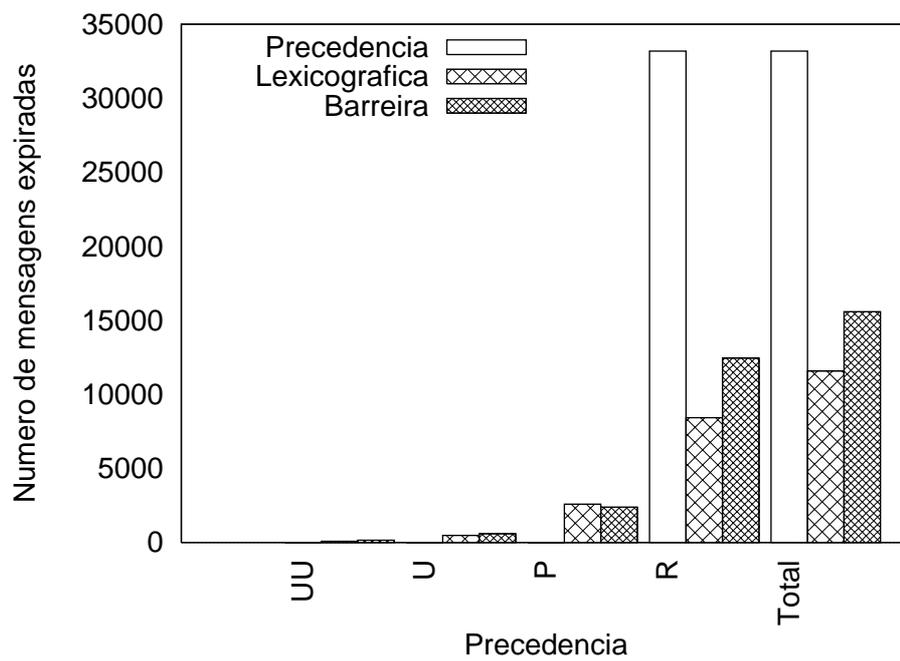


FIG. 7.14: Número de mensagens expiradas - 1 semana de operação e $\rho = 1,5$.

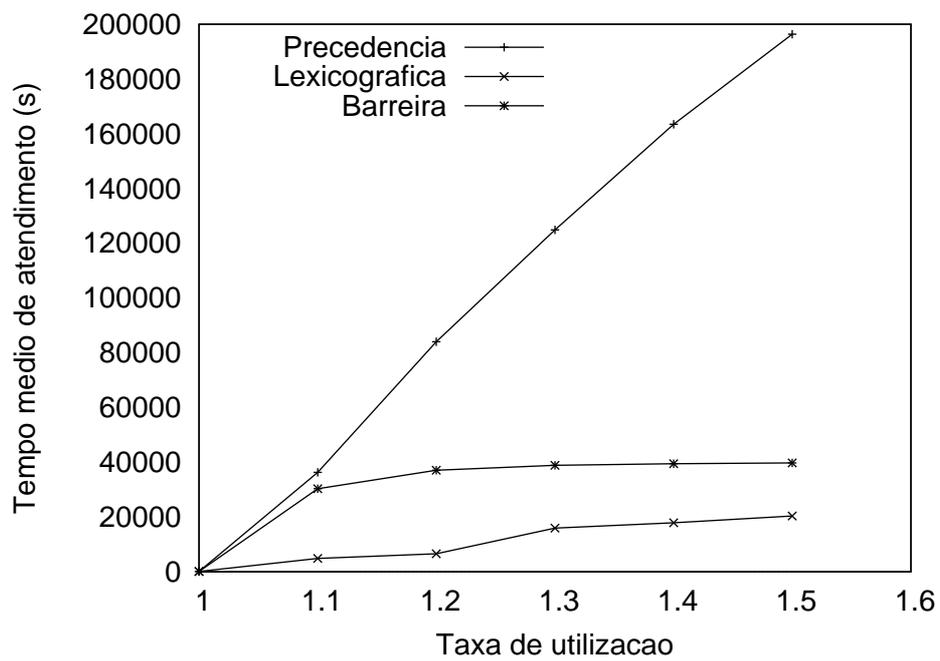


FIG. 7.15: Tempo médio de atendimento - 1 semana de operação e carga não balanceada.

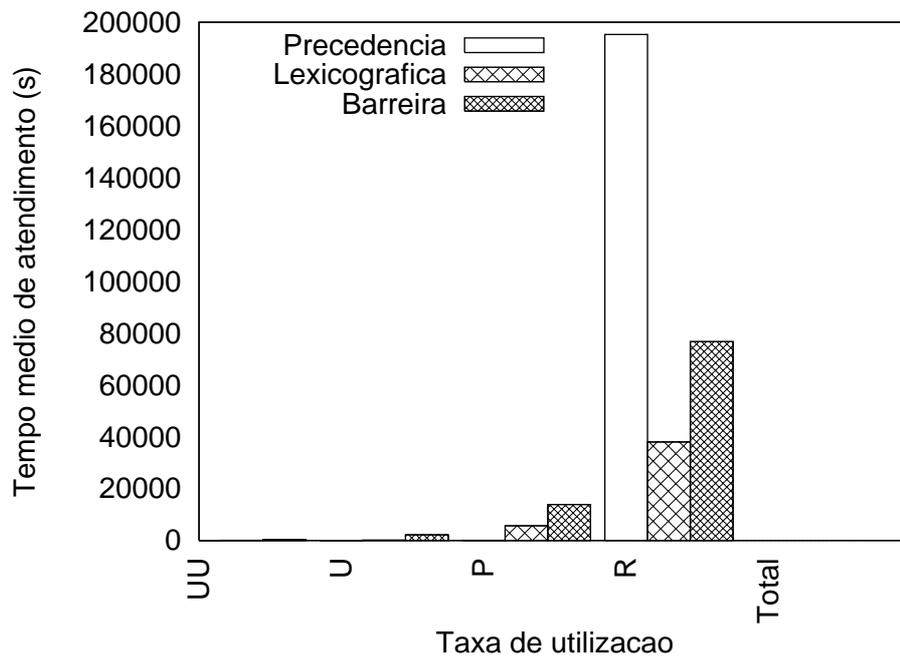


FIG. 7.16: Tempo médio de atendimento por classe - 1 semana de operação, carga não balanceada e $\rho = 1,5$.

7.3 BUFFER FINITO

Os desempenhos dos escalonadores propostos utilizando buffer finito não foram satisfatórios em alguns aspectos. De maneira geral, o desempenho do sistema e o tempo médio de atendimento apresentaram valores absolutos maiores do que os alcançados pela abordagem tradicional.

A influência do tamanho do buffer afetou no tempo médio de atendimento e o valor de carga a partir do qual foram iniciadas as perdas no sistema. Os demais resultados foram semelhantes para todos os tamanhos de buffer.

Os percentuais de perdas totais, por classe e tempo de processamento apresentaram valores inalterados com a variação do tempo de operação ou do tipo de carga.

Analisando a perda total do sistema, o método tradicional apresentou resultado superior aos escalonadores propostos e, entre estes, o escalonador barreira foi o que apresentou melhor desempenho. Entretanto, as diferenças de desempenho não são tão significativas como as apresentadas no caso do buffer infinito. A diferença percentual foi no pior caso de 2 a 3% para o algoritmo barreira e 5 a 6% para o lexicográfico, quando a carga no sistema era de 150% da capacidade do enlace, para qualquer tempo de operação, tamanho de buffer e para todo tipo de carga.

As FIG. 7.17 e FIG. 7.18 apresentam o desempenho do sistema para uma semana de operação, carga balanceada e buffer com tamanho de 720.000 Bytes e 5.040.000 Bytes, respectivamente. Como pode ser observado, com o uso de buffer de menor capacidade a perda no sistema se inicia com $\rho = 0,6$, enquanto no de maior capacidade a perda se inicia com $\rho = 1,1$. Esse resultado é esperado devido à menor capacidade de armazenamento das mensagens que chegam ao sistema. Para evitar perdas prematuras em enlaces não congestionados, é recomendável que o sistema opere com tamanho de buffer maiores.

No caso do buffer de menor capacidade, as perdas se iniciaram já com $\rho = 0,6$, porém apenas a partir do momento em que o enlace passou a operar em sobrecarga é que começou a haver diferença em relação ao comportamento dos escalonadores propostos. O método lexicográfico foi o que apresentou piora no desempenho a partir de $\rho = 1,0$, enquanto a perda do método barreira iniciou um pouco depois, com $\rho = 1,1$, sem acréscimo percentual significativo.

Apesar do desempenho do método barreira ter sido pouco inferior ao método tradi-

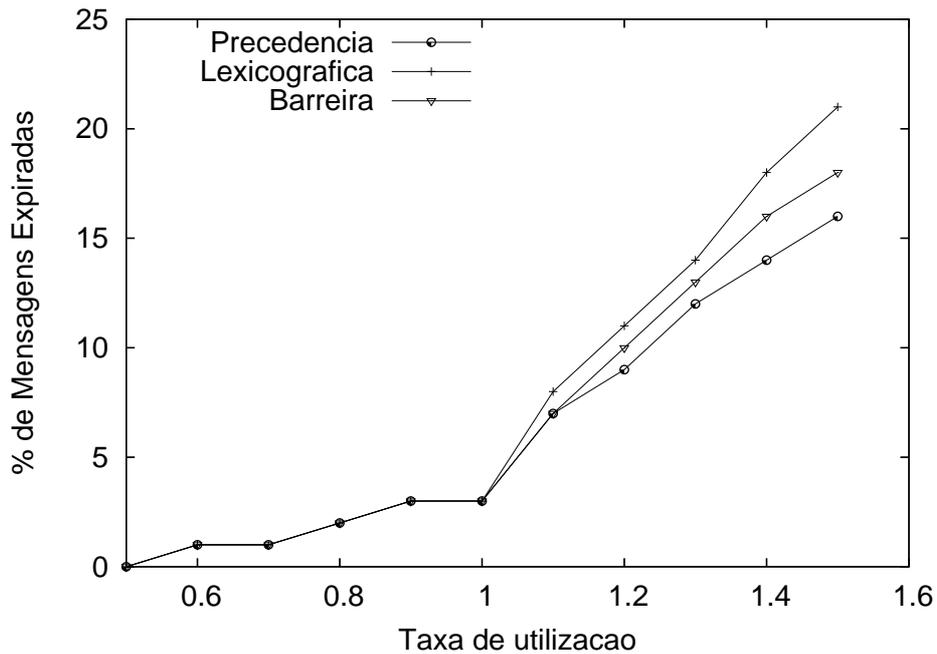


FIG. 7.17: % de mensagens perdidas para 1 semana de operação, carga balanceada e buffer 720.000.

cional, quando se realizou a análise das perdas por classes, pode-se verificar uma vantagem nesta abordagem. Como pode ser verificado nas FIG. 7.19 e FIG. 7.20, que apresentam os resultados para 1 semana de operação, buffer de 720.000 e cargas balanceada e não balanceada, respectivamente, apesar do acréscimo da ordem de 12% na perda total de mensagens, nas classes de maior precedência a redução ficou entre 75% a 80% para P_0 e entre 40% e 70% para P_1 .

Para o caso do método lexicográfico, a redução das perdas das classes de mais alta precedência foram ainda maiores. Os valores de redução percentuais ficaram em torno de 80% para P_0 e entre 70% a 80% para P_1 .

O bom desempenho apresentado para as classes de maior precedência nos escalonadores propostos deve-se ao emprego de mecanismos de gerência de buffer. Os mecanismos são baseados nos mesmos princípios dos algoritmos propostos. É descartada no buffer a mensagem que possuir o menor valor da PF calculada. Como no método tradicional não existe emprego de nenhum mecanismo deste tipo, as perdas ficam associadas às taxas de chegada ao sistema. Convém ser verificado o comportamento do método tradicional

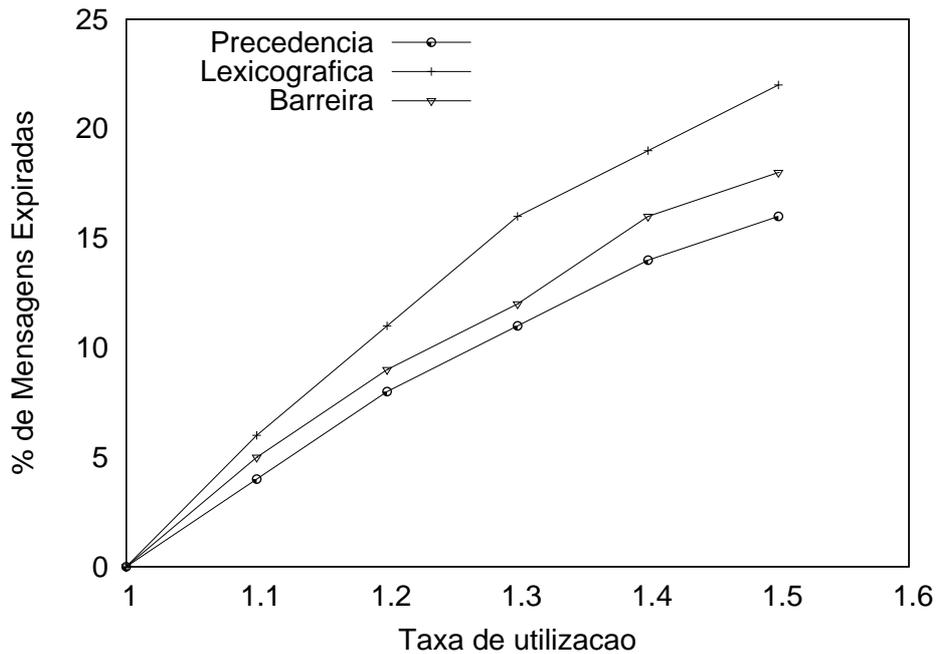


FIG. 7.18: % de mensagens perdidas para 1 semana de operação, carga balanceada e buffer 5040.000.

empregando algum método de gerência de buffer.

O tempo de atendimento apresentou valores bastante diferenciados quando comparado a dimensão do buffer. Com o de maior tamanho é possível manter uma quantidade maior de mensagens. Em consequência, o tempo médio de atendimento apresentou resultados mais elevados.

Também foi observado que o escalonador tradicional apresentou menor tempo médio de atendimento que os propostos. Dentre estes, o escalonador barreira foi o que apresentou menor tempo médio no buffer 5.040.000 bytes e o lexicográfico foi o melhor para o buffer de menor capacidade. A FIG. 7.21 e a FIG. 7.22 apresentam o desempenho para 1 semana de operação, carga balanceada e buffer de 720.000 e 5.040.000, respectivamente.

O menor tempo de atendimento encontrado no método tradicional ocorre devido à ausência de mecanismos de gerência de buffer. Como a prioridade é calculada apenas utilizando a precedência e cada classe utiliza uma política *First-In-First-out* (FIFO), as mensagens não ficam muito tempo armazenadas, contribuindo para um baixo valor.

Quando se utiliza outros critérios de classificação associado à gerência do buffer, algu-

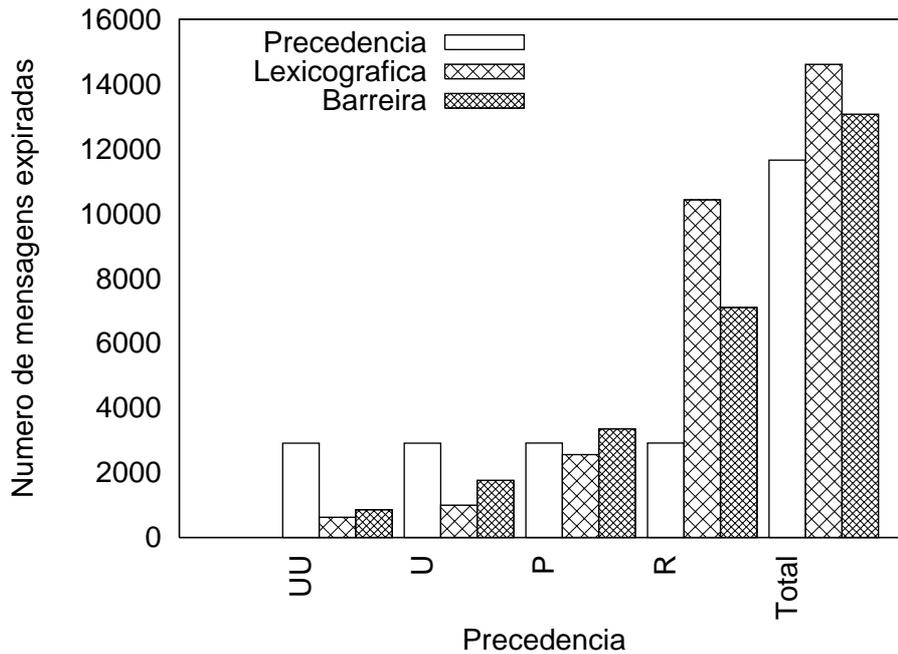


FIG. 7.19: Perda de mensagens por classe - 1 semana de operação, $\rho = 1,5$ e carga balanceada.

mas mensagens irão apresentar valores de PF que podemos chamar intermediários. Essas mensagens não têm PF alta para serem agendadas rapidamente para transmissão, nem tão baixa ao ponto de serem descartadas. Dessa forma, essas mensagens permanecem mais tempo no sistema, elevando o tempo médio de atendimento.

Conforme o buffer aumenta, existe mais espaço para armazenar uma maior quantidade de mensagens intermediárias no sistema. Por isso, o tempo médio para o buffer de maior capacidade foi bem superior para os escalonadores propostos.

O tempo computacional para os escalonadores empregados no cenário de buffer finito apresentou valores médios inferiores a um segundo. Mesmo o método barreira, que apresentou valores elevados no cenário de buffer infinito, o tempo foi reduzido de forma considerável. Com o buffer limitado, a busca pela correta posição de armazenamento de uma mensagem no escalonador lexicográfico, ou a busca pela mensagem de maior PF no escalonador barreira, fica limitada às mensagens armazenadas e isso faz com que o tempo computacional reduza bastante.

Apesar da perda total do sistema ser ligeiramente maior, o escalonador barreira pode

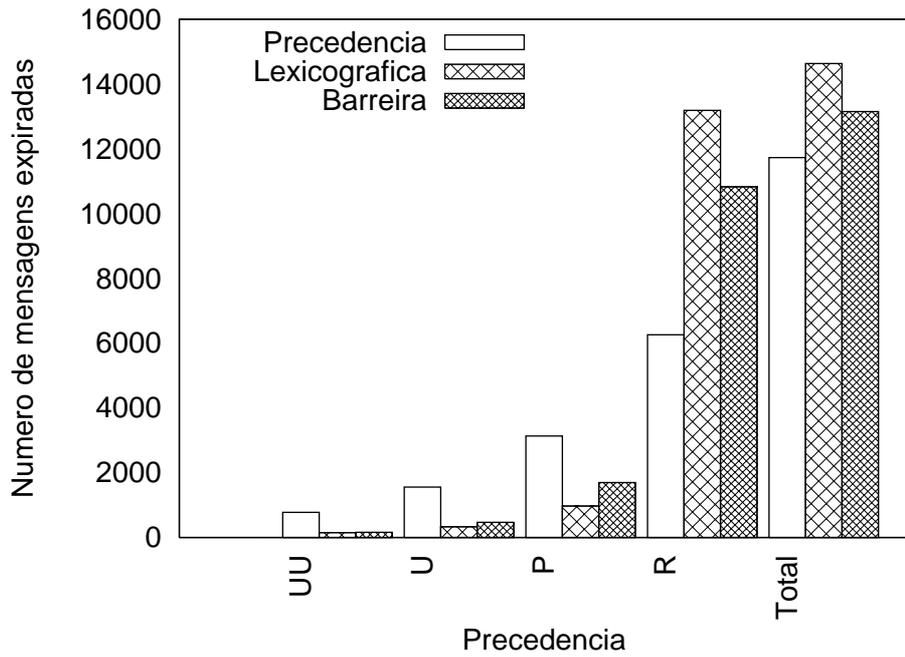


FIG. 7.20: Perda de mensagens por classe - 1 semana de operação, $\rho = 1,5$ e carga não balanceada.

ser considerado um método bastante eficiente com o emprego de buffer finito, porque foi seletivo no descarte das mensagens, fazendo com que mensagens de maior precedência fossem menos descartadas, sem fazer com que a totalidade das mensagens de rotina fossem descartadas.

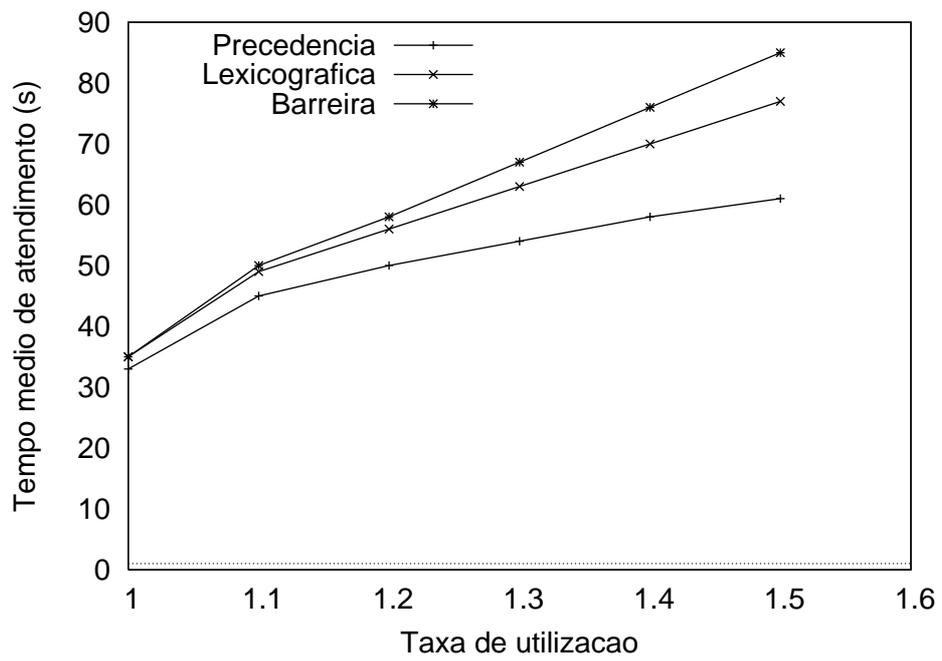


FIG. 7.21: Tempo de atendimento no sistema para uma semana de operação, carga balanceada e buffer 720.000 bytes.

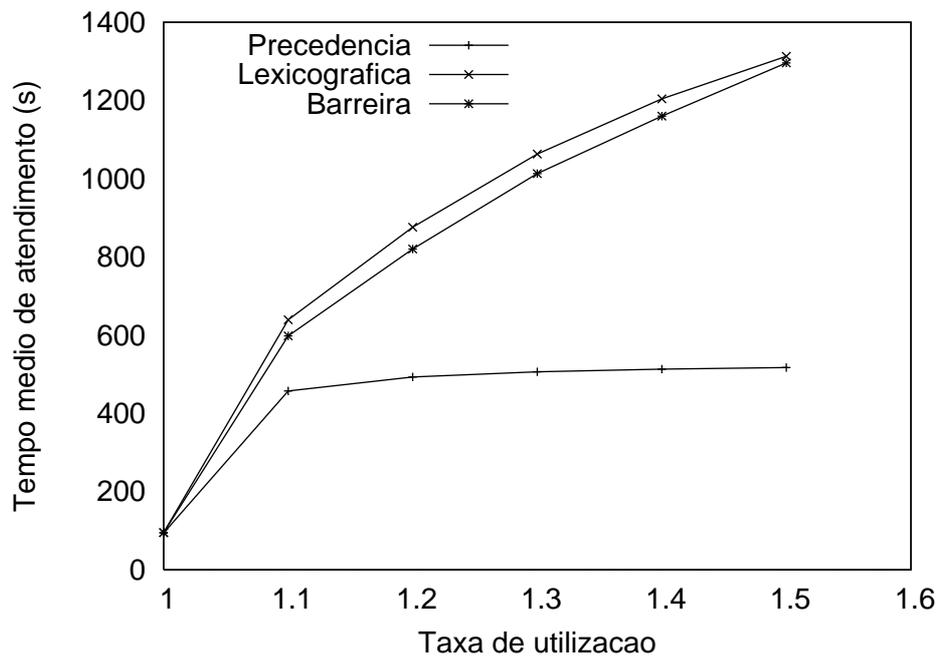


FIG. 7.22: Tempo de atendimento no sistema para uma semana de operação, carga balanceada e buffer 5040.000 bytes.

7.4 ADEQUAÇÃO DOS ESCALONADORES A CADA CENÁRIO

Analisando todos os resultados apresentados, podemos verificar qual escalonador é mais adequado para cada cenário apresentado. As principais alterações de comportamento foram verificadas com a variação do tamanho do buffer e carga no enlace.

O escalonador lexicográfico é mais adequado para emprego em sistemas nos quais o buffer seja infinito e com tempo de operação superior a uma semana quando houver sobrecarga na rede. Apesar de não existirem sistemas que apresentem buffer ilimitado, hoje já existem equipamentos portáteis, tais como celulares, computadores de mão, etc., com memória embarcada na ordem de dezenas ou centenas de *mega-bytes*. Dessa forma é possível supor que existam sistemas que possam operar com buffers de grande capacidade.

Na análise do cenário de buffer ilimitado, verificou-se que permaneciam armazenadas na ordem de 1.200 mensagens no período de 4 semanas de operação. Considerando que o tamanho médio das mensagens enviadas foi de 10 KB, seria necessário o emprego de um buffer de aproximadamente 12 MB para que o comportamento seja similar ao do emprego em buffer infinito. Como o exposto acima, não é difícil de supor sistemas com essa capacidade.

O inconveniente apresentado pelo método lexicográfico, de aumentar a perda de mensagens de maior precedência, pode ser compensado pela redução significativa no total de mensagens perdidas.

O escalonador barreira apresentou desempenho adequado para emprego em duas situações:

- a) buffer ilimitado, um dia de operação, carga balanceada e sobrecarga no sistema; e
- b) buffer limitado, qualquer tempo de operação, carga balanceada ou desbalanceada e sobrecarga

Quando empregado no cenário de buffer ilimitado, um dia de operação e carga balanceada, o escalonador barreira conseguiu zerar as perdas de mensagens no sistema, sem comprometer o tempo de atendimento.

Com a limitação na capacidade do buffer, apesar do escalonador barreira apresentar resultados de perda pouco superiores e tempo médio de atendimento superior em relação ao método tradicional, ele permitiu um descarte mais seletivo das mensagens. Como em

sistemas de missão crítica é importante a priorização das mensagens, o comportamento do escalonador barreira pode ser considerado adequado.

Para as situações nas quais não há sobrecarga na rede, o método tradicional pode ser mantido, porque em alguns casos não houve perda em nenhuma situação, ou como no caso de buffer de tamanho 720.000 bytes, o comportamento foi semelhante em todas as situações.

Nos dispositivos portáteis o consumo de bateria é um fator importante. Portanto, a vantagem em usar a abordagem tradicional fora das situações de sobrecarga também pode se refletir em economia de energia. Com o emprego de algoritmos que possam causar um consumo maior de bateria por causa do processamento extra, a durabilidade das baterias durante as operações diminui.

8 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

8.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Nesta dissertação, foi realizado um estudo com o objetivo de propor o emprego de escalonadores multi-critérios a sistemas de mensagens militares em redes sem fio de baixo desempenho e compará-los ao método tradicional empregado nesses sistemas. Também foram propostos o emprego de critérios adicionais de forma a ser calculada a prioridade final de uma determinada mensagem.

Para esta avaliação foram observados os seguintes parâmetros de desempenho:

- perda total de mensagens;
- perda de mensagens por nível de precedência;
- tempo médio de atendimento; e
- tempo de processamento.

Para coletar os resultados foram observados o comportamento dos escalonadores em alguns cenários (discutidos na Seção 6.3) , variando os parâmetros de configuração a seguir:

- carga no sistema;
- configuração da carga: balanceada e não balanceada;
- tamanho de buffer; e
- emprego de mecanismos de gerência de buffer.

Com base nos cenários apresentados e nos escalonadores propostos no Capítulo 5, pode-se concluir que cada escalonador é adequado a um cenário diferente.

Trabalhando com um cenário de baixa ou média carga, todos os métodos operaram eficientemente sem apresentar nenhuma perda, com exceção apenas dos casos em que foi

utilizado buffer de tamanho igual a 720.000 bytes. Neste caso, apesar de apresentarem perdas, os valores foram iguais para todos os métodos empregados.

Para a situação acima, conclui-se que o método tradicional pode continuar a ser empregado, de forma a evitar que sejam processados cálculos desnecessários que podem causar um consumo demasiado de baterias em dispositivos portáteis.

Como citado em (III, 1999), durante as operações militares os sistemas de comunicações existentes são insuficientes para as cargas de mensagens, assim pode-se considerar que os sistemas de mensagens para redes sem fio de baixo desempenho irão operar com sobrecarga na maior parte do tempo.

Nessa situação de sobrecarga, os escalonadores propostos apresentaram resultados distintos para cada tipo de buffer empregado, atendendo em alguns casos os objetivos desta dissertação.

Como já comentado na Seção 7.4, com o uso de buffer ilimitado, o escalonador lexicográfico conseguiu maximizar o atendimento aos fluxos de mensagens. Entretanto, apresentou problemas relativos à perda de mensagens de maior precedência.

Esse problema poderia ser minimizado se fosse realizado uma alteração no algoritmo de tal forma que não fosse permitido que as mensagens com precedência urgentíssima fossem descartadas no sistema. Com certeza, essa alteração iria causar um maior descarte total, porém, minimizaria o problema.

Utilizando buffer limitado, analisando apenas o total de mensagens perdidas, a abordagem tradicional foi a que conseguiu apresentar a menor perda, porém apresentou o inconveniente de produzir elevado número de mensagens de alta precedência expiradas. Esse problema poderia ser minimizado com a inclusão de métodos de gerenciamento de buffer, de forma a realizar um descarte seletivo.

Apesar do escalonador barreira apresentar perda total um pouco maior que a abordagem tradicional, este método foi mais seletivo nos descartes, tornando-o bastante adequado ao emprego nesse cenário.

O emprego desses métodos está diretamente associado ao tamanho de buffer disponível no sistema. Como mencionado na Seção 7.4, hoje é possível ter buffers de grande capacidade que teriam comportamento similar à situação de buffer infinito. Para isso deve ser realizado uma análise para descobrir a partir de qual valor o emprego do método lexicográfico torna-se mais eficiente. Também foi possível concluir, que não deve ser utilizado buffer de baixa capacidade porque as perdas no sistema surgem com baixa carga de utilização

da rede ($\rho = 0,6$).

Outro ponto detectado foi que o escalonador barreira realiza o atendimento das mensagens muito próximo do prazo de validade. Como um enlace HF apresenta grandes alterações na sua taxa de transmissão, variando com as condições climáticas, horários, entre outros fatores, isso pode acarretar que as mensagens expirem durante a transmissão porque a margem de segurança é pequena. Podem ser avaliados o emprego de outros valores para os pesos para que exista uma margem maior

Também foi verificado que o escalonador barreira apresenta um tempo computacional muito alto quando empregado o buffer ilimitado. Esse fato ocorre devido à necessidade de percorrer toda a fila de espera para calcular a prioridade final para cada transmissão. Então, apesar de ter apresentado resultados satisfatórios para os cenários de buffer finito apresentados, deve-se ter cuidado ao empregá-lo em situações nas quais o buffer seja maior que o utilizado nesta dissertação.

A partir do presente trabalho foram produzidos dois artigos, um deles aprovado, e um *Abstract*. O artigo *Scheduling Optimization for Priority Traffic in Low Performance Wireless Networks* foi submetido ao *The International Workshop on Telecommunications (IWT)*(SALLES, 2007) e aprovado. O *abstract Multicriteria scheduler for low performance wireless networks* foi apresentado no *19th International Symposium on Mathematical Programming*(SALLES, 2006). O artigo Escalonamento de Mensagens em Redes de Missão Crítica (SILVA, 2007) foi submetido para o 25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e aguarda resultado.

8.2 TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados e conclusões apresentados, sugerimos alguns estudos que poderão ser realizados futuramente.

- a) Investigar outros métodos multi-critério que possam ser empregados nesses sistemas;
- b) Acrescentar novos critérios para o cálculo da prioridade final, como, por exemplo, que defina se o sistema está sendo empregado em tempo de paz ou crise, de forma a modificar os pesos para que as mensagens de precedência mais alta possam ser transmitidas mais rapidamente;

- c) Estudar novas metodologias para estabelecer os pesos para o método barreira, de tal forma que o atendimento das mensagens não seja realizado muito próximo de expirar;
- d) Avaliar o emprego de métodos de gerência de buffer na abordagem tradicional;
- e) Avaliar o tamanho do buffer a partir do qual o método lexicográfico se torna mais eficiente do que o barreira;
- f) Avaliar o desempenho dos algoritmos considerando outros valores para a largura de banda do canal;
- g) Avaliar o desempenho dos algoritmos considerando a existência de erros no canal;
- h) Avaliar o desempenho dos sistemas associados aos sistemas de comando e controle utilizando enlaces HF reais; e
- i) Avaliar o comportamento do escalonador lexicográfico com a alteração sugerida na seção 8.1.
- j) Avaliar o uso dos escalonadores propostos em conjunto com protocolos de camada de enlace adaptativos, permitindo que os escalonadores possam ser ajustados de acordo com a situação do enlace.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERTS, D. S., GARSTKA, J. J. e STEIN, F. P. **Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority**. C4ISR Cooperative Research Program [CCRP], 2 edition, 2000.
- BARROSO, M. M. **Radio communication and forest livelihoods in Brazilian Amazonia**. Tese de Doutorado, University of London, 2006.
- BLACKMORE, P., GEORGE, P. e KWIATKOWSKI, M. **A quality of service interface for military applications**. *Military Communications Conference - MILCOM 00*, 2000.
- BLAIR, W. **Improving the performance of a high frequency radio message network**. Technical report, Department of Defence of Australia, 2000.
- BLAKE, S., BLACK, D., CARLSON, M., DAVIES, E., WANG, Z. e WEISS, W. **An architecture for differentiated service**. *IETF*, (RFC 2475), dezembro de 1998.
- BOURAS, C. e SEVASTI, A. **Performance enhancement of an AF service using TCP-aware marking and dynamic WRED**. *Proceedings of 10th IEEE Symposium on Computers and Communications - ISCC 05*, 2005.
- CASE, J., FEDOR, M., SCHOFFSTALL, M. e DAVIN, J. **Simple network management protocol (SNMP)**. *IETF*, (RFC 1157), maio de 1990.
- CISCO. **Class-Based Weighted Fair Queueing**. Cisco Documentation, 2001a. <http://www.cisco.com/>.
- CISCO. **Congestion Avoidance Overview**. Cisco Documentation, <http://www.cisco.com/>, 2001b.
- CISCO. **Low Latency Queueing**. Cisco Documentation, 2001c. <http://www.cisco.com/>.
- Cisco Inc. www.cisco.com.
- DANTAS, M. B. T. **Desempenho de protocolos TCP e de camada de enlace para canal HF**. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 2006.
- DEKERIS, B., ADOMKUS, T. e BUDNIKAS, A. **Analysis of QoS assurance using weighted fair queueing (WQF) scheduling discipline with low latency queue (LLQ)**. *28th International Conference on Information Technology Interfaces*, 2006.
- DORIA, A., HELLSTRAND, F., SUNDELL, K. e WORSTER, T. **General switch management protocol (GSMP) v3**. (RFC 3292), junho de 2002.

- EGGEN, A., ANDREASSEN, M., ØYVIND HVINDEN e LÆGREID, H. **The Joint NO and UK Demonstration of Integrated MMHS, PKI and Directory Systems at JWID 2002**. Technical report, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2002.
- FLETCHER, R. e POWELL, M. J. D. **A Method for Nonlinear Constraints in Minimizations Problems in Optimization**. 1969.
- FLOYD, S. e JACOBSON, V. **Random early detection gateways for congestion avoidance**. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 1(4):397–413, 1993. ISSN 1063-6692.
- IEEE 802.11. **Wireless Local Area Networks**. <http://www.ieee802.org/11/>.
- IEEE 802.16. **The IEEE 802.16 Working Group**. <http://www.ieee802.org/16/>.
- III, W. D. e PITT, K. J. **Information value information based resource management of the defense information systems network**. *Military Communications Conference - MILCOM 99*, 1999.
- JODALEN, V., EGGEN, A. e E O. GRONNERUD, B. S. **Military messaging in IP networks using HF links**. *IEEE Communications Magazine*, págs. 98–104, novembro de 2004.
- JODALEN, V., EGGEN, A., SOLBERG, B. e GRONNERUD, O. **Performance Testing Of Stanag 4406 (Military Messaging) Using IP Over HF**. Technical report, Norwegian Defence Research Establishment (FFI), 2005.
- JR, P. W. P. e G. PLONISCH, I. **Military applications of information technologies**. *Air & Space Power Journal*, Volume XVIII,(Nr 1), 2004.
- KINGSTON, J. **Dinamic precedence for military ip networks**. *Military Communications Conference - MILCOM 00*, 2000.
- KLEINROCK, L. **Queueing Systems: Computer Applications**, volume II. Wiley Interscience, 1976.
- KOWALCHUK, N. e BLACKMORE, P. **Multimedia services in a tactical environment**. *Military Communications Conference - MILCOM 96*, 1996a.
- KOWALCHUK, N., SHOLTZ, J. e MOORS, T. **Framework for the management of networks based on information value**. *Military Communications Conference - MILCOM 96*, 1996b.
- KWIATKOWSKI, M. e ELLIOT, M. **Using router diffserv mechanisms to implement military QoS**. *Military Communications Conference - MILCOM 03*, 2003.
- KWIATKOWSKI, M. e GEORGE, P. **A network control and management framework supporting military quality of service**. *Military Communications Conference - MILCOM 99*, 1999.

- MATSUMOTO, M. e NISHIMURA, T. **Mersenne twister: A 623-dimensionally equidistributed uniform pseudorandom number generator.** *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, 1998.
- MIETTINEN, K. M. **Nonlinear Multiobjective Optimization.** Kluwer's International Series, 1998.
- NOCEDAL, J. e WRIGHT, S. J. **Numerical Optimization.** Springer Verlag, 1999.
- NUNES, L. F. T. **Network centric warfare (NCW) e a sua influência nas unidades de infantaria de baixo escalão.** *Revista Militar, Portugal*, (RM 2447), dezembro de 2005.
- OFFICER, C. I. **Information Management: Information Superiority (IM Strategic Plan).** Department of Defense, United States of America, 2.0 edition, 1999.
- OTAN. **STANAG 4406 - Military Message Handling System (MMHS)**, 1st edition, 1999.
- PISANI, F. **A doutrina militar das redes.** *Revista Le Monde Diplomatique Brasil*, junho de 2002.
- PUBLICATION, A. C. **ACP 123 - Common Messaging Strategy and Procedures.** The Combined Communications-Electronics Board (CCEB), 1997.
- ROSS, S. M. **Simulation.** Academic Press, 2002.
- SALLES, R. M. e SILVA, S. S. C. **Multicriteria scheduler for low performance wireless networks.** *19th International Symposium on Mathematical Programming*, 2006.
- SALLES, R. M. e SILVA, S. S. C. **Scheduling optimization for priority traffic in low performance wireless networks.** *The International Workshop on Telecommunications (IWT)*, 2007.
- SILVA, S. S. C., SALLES, R. M. e VIDAL, P. C. S. **Escalonamento de mensagens em redes de missão crítica.** *25º Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores*, 2007.
- SIRIS, V. A. e STAMATAKIS, G. **A dynamic CBWFQ scheme for service differentiation in WLANs.** *IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, 2005.
- SNDC. **Secretaria Nacional de Defesa Civil**, <http://www.defesacivil.gov.br/rener/index.asp>.
- TTCP. **The Technical Cooperation Program.** <http://www.dtic.mil/ttcp/>.
- VICENTE, J. P. N. **A (r)evolução do pensamento estratégico.** *Air & Space Power Journal*, Volume XVIII(Nr 4), 2006.

WARRIER, U., BESAW, L., LABARRE, L. e HANDSPICKER, B. **Common management information services and protocols for the internet (CMOT and CMIP)**. (RFC 1189), outubro de 1990.

XIAO, H. e BEARD, C. **Support for high priority traffic using preemption**. *University of Missouri*.

ZYKINA, A. V. **A Lexicographic Optimization Algorithm**. Omsk State Technical University, 2003.

10 APÊNDICES

10.1 APÊNDICE 1: CARACTERÍSTICAS DAS COMUNICAÇÕES EM CANAIS HF

10.2 INTRODUÇÃO

As transmissões de rádio nas frequências entre 3 e 30 MHz são chamadas de comunicações em Alta Frequência, ou HF (*High Frequency*). A banda HF é largamente utilizada para comunicações de longas distâncias, também chamadas de comunicações do tipo “*Beyond Line-of-Sight*” (BLOS), onde o mecanismo de propagação intrínseco utiliza a refração de ondas em camadas ionosféricas e na superfície da Terra alternadamente.

As comunicações BLOS em HF são possíveis devido à existência da camada ionosférica que se estende aproximadamente de 65 a 1000 Km acima da superfície da Terra e se caracteriza pela ocorrência da ionização causada pela radiação solar.

As camadas ionosféricas apresentam uma grande variação das condições de propagação, de acordo com a localização geográfica (latitude), hora do dia, atividade solar, etc. Tipicamente, as frequências altas oferecem uma melhor resposta durante o dia, enquanto as frequências baixas operam melhor durante a noite. Isto resulta em um canal com altas taxas de perdas de bits e comportamento extremamente flutuante. Além disso, limitação de banda (3KHz, tipicamente) inerente aos sistemas em HF leva a comunicações com baixas taxas de transmissão ($\leq 10\text{Kbps}$).

Conforme as definições das ondas eletromagnéticas e em especial das ondas curtas, o espectro das Altas Frequências (HF), está organizado em bandas, que são padronizadas internacionalmente, girando em torno da frequência central correspondente ao seu comprimento de onda. A padronização das faixas e sua utilização, é efetuada pelo *International Telecommunications Union* (ITU). Desta forma, podemos sintetizar quais bandas em metros são mais propícias a escuta dependendo das condições de propagação. A TAB. 10.1 apresenta o espectro das Altas Frequências e seus respectivos comprimentos de onda.

Neste capítulo serão descritas algumas das características da propagação de sinal em meios ionosféricos. Serão apresentadas também algumas considerações no emprego de enlaces HF as redes IP existentes.

kHz	MHz	Banda em metros
2.300-2.495	2	120
3.200-3.400	3	90
3.900-4.000	4	75
4.750-5.060	5	60
5.730-6.295	6	49
6.890-7.600	7	41
9.250-9.990	9	31
11.500-12.160	11	25
13.570-13.870	13	22
15.030-15.800	15	19
17.480-17.900	17	16
18.900-19.020	19	15
21.450-21.850	21	13
25.670-26.100	25	11

TAB. 10.1: Bandas de radio difusão nas ondas curtas

10.3 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA COMUNICAÇÃO EM HF

No funcionamento das comunicações em HF, as ondas de rádio provenientes do rádio-transmissor são irradiadas pela antena em direção à Ionosfera onde são refletidas e endereçadas até a antena do rádio-receptor. Muitas vezes, essas ondas não são recebidas pelo receptor, gerando o que denominamos “falha de propagação” ou seja, as ondas irradiadas ou se degradaram no percurso por deficiências de ionização na camada desejada ou, pelo contrário, porque essa onda atravessou a camada desejada e se perdeu no espaço.

As atividades solares são fundamentais para determinação da reflexão das ondas de rádio na ionosfera. A quantidade de manchas solares, ou seja, o nível de atividade solar (quantidade de labaredas emitidas pelo Sol no período), provocam o aquecimento da Ionosfera, alterando a sua ionização e tornando-a mais ou menos condutiva. Quanto maior o nível de atividade solar, isto é, quanto maior o número de labaredas emitidas pelo Sol, mais altas deverão ser as frequências a serem empregadas.

A escolha da frequência ideal para se comunicar, depende de diversos fatores entre eles o nível de atividade solar, para o mês/trimestre de referência, a distância entre as estações transmissora e receptora, a zona na qual ocorrerá a reflexão, a camada reflexiva (E, F1 ou F2), os valores de Frequência Máxima Utilizável (MUF), Frequência Mínima Utilizável (LUF) e Frequência de Trabalho Ótima (FOT) para a região reflexiva, bem

como o horário em que se pretende manter a conversação.

10.4 PROPAGAÇÃO EM HF

A compreensão dos fenômenos básicos da propagação, se inicia pelo conhecimento do nosso planeta, em especial das características da atmosfera e da importância do Sol nos fenômenos da propagação das ondas de rádio.

O Sol não apenas permite a vida no planeta Terra, mas também torna possível a propagação em longa distância das ondas de rádio. A radiação solar provoca ações interessantes nas regiões mais altas da atmosfera da Terra, conhecidas como Ionosfera. As regiões escuras da superfície solar, ou simplesmente “manchas solares”, são responsáveis pelo aumento da radiação proveniente do Sol. Esta radiação é o que fornece a Ionosfera os seus “íons” (partículas carregadas), as quais refratam certas ondas de rádio. As manchas solares podem variar dia a dia mas são conhecidas como seguindo um ciclo de 11 anos de atividade solar.

O ciclo solar de 11 anos apresenta picos de atividade. Durante estes picos conhecidos como Máximo solar, até mesmo estações de baixa potência podem ser captadas ao redor do mundo. O número das manchas solares podem também variar nos 27 dias do ciclo correspondente a rotação do Sol.

A oscilação da Terra em relação ao seu eixo de rotação (que é a causa das 4 estações do ano) afeta a propagação também, assim como a hora do dia. Como uma regra geral, frequências acima de 10 MHz são úteis durante o dia e abaixo deste são boas durante a noite.

A radiação Solar se choca com átomos de oxigênio e nitrogênio e deslocam seus elétrons nas camadas superiores da atmosfera criando assim íons, os quais são carregados positivamente. Existem quatro regiões distintas de gás ionizado no espaço compreendido entre 65 km até aproximadamente 1000 km. Juntas, estas regiões formam o que denomina-se Ionosfera.

A ionosfera refrata as ondas de rádio de frequências específicas, primariamente a faixa de HF (conhecida como Ondas Curtas de 3 MHz a 30 MHz). É esta refração da energia de rádio que torna as comunicações possíveis ao longo do mundo.

Nas comunicações via ionosfera as ondas de rádio penetram nas camadas ionizadas e, dependendo da frequência, algumas são absorvidas, outras atravessam a ionosfera, e

outras ainda são refratadas e retornam à superfície da Terra, conforme ilustrado na FIG. 10.1. Vale ressaltar que, sob condições adequadas, a onda eletromagnética retorna a outro ponto da superfície como se fosse refletida pela ionosfera, mas na verdade ocorrem um processo de refração (ver FIG. 10.1).

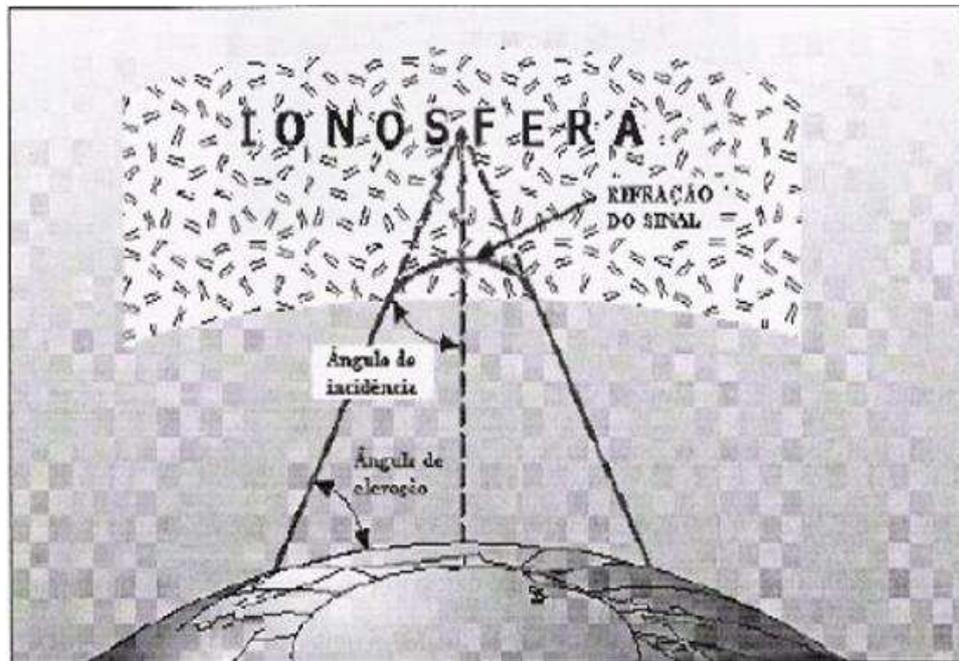


FIG. 10.1: Propagação da onda eletromagnética em HF.

As quatro regiões distintas da ionosfera são denominadas D, E, F1 e F2 e estão representadas na FIG. 10.2.

A camada D na ionosfera é a mais próxima ao solo. É a que absorve a maior quantidade de energia eletromagnética, seu comportamento é diurno e aparece no momento em que as moléculas começam a adquirir energia vinda do Sol, permanecendo por alguns instantes no início da noite. Ionicamente é a menos energética e é a responsável pela absorção das ondas de rádio durante o dia.

A camada E se posiciona acima da camada D e embaixo das camadas F1 e F2 e é a primeira útil para a propagação das ondas de rádio. Semelhante à camada D, durante o dia se forma e se mantém, durante a noite se dissipa.

Em algumas ocasiões, dependendo das condições de vento solar e energia absorvida durante o dia, a camada E pode permanecer esporadicamente à noite, quando isto ocorre



FIG. 10.2: Camadas da ionosfera.

é chamada de camada E Esporádica. Esta camada tem a particularidade de ficar mais ativa quanto mais perpendiculares são os raios solares que incidem sobre si.

As camadas F1 e F2 são agrupadas na chamada Região F. De fato, elas se combinam em um única camada durante a noite. A Região F é a mais importante para as comunicações de longa distância, de forma que com apenas um processo de reflexão (reflexão simples) pode-se obter comunicações entre distâncias de até aproximadamente 4.000 Km. Esta camada retém sua ionização por mais tempo que as outras camadas e permanece ionizada durante a noite, mesmo não sendo de forma tão densa. Sua intensa ionização durante as horas do dia refratam as altas frequências mas á noite ela irá normalmente permitir que passem através dela.

Além das camadas ionosféricas, a própria superfície da Terra pode refletir ondas eletromagnéticas provenientes da camada ionosférica, de forma que uma onda refletida de volta a partir do ponto de sua incidência na Terra pode sofrer uma segunda reflexão ionosférica, e assim por diante.

A ionosfera, como meio de propagação de ondas eletromagnéticas, é dispersivo, ruidoso, dinâmico e aleatório. O caráter dispersivo deve-se ao efeito de multipercurso e sua característica dinâmica resulta no espalhamento Doppler. Em função disso, o canal HF em geral produz elevada taxa de erros, bem como erros em surtos (*bursty*).

10.5 TRANSMISSÃO EM HF

As transmissões digitais em HF estão sujeitas a variações das condições de propagação em diversas escalas de tempo e, em geral, se caracterizam pelas baixas taxas de transmissão que, em presença de canais com altas taxas de erros, produzem enlaces com altos retardos.

O avanço nas pesquisas em torno da propagação ionosférica e o rápido desenvolvimento do processamento digital de sinais durante a última década, tornaram possível uma substancial melhora nas comunicações em canal HF, permitindo, por exemplo, que modernos modems, com mecanismos adaptativos em relação à camada física, transmitam a uma taxa de até 9600 bps em canais de 3 kHz.

Porém, o modem ainda é responsável por toda uma lógica de filtragem do ruído e das condições adversas de propagação que este tipo de canal nos impõe. Esta complexidade extra encarece este tipo de equipamento, que deve ser “inteligente” para operar com um razoável nível de eficiência.

A banda de HF é muito utilizada pelos radioamadores para comunicação em voz e em pacotes. Particularmente no caso das transmissões por pacotes, taxas como 1200 bps e 4800 bps são muito comuns para curtas distâncias (às vezes operando na banda de VHF), e 300 bps era até pouco tempo atrás o de facto standard para comunicações em longa distância.

10.6 IP SOBRE HF

A chegada de sistemas HF inteiramente automatizados e adaptativos pode permitir que um enlace HF faça parte de uma rede militar que utilize o protocolo IP. Devido a extraordinária cobertura que o rádio HF permite, tal solução poderia oferecer serviços IP aos usuários posicionados além da linha de visada (BLOS), que é considerada o limite de muitos sistemas de comunicações com frequências e taxas mais elevadas.

IP sobre HF é uma alternativa interessante, por exemplo, para:

- Comunicações navios-terra e/ou navio-navio;
- Interligação com forças especiais em território hostil;
- Última milha, quando a infraestrutura de telecomunicações estiver danificada.

Mesmo com as melhorias oferecidas pela evolução da tecnologia dos modems HF, a vazão dos enlaces HF típicos continua muito baixa e a latência muito alta comparada a maioria dos outros tipos de enlaces utilizadas nas redes IP. Na maioria dos casos o enlace HF representará um inevitável gargalo, com um grande impacto na qualidade de serviço oferecida ao usuário.

Considerando o modelo simples de rede esboçado na FIG. 10.3 no qual um enlace HF é utilizado para conectar as redes IP A e B, utilizando-se protocolos HF 2G ou 3G, pode ser realizada uma conexão entre os terminais 2 e 3 na rede principal e os terminais 1 e 4 residentes em plataformas móveis (por exemplo, um navio ou um carro de combate) através do protocolo IP. A fim de obter vantagens de utilizar os serviços oferecidos pelas redes IP, os protocolos acima da camada de rede devem tolerar a alta latência imposta pelo protocolo HF e, para conseguir alcançar desempenho satisfatório, são necessários ajustes de parâmetros nos protocolos de enlace HF assim como nos protocolos de transporte (JODALEN, 2004).

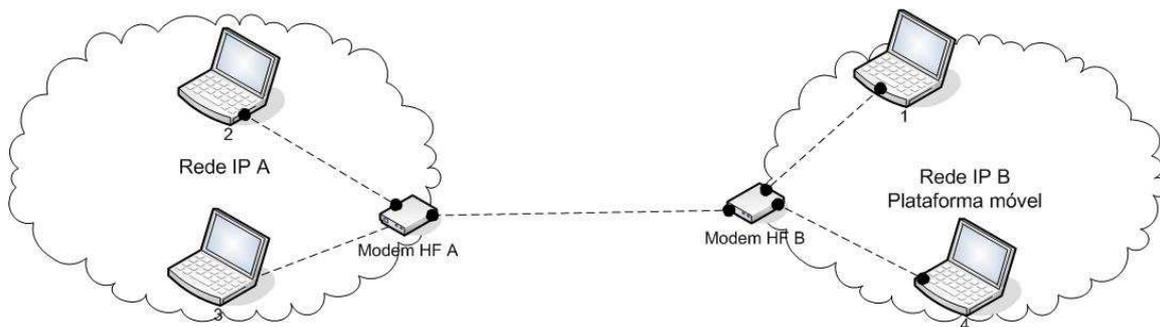


FIG. 10.3: Um modelo de rede IP conectada por um enlace HF

Cada nó HF A e HF B da FIG. 10.3 deve incluir funcionalidades de rádio/modem HF, os protocolos de enlace HF, uma funcionalidade opcional para criptografia e roteamento IP. Os sistemas HF 3G atualmente disponíveis tem todas estas funcionalidades embutidas, conseqüentemente, um nó HF 3G é simplesmente composto por um rádio HF dedicado que age também como um componente de uma rede do IP.

Entretanto, um nó 2G de última geração tem sua função de rede IP e seus protocolos HF funcionando em computadores separados. Neste caso o rádio HF oferece meramente um serviço da camada física que transfere um fluxo de bits digital ou um sinal analógico de um nó para outro.

O cenário apresentado para a interligação de redes táticas é uma das situações em que os escalonadores multi-critério propostos no Capítulo 5 podem ser empregados, de forma a realizar o atendimento dos fluxos de mensagens militares de acordo com o valor intrínseco da informação transportada.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)