

## 6 Trabalhos Relacionados

Para avaliar o desempenho da arquitetura DiffServ em prover qualidade de serviços em redes IP, uma série de experimentos tem sido realizados por vários pesquisadores. Estes experimentos avaliam uma série de métricas de desempenho em uma classe AF, como número de pacotes marcados de verde, amarelo e vermelho, taxa de perda de pacotes, vazão e justiça na distribuição da largura de faixa. Estes parâmetros são avaliados em ambientes de rede heterogêneos, onde protocolos como TCP e UDP são utilizados na camada de transporte. Estes protocolos possuem características muito diferentes. O protocolo TCP é um protocolo orientado a conexão e em situações de congestionamento na rede, reage diminuindo o número de pacotes emitidos pela fonte. Diferentemente do TCP, o UDP é um protocolo não orientado a conexão e em situações de congestionamento, continua emitindo pacotes à mesma taxa, o que prejudica o fluxo de pacotes TCP.

Em uma classe estão especificados os requisitos de QoS necessários para atender as necessidades de uma determinada aplicação, por exemplo largura de faixa. Entretanto, a distribuição da largura de faixa não ocorre de forma justa devido principalmente a multiplexação de fluxos TCP com diferentes RTT (*round-trip times*), fluxos TCP com diferentes expectativas de serviço (*target rates*), e fluxos TCP na presença de fluxos insensíveis a congestionamento (não-adaptativos).

Os resultados das pesquisas descritos na seção abaixo mostram que a rede DiffServ apresenta dois tipos de problemas relacionados a justiça:

- Compartilhamento justo de largura de faixa entre fluxos em um agregado
- Compartilhamento justo do excesso de largura de faixa entre agregados

### 6.1.

#### **Compartilhamento justo de largura de faixa entre fluxos em um agregado**

Uma área de pesquisa sob estudo no contexto DiffServ é a distribuição justa de largura de faixa entre fluxos agregados que compartilham a mesma classe AF [8]. A multiplexação de fluxos TCP e UDP produzem uma distribuição injusta da largura de faixa disponível. Para solucionar este problema, vários pesquisadores realizaram uma série de experimentos usando diferentes métodos para mapear fluxos TCP e UDP de uma mesma classe AF a diferentes níveis de precedência de descarte. Embora, este mapeamento diferenciado possa proteger fluxos TCP dos fluxos UDP, os resultados não apresentam um nível apropriado de justiça.

Em [16], os autores apresentam um condicionador de tráfego capaz de distribuir de forma justa a largura de faixa contratada. O algoritmo proposto chamado de FairTC (*Fair Traffic Conditioner*), usa o marcador trTCM e o algoritmo FRED. O algoritmo FRED controla a distribuição de fichas dos baldes de fichas do trTCM. Nesta implementação, os fluxos só terão pacotes enviados para o balde de ficha se estiverem respeitando a ocupação da fila imposta pelo algoritmo FRED descrito na seção 4.2.4.3, caso contrário os pacotes serão marcados de vermelho, isso ajuda a distribuir de forma mais justa a largura de faixa. Os resultados das simulações realizadas em [16] mostram que FairTC quando combinado com o gerenciamento ativo de *buffer* FRED na borda de um domínio Diffserv, é capaz de garantir aos clientes de rede a taxa contratada e de distribuir de forma mais justa a largura de faixa excedente. Entretanto, este esquema requer a computação de fluxos ativos no marcador, é complexo de implementar, e deve ser avaliado em condições mais realísticas, ou seja, ter o desempenho avaliado em redes subdimensionadas e superdimensionadas, usando fluxos TCP de longa e curta duração.

Em [18] os autores analisam o comportamento e avaliam o desempenho de uma implementação do marcador de tráfego justo, chamado *Fair Marker* (FM), como proposto em [11]. Nesta implementação, este marcador faz uso do algoritmo FRED, explorando a dualidade entre o enfileiramento de pacotes e o consumo de fichas em um balde. O objetivo desse marcador é garantir a justiça entre fluxos diferentes de um mesmo assinante em um domínio de Serviços Diferenciados. Os resultados obtidos mostram que essa implementação proporciona justiça no compartilhamento da largura de faixa assegurada entre

fluxos de tráfego de diferentes características, desde que seja feito um ajuste correto dos parâmetros do algoritmo FRED. Além disso, são estabelecidos critérios bem definidos para orientar esse ajuste. No que se refere ao compartilhamento da largura de faixa excedente, o FM se mostra incapaz de assegurar justiça na medida em que nenhum tratamento diferenciado é aplicado sobre dos pacotes que são marcados como fora do perfil (*out of profile*). Para resolver esta limitação, os autores do artigo propõem um novo algoritmo chamado de TCFM (*Three Color Fair Marker*). A diferença entre o FM e o TCFM é a implementação de mais um balde de fichas, com isso o TCFM proporciona melhoras significantes na alocação da largura de faixa excedente.

Em [19], os autores propõem um marcador probabilístico denominado PAM que garante justiça entre diferentes fluxos pertencentes a um mesmo agregado, sem manter estado por fluxo. O PAM (*Probabilistic Aggregate Marking*) verifica o tamanho médio do balde de fichas a cada chegada de um novo pacote. Se o balde de fichas estiver abaixo de certo limite, *minth*, todos os pacotes serão marcados como OUT. Se o tamanho do balde de fichas estiver entre *minth* e *maxth*, os pacotes serão marcados como OUT com base em uma função de probabilidade que depende do tamanho do balde de fichas naquele instante. Se o tamanho do balde de fichas exceder *maxth*, os pacotes serão marcados como IN. O princípio de funcionamento deste mecanismo de marcação é similar ao RED. Nas simulações o marcador PAM foi comparado com o TB e o TSW2CM, de acordo com os resultados o marcador proposto distribui de maneira mais justa a largura de faixa contratada quando tráfegos TCP e UDP são misturados. Inesperadamente em alguns cenários o marcador TB apresenta desempenho melhor do que o PAM e o TSW2CM.

Lin, Zheng and Hou [21] propõem uma versão melhorada do marcador TSW, chamada de *Enhanced TSW* (ETSW). Os autores também apresentaram duas versões do algoritmo RIO. Os resultados das simulações mostraram que a combinação de melhorias aplicadas ao TSW e ao RIO, proporcionam melhorias em relação à justiça e vazão para tráfegos com diferentes necessidades de largura de faixa, diferentes *RTTs* e ambiente com tráfego UDP coexistindo com TCP. Entretanto, a solução proposta pode não ser escalável devido a necessidade de manter informações de estado nos roteadores de núcleo da rede.

Ibanez and Nichols [14] usaram como base o artigo [32], e através de simulações mostraram que os parâmetros RTT, taxa desejada e interações entre

TCP e UDP são fatores chaves na alocação de largura de faixa para os fluxos que obtiveram um serviço garantido usando um esquema tipo RIO.

Em [22] os autores propõem o marcador *Equation-Based Marking* (EBM). O EBM resolve os problemas de injustiça, associados a outros esquemas de marcação, através da utilização de um modelo de *feedback* compacto baseado no modelo TCP que foi utilizado em [23]. A forma de trabalho do EBM é similar ao TCP, que ajusta a taxa de envio através da observação do nível de congestionamento na rede definido pela perda de pacotes. Neste artigo, o EBM é comparado a vários mecanismos de marcação como o TSW, ETSW. Os resultados mostram que o EBM equaliza a vazão entre diferentes fluxos TCP enquanto satisfaz os requerimentos de CIR sob duas condições, quando os outros esquemas de marcação não podem nem alcançar CIR (rede com carga muito pesada) e valores de RTTs grandes. Os resultados das simulações mostram que o esquema de marcação EBM resolve os problemas associados aos outros esquemas de marcação em relação à justiça entre fluxos TCP heterogêneos. A desvantagem dessa implementação é a complexidade do algoritmo de marcação.

## 6.2.

### Compartilhamento justo do excesso de largura de faixa entre agregados

Para suavizar a injustiça no compartilhamento da largura de faixa excedente entre agregados, Su e Atiquzzaman [26] propuseram um novo algoritmo de marcação chamado *ItswTCM* (*Improved Time Sliding Window based Three Color Marker*), que utiliza o algoritmo de estimação de tráfego TSW descrito no capítulo 3. A idéia básica desse algoritmo é fazer com que a marcação dos pacotes amarelos seja proporcional a CIR. Neste esquema proposto, se  $avg\_rate < CIR$ , sendo  $avg\_rate$  a taxa média estimada pelo algoritmo TSW, todos os pacotes são marcados de verde, isso ajuda a garantir a taxa de serviço contratado. Quando  $CIR < avg\_rate < c * CIR$ , ( $c$  é uma constante usada no programa configurada com o valor 2), todos os pacotes são marcados de amarelo. Quando  $avg\_rate > c * CIR$ , os pacotes são marcados de amarelo

com probabilidade  $P = \left( \frac{c * CIR}{avg\_rate} \right)^2$ , e com probabilidade  $(1 - P)$  os pacotes

são marcados de vermelho. O algoritmo 6.1 descreve o algoritmo proposto.

**Algoritmo 6.1: Algoritmo de marcação ItswTCM**


---

$avg\_rate$  = taxa média estimada

$c=2$

Se ( $avg\_rate \leq CIR$ )

o pacote é marcado de verde;

Senão se ( $avg\_rate \leq c * CIR$ );

o pacote é marcado de amarelo;

Senão

$$\text{calcule } P = \left( \frac{c * CIR}{avg\_rate} \right)^2$$

com probabilidade  $P$  o pacote é marcado de amarelo;

com probabilidade  $(1-P)$  o pacote é marcado de vermelho;

---

Como pode ser observado, a probabilidade de marcação dos pacotes de amarelo é proporcional a taxa de serviço contratada  $CIR$ , segundo os autores, esse fator é crucial para se atingir um compartilhamento proporcional mais justo da largura de faixa excedente. O termo ao quadrado utilizado no cálculo da probabilidade pune as fontes que excederem o dobro da taxa  $CIR$ . Quanto maior for a taxa média maior será a probabilidade do pacote ser marcado de vermelho.

No algoritmo *ItswTCM* nenhum pacote é marcado de verde quando a taxa  $CIR$  é excedida. Nos esquemas de marcação apresentados anteriormente baseados em estimativa de taxa média, como o *tswTCM* e o *TSW2CM*, uma parte do tráfego é marcada de verde mesmo quando a taxa  $CIR$  é excedida. Entretanto, quando a taxa média é superior a  $CIR$  significa que a fonte está emitindo uma quantidade de tráfego superior ao contratado, e nesse caso tanto faz se os pacotes são marcados de verde ou amarelo. A implementação do *ItswTCM* tende a melhorar a justiça entre agregados na medida que:

- Se as fontes excederem a taxa contratada  $CIR$ , todo o tráfego será marcado de amarelo ou vermelho.
- Protege o tráfego TCP do UDP. Todo o tráfego UDP que exceder a taxa contratada será marcado de amarelo, com isso os pacotes UDP terão uma probabilidade de descarte maior em caso de congestionamento.

Em [26] o marcador proposto *ItswTCM* é comparado aos marcadores *srTCM*, *trTCM* e *tswTCM*. Os resultados mostram que o *ItswTCM* é melhor do que os outros marcadores para uma faixa de utilização da rede variando de baixo a médio (ocupação do enlace entre 20% e 70%). Segundo Su e Atiquzzaman, o compartilhamento justo da largura de faixa excedente é atingido através da marcação do tráfego amarelo ser proporcional a CIR. Entretanto, este artigo não investiga o comportamento dos marcadores quando fluxos agregados heterogêneos são misturados em um enlace de gargalo.

### 6.3. Marcador proposto

De modo a melhorar a justiça na alocação da largura de faixa excedente, é proposto neste trabalho uma alteração no algoritmo *ItswTCM* chamado *EltswTCM* (*Enhanced ItswTCM*). Assim como o *ItswTCM* o *EltswTCM* é um marcador de três cores que utiliza o algoritmo TSW para estimar a taxa média.

O *EltswTCM* funciona da seguinte forma. Enquanto a taxa contratada estiver abaixo da taxa CIR, ou seja,  $avg\_rate \leq CIR$ , todo o tráfego é marcado de verde. Quando  $CIR < avg\_rate \leq c * CIR$  (o parâmetro  $c$  é igual a 2), todos os pacotes serão marcados de amarelo. A diferença entre os dois algoritmos surge quando  $avg\_rate > c * CIR$ , nesta situação proponho neste trabalho uma modificação na probabilidade de marcação dos pacotes. Os pacotes deverão ser

marcados de vermelho com probabilidade  $P = \left( \frac{avg\_rate - c * CIR}{avg\_rate} \right)^2$ , e com

probabilidade  $(1 - P)$  os pacotes serão marcados de amarelo. O objetivo da alteração é aumentar a probabilidade de marcação de pacotes amarelos quando a taxa média estimada não estiver muito afastada do dobro da taxa contratada, e desta forma obter uma distribuição mais justa da largura de faixa excedente. O algoritmo 6.2 descreve a probabilidade de marcação do *EltswTCM*.

#### Algoritmo 6.2 : Algoritmo de marcação *EltswTCM*

---

*avg\_rate* = taxa média estimada

Se ( $avg\_rate \leq CIR$ )

o pacote é marcado de verde;

Senão se ( $avg\_rate \leq c * CIR$ )

o pacote é marcado de amarelo;

Senão

$$\text{calcule } P = \left( \frac{\text{avg\_rate} - c * CIR}{\text{avg\_rate}} \right)^2$$

com probabilidade P o pacote é marcado de vermelho;

com probabilidade (1-P) o pacote é marcado de amarelo;

---

Resultados preliminares mostraram uma superioridade do algoritmo proposto para uma rede com carga de utilização (ocupação do enlace) variando entre 20% e 60%. O desempenho do algoritmo *EltswTCM* será avaliado detalhadamente no capítulo 7.