

Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

**Henrique Ajuz Holzmann
(Organizador)**

Henrique Ajuz Holzmann

(Organizador)

Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
T255	Técnicas de processamento de sinais e telecomunicações [recurso eletrônico] / Organizador Henrique Ajuz Holzmann. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-449-8 DOI 10.22533/at.ed.498190807 1. Tecnologia da informação. 2. Telecomunicações. I. Holzmann, Henrique Ajuz. CDD 338.47
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra Técnicas de Processamento de Sinais e Telecomunicações está organizada de maneira a atender a temas atuais sobre a área de telecom e processamento de sinais de maneira sucinta e otimizada, sendo dividido em 17 capítulos sequenciais.

A transmissão de dados juntamente com suas vertentes representa um dos principais pilares para o progresso econômico de uma nação e para o atendimento de inúmeras necessidades da humanidade, estando presente nos mais diversos setores. Desenvolve-la de maneira eficiente é uma busca constante de grandes empresas e pesquisadores, buscando otimizar e agilizar o processo de troca de informações.

Produzir conhecimento nestas áreas é de extrema importância, a fim de gerar desenvolvimento e ampliar possibilidades nos mais diversos campos. Desta forma um compendio de temas e abordagens que facilitam as relações entre temas referentes a comunicação e processamento de sinais em diferentes níveis de profundidade em pesquisas, envolvendo aspectos técnicos, científicos e humanos é trazido nesta obra.

Boa leitura!

Henrique Ajuz Holzmann

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ANTENA DE MICROFITA RETANGULAR PARA APLICAÇÃO EM 2,5 GHZ UTILIZANDO SUBSTRATO METAMATERIAL	
Almir Souza e Silva Neto Bruno Pontes Alves da Silva Matheus Mesquita Correa Humberto César Chaves Fernandes Ronilson Mendes Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.4981908071	
CAPÍTULO 2	7
BANDWIDTH ENHANCEMENT OF AN ULTRA WIDE BAND PLANAR INVERTED F-ANTENNA	
Pedro Paulo Ferreira do Nascimento Glauco Fontgalland Raymundo de Amorim Júnior Tagleorge Marques Silveira Rodrigo César Fonseca da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908072	
CAPÍTULO 3	14
COMPORTAMENTO DE MODELOS DE DIFRAÇÃO SOBRE MÚLTIPLOS GUMES DE FACA EM VHF E UHF	
Lorenço Santos Vasconcelos Gilberto Arantes Carrijo	
DOI 10.22533/at.ed.4981908073	
CAPÍTULO 4	27
ON-CHIP KOCH FRACTAL ANTENNA ARRAY FOR 60 GHZ ISM BAND APPLICATION	
Paulo Fernandes da Silva Júnior Ewaldo Eder Carvalho Santana Mauro Sérgio Pinto Filho Almir Souza e Silva Neto Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Paulo Henrique da Fonseca Silva Alexandre Jean René Serres Raimundo Carlos Silvério Freire	
DOI 10.22533/at.ed.4981908074	
CAPÍTULO 5	36
PROJETO E ANÁLISE DE UM ARRANJO LINEAR DE ANTENAS UTILIZANDO A CURVA FRACTAL DE KOCH	
Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Pedro Carlos de Assis Júnior Marcelo da Silva Vieira Rodrigo César Fonseca da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908075	

CAPÍTULO 6	48
FINDING REPEATER PLACEMENT FOR P2P WIRELESS LINKS WITH NLOS IN EXTREMELY MOUNTAINOUS REGIONS	
Alvaro Javier Ortega	
DOI 10.22533/at.ed.4981908076	
CAPÍTULO 7	60
NOVA ARQUITETURA DE DEMODULADOR $\pi/3$ -BPSK PARA OS SATÉLITES DO SISTEMA BRASILEIRO DE COLETA DE DADOS	
Flavia Vasconcelos Maia	
Antonio Macilio Pereira de Lucena	
Francisco de Assis Tavares Ferreira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4981908077	
CAPÍTULO 8	73
PROPOSTA DE UM NOVO ALGORITMO QOS-AWARE PARA O ESCALONAMENTO <i>DOWNLINK</i> LTE-A EM CENÁRIOS DE TRÁFEGO MISTO: UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO	
Júnio Moreira	
Éderson Rosa da Silva	
Paulo Roberto Guardieiro	
DOI 10.22533/at.ed.4981908078	
CAPÍTULO 9	85
SERVIÇO DE L2VPN EM REDES DE <i>BACKBONE</i> IP: ESTUDO DE CASO DA REDECOMEP-RIO	
Pedro Henrique Diniz da Silva	
Natália Castro Fernandes	
Nilton Alves Jr.	
Márcio Portes de Albuquerque	
DOI 10.22533/at.ed.4981908079	
CAPÍTULO 10	101
SISTEMA DISTRIBUÍDO PARA DETECÇÃO DE AMEAÇAS EM REDES UTILIZANDO <i>DEEP LEARNING</i>	
Fábio César Schuartz	
Mauro Sérgio Pereira Fonseca	
Anelise Munaretto	
DOI 10.22533/at.ed.49819080710	
CAPÍTULO 11	113
UM MÓDULO DE DEFESA PARA ATAQUES DDOS NA CAMADA DE APLICAÇÃO USANDO ESTRATÉGIAS SELETIVAS	
Túlio Albuquerque Pascoal	
João Henrique Gonçalves Corrêa	
Vivek Nigam	
Iguatemi Eduardo da Fonseca	
DOI 10.22533/at.ed.49819080711	

CAPÍTULO 12	125
AN EMPIRICAL RATE BALANCED ALIEN XTALK MITIGATION METHOD FOR G.FAST SYSTEMS	
Diego de Azevedo Gomes	
Cláudio de Castro Coutinho Filho	
João Victor Costa Carmona	
Evaldo Gonçalves Pelaes	
DOI 10.22533/at.ed.49819080712	
CAPÍTULO 13	135
REPRESENTAÇÃO ESPARSA UTILIZANDO WAVELETS E VARIAÇÃO TOTAL APLICADOS AO PROCESSAMENTO DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS	
Paulo Vitor do Carmo Batista	
Hilton de Oliveira Mota	
DOI 10.22533/at.ed.49819080713	
CAPÍTULO 14	152
REDUÇÃO DE DIMENSÕES USANDO TRANSFORMADA DE KARHUNEN-LOÈVE EM SISTEMAS MIMO MASSIVO DISTRIBUÍDO COM <i>FRONTHAUL</i> LIMITADO	
Ricardo de Souza Cerqueira	
André Noll Barreto	
DOI 10.22533/at.ed.49819080714	
CAPÍTULO 15	167
WSN COVERAGE IMPROVEMENT WITH ROF IN BUS TOPOLOGY FOR SMART CITIES	
Raphael Montali da Assumpção	
Indayara Bertoldi Martins	
Frank Herman Behrens	
Omar Carvalho Branquinho	
Fabiano Fruett	
DOI 10.22533/at.ed.49819080715	
CAPÍTULO 16	179
MODELO ELETROMAGNÉTICO DE UM ARRANJO PLANAR DE NANODIPOLOS SOBRE PLANO DE OURO ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE GREEN 3D	
André Felipe Souza da Cruz	
Nadson Welkson Pereira de Souza	
Karlo Queiroz da Costa	
DOI 10.22533/at.ed.49819080716	
CAPÍTULO 17	194
AVALIAÇÃO DE FADIGA MUSCULAR LOCALIZADA EM SINAIS ELETROMIOGRÁFICOS UTILIZANDO TAXA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL NO TEMPO	
Jean Kevyn Correia Pessoa	
Pedro Henrique Melgaço de Oliveira Martins	
Thiago Raposo Milhomem de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.49819080717	
SOBRE O ORGANIZADOR	207

PROPOSTA DE UM NOVO ALGORITMO QoS-AWARE PARA O ESCALONAMENTO *DOWNLINK* LTE-A EM CENÁRIOS DE TRÁFEGO MISTO: UMA COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO

Júnio Moreira

Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM) –
Campus Patrocínio

Patrocínio – Minas Gerais

Éderson Rosa da Silva

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Uberlândia – Minas Gerais

Paulo Roberto Guardieiro

Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Uberlândia – Minas Gerais

RESUMO: As aplicações de vídeo são responsáveis pela maior parte do tráfego nas redes móveis celulares. Em vista disso, propõe-se neste artigo um algoritmo *QoS-aware* para o escalonamento *downlink* LTE-A, denominado de “*enhanced-PSS*” (e-PSS), desenvolvido a partir do algoritmo PSS com o objetivo de melhor atender aos requisitos de QoS das aplicações de videoconferência. Esta proposta surgiu a partir de um estudo comparativo de desempenho entre diversos algoritmos de escalonamento. A avaliação de desempenho do algoritmo proposto foi realizada por meio de modelagem e simulação. Os resultados das simulações demonstraram que o escalonador proposto pode alcançar um melhor desempenho em termos de *throughput*, atraso médio, perdas de pacotes e justiça, atendendo aos requisitos das aplicações de videoconferência.

PALAVRAS-CHAVE: *QoS-aware*, Escalonamento, *Downlink*, LTEA, Videoconferência.

ABSTRACT: Video applications account for most of the traffic on mobile cellular networks. In this paper, we propose a QoS-aware algorithm for the LTE-A downlink scheduling, known as “enhanced PSS” (e-PSS), developed from the PSS algorithm with the goal of better meeting the QoS requirements of videoconference applications. This proposal arose from a comparative performance study among several scheduling algorithms. The performance evaluation of the proposed algorithm was performed through modeling and simulation. The results of the simulations demonstrated that the proposed scheduler can achieve better performance in terms of throughput, average delay, packet loss and fairness, meeting the requirements of videoconference applications.

KEYWORDS: QoS-aware, Scheduling, Downlink, LTE-A, Videoconference.

1 | INTRODUÇÃO

Atualmente, as aplicações de vídeo nas redes móveis celulares representam a maior demanda de tráfego e espera-se que as mesmas continuem crescendo nos próximos anos. De acordo com a Cisco (2017), o volume de tráfego de vídeo deverá ser 70% dos dados

móveis em 2018, aumentando a capacidade em treze vezes, entre 2014 e 2019.

Um estudo recente apresentado pela Telecoms (2015) indica que as operadoras consideram a transmissão de conteúdo de vídeo como um dos serviços do *Long-Term Evolution* (LTE) mais lucrativos. Assim, as operadoras estão preocupadas em usar os recursos de rádio de forma eficiente para alcançar um alto desempenho do sistema e garantir uma *Quality of Service* (QoS) adequada para aplicações multimídia aos usuários. No entanto, esta tarefa torna-se mais desafiadora com o crescente número de usuários do sistema (WANG et al., 2014), e com os requisitos restritos de aplicações, como por exemplo, de videoconferência.

Para enfrentar esses desafios, o *Third Generation Partnership Project* (3GPP) introduziu as especificações do *Long-Term Evolution Advanced* (LTE-Advanced) (HOLMA e TOSKALA, 2012). A rede LTEA melhora substancialmente o *throughput* do usuário final e reduz a latência, além do provisionamento de recursos e *Quality of Experience* (QoE) aprimorados para várias aplicações de multimídia em tempo real.

Para atender aos requisitos dessas aplicações e suportar as limitações dos enlaces de radiofrequência, escalonadores adequadamente desenvolvidos são requeridos. Em vista disso, os escalonadores procuram otimizar o uso de recursos de rádio, bem como maximizar o *throughput* do sistema. No padrão LTE não é definido nenhum tipo específico de escalonador, deixando assim espaço para inovação e diferenciação.

Diversos trabalhos apresentaram propostas de escalonadores *downlink* LTE. Por exemplo, em [5], os autores apresentaram a implementação de vários escalonadores *downlink*, nomeadamente, *maximum throughput* (MT), *throughput to average* (TTAS), *blind equal throughput* (BET), *token bank fair queue* (TBFQ) e *priority set* (PSS). O estudo compara os resultados de simulação produzidos pelos escalonadores com o respectivo desempenho teórico em alguns cenários de referência. No presente trabalho propõe-se a extensão do algoritmo PSS, apresentado no trabalho em Zhou et al. (2013), visando melhor desempenho de QoS. Já no trabalho descrito em Grondalen et al. (2017), comparou-se o desempenho de vários algoritmos de escalonamento *downlink* para cenários de tráfego UDP e TCP considerando os domínios de tempo e frequência.

Outros trabalhos propuseram diferentes abordagens para atender aos requisitos de QoS. Em Wang e Hsieh (2015), os autores desenvolveram um mecanismo eficiente de gerenciamento de recursos para suportar QoS e alocar os *Resource Blocks* (RB's) *downlink* para os *User Equipments* (UEs) para fluxos de tráfego *Guaranteed Bit Rate* (GBR). Os resultados mostraram que a proposta pode reduzir a perda de pacotes e o atraso dos fluxos de tráfego GBR. No estudo de Skondras et al. (2015), um escalonador *QoS-aware* para o LTE *downlink* é proposto, com o objetivo de priorizar o tráfego em tempo real.

Com base na literatura, até onde é do conhecimento dos autores deste artigo, não foram encontrados estudos comparativos dos principais escalonadores *QoS-aware* no *downlink* LTE-A com foco na aplicação de videoconferência. Dessa forma,

as principais contribuições deste artigo são:

- i. Uma análise de desempenho de diferentes algoritmos de escalonamento do estado da arte (CQAS, PFS, PSS, e-PSS e TBFQS) da transmissão *downlink* em redes móveis *Orthogonal frequency-division multiple access* (OFDMA) para tráfego misto.
- ii. Uma proposta de um escalonador QoS-aware no *downlink* LTE-A em cenário de tráfego misto, chamado enhanced-PSS (e-PSS), a fim de obter um melhor desempenho em termos de índice de justiça, atraso médio, *Packet Loss Ratio* (PLR) e *throughput* quando comparado ao PSS.

O restante deste artigo está organizado da seguinte forma. As principais informações dos algoritmos de escalonamento de pacotes para sistemas LTE que são usados na simulação são apresentadas na Seção 2. A proposta de melhoria do escalonador PSS para e-PSS é descrita na Seção 3. A Seção 4 apresenta o ambiente de simulação. Os resultados da simulação e desempenho do escalonador proposto são analisados na Seção 5. Conclusões e sugestões de trabalhos futuros são apresentadas na Seção 6.

2 | ALGORITMOS DE ESCALONAMENTO EM REDES LTE

Apresenta-se, a seguir, os algoritmos de escalonamento *downlink* comparados neste trabalho e a Tabela I, adaptada de Grondalen et al. (2017), resume as principais características de cada algoritmo.

Escalonadores	CQAS	PFS	PSS	TBFQS
Objetivos	Maximizar eficiência espectral com controle de latência	Maximizar o equilíbrio entre eficiência espectral e justiça	Maximizar <i>throughput</i> com controle de justiça	Mecanismo <i>leaky bucket</i> e qualidade do canal
Características	Híbrido	FD ou TD	Híbrido	Híbrido
Parâmetros	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários & atrasos de pacotes HoL	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários	Capacidade atual dos RB's & <i>throughput</i> médio dos usuários	Capacidade atual dos RB's & SINR

TABELA I: Principais Características de Diferentes Algoritmos de Escalonamento

2.1 Channel and QoS Aware Scheduler (CQAS)

O escalonador CQAS proposto por Bojovic e Baldo (2014) utiliza parâmetros de QoS, tais como, atraso, perda de pacotes e taxa GBR para a definição de sua métrica. Em cada *subframe* j (2 RB's), o escalonador CQAS agrupa os usuários de acordo com

a seguinte equação:

$$i_{td}(j) = \left\lfloor \frac{d_i(j)}{g} \right\rfloor \quad (1)$$

na qual $d_i(j)$ é o atraso devido ao efeito *Head of the Line* (HoL) do usuário i no *subframe* j , e g é uma constante. Estes grupos de usuários são escalonados em ordem decrescente de acordo com o $i_{td}(j)$.

O agrupamento é usado para selecionar o fluxo com a maior urgência, ou seja, com o maior valor de atraso HoL e para garantir que o mecanismo de escalonamento considere os fluxos no domínio da frequência. Um valor baixo da variável g reduz a diversidade dos usuários e os ganhos de escalonamento, portanto, privilegia o $d_i(j)$ dos usuários. Por outro lado, um valor alto da variável g aumenta a diversidade dos usuários e os ganhos de escalonamento, porém o $d_i(j)$ possui um impacto menor nas decisões de escalonamento (BOJOVIC e Baldo, 2014). Os UEs em cada grupo são atribuídos aos *Resource Block Group* (RBGs) nesse *subframe*. Assim, para cada i -ésimo RBG, os UEs são ordenados conforme uma segunda métrica, definida como:

$$i_{fd,CQA}(j, l) = d_i(j) \cdot \frac{GBR_i}{\zeta_j(j)} i_{ca}(j, l) \quad (2)$$

em que GBR_i é a taxa de bits que a rede deve suportar para o usuário i , a variável $\zeta_j(j)$ representa o *throughput* médio, enquanto que $i_{ca}(j, l)$ leva em conta o RBG alocado para o i -ésimo usuário, sendo calculada como:

$$i_{ca,PF}(j, l) = \frac{r_i(j, l)}{\zeta_j(j)} \quad (3)$$

na qual $r_i(j, l)$ é a taxa de dados em que a EnodeB pode transmitir para o usuário i no i -ésimo RBG do *subframe* j .

2.2 Proportional Fair Scheduler (PFS)

O PFS tenta encontrar um equilíbrio entre eficiência espectral e justiça, ajustando o índice de escalonamento de acordo com a qualidade instantânea de canal (CAPOZZI et al., 2013), em relação ao seu desempenho ao longo do tempo. A métrica de escalonamento do PFS é, portanto, dada por:

$$i_{pfs}(j) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} \left(\frac{r_i(j)}{\zeta_i(j)} \right). \quad (4)$$

O objetivo é utilizar o *throughput* médio $\zeta_i(j)$ para atuar como um fator de ponderação da taxa de dados $r_i(j)$, para que os usuários em condição de qualidade baixa de canal sejam atendidos dentro de um determinado período de tempo.

2.3 Priority Set Scheduler (PSS)

O PSS é um escalonador *QoS-aware* que combina operações de escalonamento no domínio do tempo (TD) e domínio da frequência (FD). De acordo com Monghal et al. (2008), no primeiro estágio, o PSS extrai N_{max} usuários para serem servidos no segundo estágio, de acordo com a abordagem FD. Para cada *subframe* j , o escalonador divide os usuários em dois grupos, baseado em seu *throughput* médio $\zeta_i(j)$, se o valor for menor (grupo 1), ou se o valor for maior (grupo 2) do que o *target bit rate* (TBR). Os UEs do grupo 1, tem prioridade sobre o grupo 2. Os usuários N_{max} com maior prioridade são selecionados para o segundo estágio. Assim, os i -ésimos RBGs no *subframe* j são atribuídos para o UE i com a máxima métrica do escalonador *Proportional Fair* (PFS), ou seja:

$$i_{pss}(j, l) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} \left(\frac{r_i(j, l)}{\zeta_{sch,i}(j)} \right). \quad (5)$$

na qual $\zeta_{sch,i}(j)$ considera o *throughput* médio do passado para o EU i , ao contrário de $r_i(j, l)$, ao qual é atualizado apenas quando o UE é realmente escalonado.

2.4 Token Bank Fair Queue (TBFQS)

OTBFQS é um escalonador *QoS-aware* que combina operações de escalonamento no domínio do tempo (TD) e domínio da frequência (FD). O escalonador sempre seleciona o UE com a métrica mais alta e aloca o RBG com o maior *Channel Quality Indicator* (CQI) de sub-banda até que não haja nenhum pacote dentro do *buffer Radio Link Control* (RLC) do UE ou todos os RBGs sejam alocados (BOKHARI et al., 2008). No TD-TBFQ, depois de selecionar o UE com a métrica máxima, ele aloca todos os RBGs para este UE usando o CQI. O TBFQS é baseado no mecanismo de *leaky bucket* que controla os fluxos para um determinado perfil de tráfego. Cada fluxo k é caracterizado pelos seguintes parâmetros:

- Λ_k : Taxa de chegada de pacotes
- r_k : Taxa de geração de *token*
- p_k : Tamanho do *pool token*
- e_k : Contador do número de *tokens* pelo fluxo k

A alocação é baseada na SINR máxima, que é utilizada para selecionar o usuário:

$$i_{TBFQS}(j) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} (Y_{ij}(t_j)). \quad (6)$$

na qual $Y_{ij}(t_j)$ é a SINR do usuário i selecionado no *subframe* j . Este é um algoritmo oportunista, o que significa que a política *Adaptive Modulation and Coding* (AMC) explora ao máximo a diversidade multiusuário em uma célula com intervalo de tempo em que apenas um usuário é escalonado.

3 | PROPOSTA DE MELHORIA DO ALGORITMO QoS-AWARE (PSS): ENHANCED PRIORITY SET SCHEDULER (E-PSS)

Neste trabalho, o objetivo é priorizar o tráfego de videoconferência, que é uma aplicação multimídia em tempo real com requisitos de QoS.

Como algoritmo de escalonamento base para a proposta apresentada no presente trabalho, escolheu-se o PSS devido a três de suas características, que são: simplicidade, permitir operações de escalonamento nos domínios do tempo (TD) e da frequência (FD), e ser um algoritmo *QoS-aware*. Para isso, propõe-se modificar o PSS de forma a atender aos requisitos de QoS da aplicação de videoconferência em cenários de tráfego misto. Como a referida aplicação é sensível ao atraso e requer um *throughput* mínimo, acredita-se ser importante priorizar usuários que estão há mais tempo esperando por uma transmissão. Nesse sentido, a opção escolhida para melhorar o desempenho do PSS foi alterar a sua métrica derivada da Equação 5, visando manter suas características básicas. Este novo algoritmo de escalonamento foi denominado de «*enhanced-PSS*» (e-PSS), cuja métrica é apresentada a seguir:

$$i_{e-PSS}(j, l) = \arg \max_{1 \leq i \leq N} d_i(j) \cdot \left(\frac{r_i(j, l)}{\zeta_{sch,i}(j)} \right). \quad (7)$$

Neste caso, $i_{e-PSS}(j, l)$ atua diminuindo o atraso na rede de acesso LTE, levando em conta o atraso HoL sofrido pelos pacotes.

4 | AMBIENTE DE SIMULAÇÃO

Para avaliar o desempenho do e-PSS, um ambiente de simulação no NS-3.28 (NS3, 2017) foi modelado com *software* do projeto LENA (LENA, 2018). A Tabela II apresenta os principais parâmetros de simulação, os quais são baseados no trabalho descrito em Mata e Guardieiro (2017).

Modelo de antena da EnodeB	Modelo de antena isotrópico
Potência EnodeB TX	46 dBm
Potência UE TX	23 dBm

Largura de banda	25 RB's (5MHz)
Esquema AMC	PiroEW2010 (PIRO et al., 2010)
Modo RLC	UM (tamanho do buffer: 10 MB)
Modelo perda de percurso	COST 231
Modelo perda de desvanecimento	Pedestrian EPA model 3 km/h
Modelo de mobilidade do usuário	Steady state random waypoint
	Velocidade Min.: 0,8 m/s
	Velocidade Max.: 0,83 m/s
	Pausa Min.: 0s / Pausa Max.: 0,1s
	Retângulo: 500m x 500m
Tempo simulado	30 segundos
Sequência de vídeo	akiyo (300 frames)
Resolução do vídeo	QCIF (176 x 144)
Informação de vídeo	Taxa de Bits: 128 kbps
	Taxa do Frame: 25 fps
	Grupo de imagens: 30
	MTU: 1460 Bytes
	Encoder: ffmpeg
Distribuição de tráfego	[Background:VoIP:Video]
	[0,20:0,40:0,40]
Rodadas de simulação	30
Intervalo de confiança	95%

TABELA II: Parâmetros de Simulação

O modelo utilizado considera o tráfego de videoconferência compartilhando os recursos de rede com um tráfego de *background*, do tipo VoIP e transferência de arquivos. Considera-se um cenário de célula única, com um conjunto de UEs conectados a uma EnodeB. Esses UEs foram distribuídos aleatoriamente em uma área quadrada de 500 m² ao redor da EnodeB. A modelagem do enlace de radiofrequência segue o COST 231 [9] para perdas de percurso e Pedestrian EPA model 3 km/h para perdas de desvanecimento. Os usuários movem-se dentro da área de cobertura de acordo com o modelo *Steady State Random Waypoint* (NAVIDI e CAMP, 2004).

Para a modelagem do tráfego de vídeo gerado, utilizou-se a sequência de vídeo *akiyo* através do *framework* Evalvid (EVALVID, 2018). Essa sequência apresenta características típicas das videoconferências e parâmetros de simulação próximos aos usados em um sistema real. A sequência de vídeo *akiyo* tem duração de 12 segundos e o tempo simulado é ajustado para 30 segundos. Os resultados de simulação são baseados em médias obtidas a partir de 30 rodadas e intervalo de confiança de 95% foram incluídos.

5 | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para O desempenho do algoritmo de escalonamento proposto (e-PSS) foi

comparado com o desempenho dos seguintes algoritmos: CQAS, PFS, PSS e TBFQS. As métricas de desempenho utilizadas para a análise foram: índice de justiça, atraso médio, PLR e *throughput*.

5.1 Índice de Justiça

A Figura 1 apresenta o índice de justiça em relação ao número de usuários na rede.

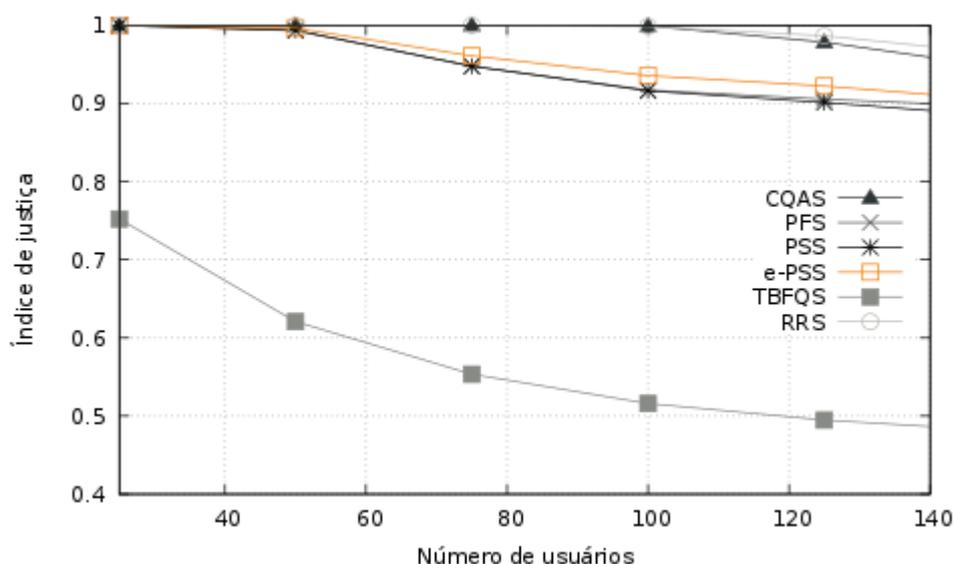


Figura 1: Índice de justiça para usuários no cenário de tráfego misto.

Com exceção do TBFQS, que possui o menor índice de justiça em relação aos demais algoritmos, o restante dos algoritmos possuem uma leve diferenciação no nível de justiça. Para fins de comparação, apresenta-se também a curva de desempenho do algoritmo *Round-robin Scheduling* (RRS) (MOHAMMAD et al., 2012). Com relação ao algoritmo proposto, e-PSS, nota-se um bom desempenho, o qual se justifica por usar técnicas baseadas no algoritmo PFS.

5.2 Taxa de Perda de Pacotes

Uma característica importante para avaliar a qualidade da transmissão de vídeo é a PLR. Os buffers de RLC nos UEs foram configurados para 10 MB para assegurar que as perdas sejam causadas pelo processo de descarte e não afetadas por sobrecargas de buffer. A Figura 2 mostra a PLR média em função do número de usuários na rede. Ao dar maiores prioridades para o tráfego de videoconferência, o algoritmo CQAS produz os melhores resultados. Com relação ao algoritmo proposto, e-PSS, observa-se que o desempenho apresentado é superior ao algoritmo PSS.

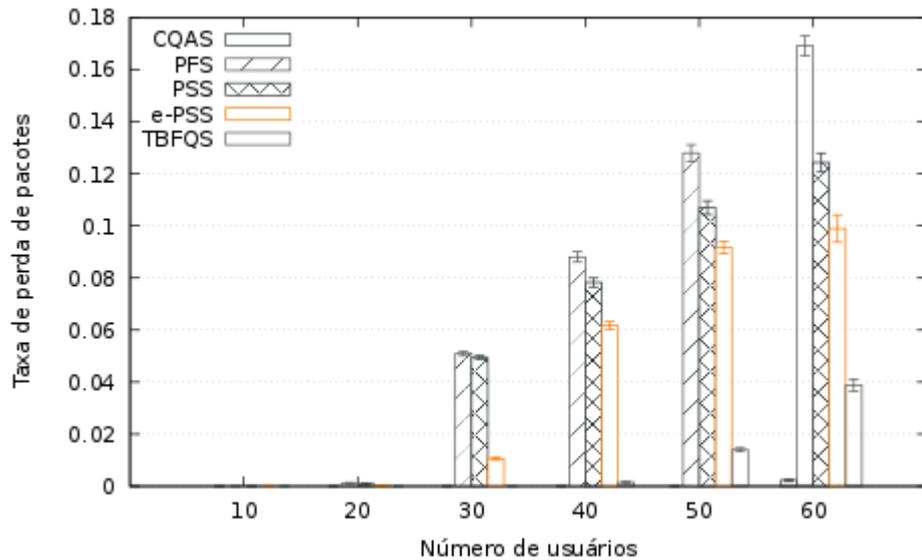


Figura 2: Taxa de perda de pacotes para usuários da aplicação de videoconferência.

5.3 Atraso Médio

A Figura 3 apresenta o atraso médio em função do número de usuários na rede para a aplicação de videoconferência. Ao dar maiores prioridades para o tráfego de videoconferência, o algoritmo CQAS produz os melhores resultados. Além disso, o algoritmo e-PSS apresenta um melhor desempenho em comparação ao PSS, o que comprova a eficácia da inserção da métrica HoL.

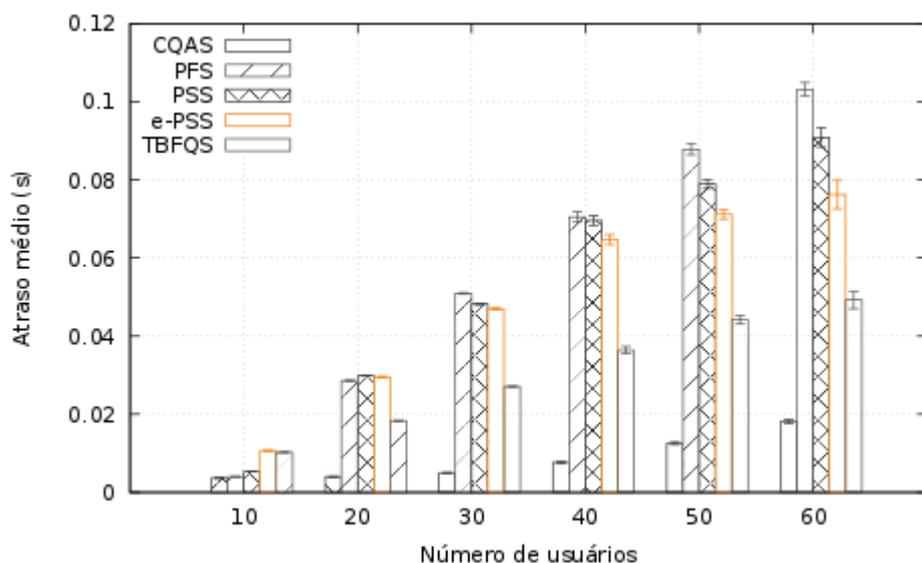


Figura 3: Atraso médio para a aplicação de videoconferência.

5.4 Throughput

A Figura 4 mostra a Cumulative Distribution Function (CDF) para o throughput por usuário para a aplicação de videoconferência, considerando 150 usuários.

O tráfego de vídeo pertence à classe GBR e, portanto, requer uma taxa de bits

mínima. A fonte de tráfego de videoconferência usada na simulação opera a 128 kbps. Portanto, o gráfico da Figura 4 mostra que somente os algoritmos TBFQS, CQAS e e-PSS atendem aos requisitos de QoS da aplicação. Além disso, conclui-se que o algoritmo proposto e-PSS apresenta desempenho superior ao algoritmo PSS.

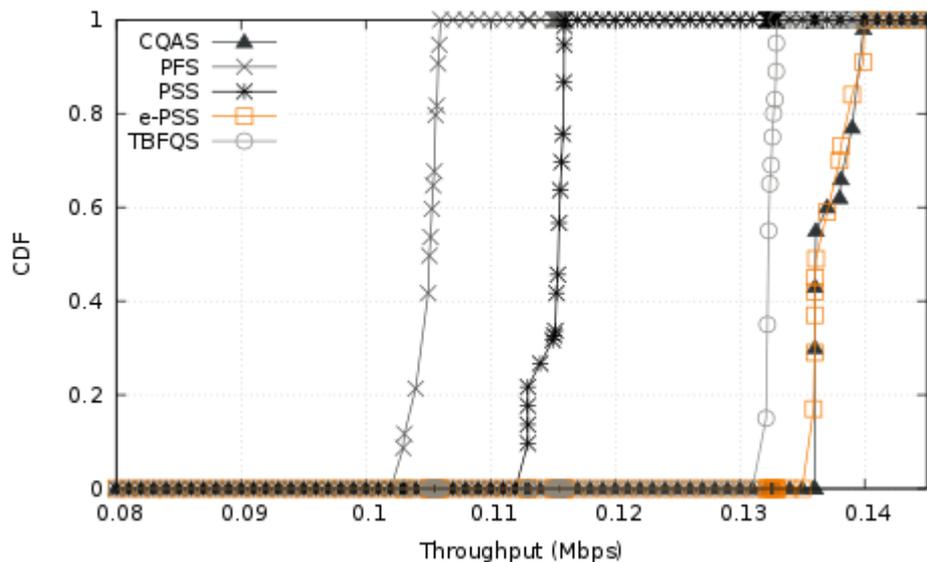


Figura 4: CDF para o Throughput por usuário para a aplicação de videoconferência, considerando 150 usuários.

6 | CONCLUSÕES

Neste artigo propõe-se uma otimização do algoritmo *QoS-aware* PSS, para o *downlink* LTE-A, visando priorizar o tráfego da aplicação de videoconferência. Para isso, considerou-se o valor do atraso HoL na definição da métrica do algoritmo proposto e-PSS.

Os resultados de simulação mostraram que o algoritmo e-PSS apresenta um desempenho superior ao algoritmo PSS. Além disso, o e-PSS atende satisfatoriamente aos requisitos de QoS da aplicação de videoconferência. Para a continuidade deste trabalho destaca-se a necessidade de um estudo aprofundado do algoritmo de escalonamento proposto em um cenário de redes heterogêneas.

7 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro fornecido através do processo TEC-APQ-03279-17.

REFERÊNCIAS

A. R. H. A. M. J. S. Mohammad T. Kawser, Hasib M. A. B. Farid and I. K. Razu, “**Performance comparison between round robin and proportional fair scheduling methods for lte,**” in International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 2, no. 5, September 2012, pp.

B. Bojovic and N. Baldo, “**A new channel and qos aware scheduler to enhance the capacity of voice over lte systems**,” in 2014 IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals Devices (SSD14), Feb 2014, pp. 1–6.

“**Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2016-2021**,” Cisco, San Jose, CA, USA, Rep., 2017. [Online]. Available: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html?tid=ossdc000283>

D. Zhou, N. Baldo, and M. Miozzo, “**Implementation and validation of lte downlink schedulers for ns-3**,” in Proceedings of the 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques, ser. SimuTools '13. ICST, Brussels, Belgium, Belgium: ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), 2013, pp. 211–218. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2512734.2512763>

(2018) **EvalVid Framework**. [Online]. Available: <http://www.tkn.tu-berlin.de/menue/research/evalvid>

E. Skondras, A. Michalas, A. Sgora, and D. D. Vergados, “**A downlink scheduler supporting real time services in lte cellular networks**,” in 2015 6th International Conference on Information, Intelligence, Systems and Applications (IISA), July 2015, pp. 1–6.

F. A. Bokhari, W. K. Wong, and H. Yanikomeroglu, “**Adaptive token bank fair queuing scheduling in the downlink of 4g wireless multicarrier networks**,” in VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference, May 2008, pp. 1995–2000.

F. Capozzi, G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, “**Downlink packet scheduling in lte cellular networks: Key design issues and a survey**,” IEEE Communications Surveys Tutorials, vol. 15, no. 2, pp. 678–700, Second 2013.

G. Monghal, K. I. Pedersen, I. Z. Kovacs, and P. E. Mogensen, “**Qos oriented time and frequency domain packet schedulers for the utran long term evolution**,” in VTC Spring 2008 - IEEE Vehicular Technology Conference, May 2008, pp. 2532–2536.

G. Piro, L. A. Grieco, G. Boggia, and P. Camarda, “**A two-level scheduling algorithm for qos support in the downlink of lte cellular networks**,” in 2010 European Wireless Conference (EW), April 2010, pp. 246–253.

H. Holma and A. Toskala, **LTE Advanced: 3GPP Solution for IMTAdvanced**. New York, NY, USA: Wiley, 2012.

(2018) **LENA Module**. [Online]. Available: <http://lena.cttc.es/manual/lte.html>

(2017) **Network Simulator 3 Homepage**. [Online]. Available: <http://www.nsnam.org>

O. Grondalen, A. Zanella, K. Mahmood, M. Carpin, J. Rasool, and O. N. Osterbo, “**Scheduling policies in time and frequency domains for lte downlink channel: A performance comparison**,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 66, no. 4, pp. 3345–3360, April 2017.

S. H. da Mata and P. R. Guardieiro, “**Resource allocation for the lte uplink based on genetic algorithms in mixed traffic environments**,” Computer Communications, vol. 107, pp. 125 – 137, 2017.

“**Telecoms.com intelligence annual industry survey 2015**,” Telecoms.com, 2015. [Online]. Available: <http://telecoms.com/intelligence/telecoms-com-annual-industry-survey-2015/>

W. Navidi and T. Camp, “**Stationary Distributions for the Random Waypoint Mobility Model**,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 3, no. 1, pp. 99–108, Jan. 2004.

Y. C. Wang and S. Y. Hsieh, “**Qos-provisioning downlink resource management in 4g cellular systems**,” in 2015 International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC), Aug 2015, pp. 67–72.

Y. Wang, J. Xu, and L. Jiang, “**Challenges of system-level simulations and performance evaluation for 5g wireless networks**,” IEEE Access, vol. 2, pp. 1553–1561, 2014.

SOBRE O ORGANIZADOR

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-449-8



9 788572 474498