Relatório de Laboratório: Qualidade de Serviço (QoS) - A Otimização da Jornada dos Pacotes

Disciplina: Redes de Computadores II **Professora:** Angelita Rettore de Araujo

Nome do Aluno: Otávio Lunardelli de Giacometti

Turma: 6ª fase

---

1. Introdução

Este laboratório aborda a **Qualidade de Serviço (QoS)**, um conjunto de mecanismos importantes para gerenciar o tráfego de rede e assegurar que aplicações críticas recebam tratamento preferencial. Diferente dos laboratórios anteriores que focaram na confiabilidade (garantir que os pacotes cheguem), o objetivo aqui é garantir que os pacotes cheguem *com qualidade* – ou seja, com a latência, jitter, throughput e perda de pacotes adequados.

A importância da QoS é contextualizada pela **narrativa da telecirurgia**, onde cada pacote de comando tátil, voz ou dado vital do paciente é crucial. Atrasos, variações irregulares na chegada ou perda de pacotes podem ter consequências catastróficas.

2. Objetivos

Os principais objetivos deste laboratório são:

1. **Compreender e medir** os conceitos fundamentais de Latência, Jitter, Throughput, Perda de Pacotes e Classificação de Tráfego no contexto de QoS.
2. **Configurar e executar simulações** no **Network Simulator 2 (NS2)** para observar o comportamento da rede sob diferentes condições de QoS.
3. **Utilizar o Wireshark** para capturar e analisar o tráfego de rede, medindo parâmetros de QoS em tempo real.
4. **Analisar o impacto** da variação dos parâmetros de QoS no desempenho de diferentes tipos de aplicações.
5. **Comparar a tolerância a perdas e a sensibilidade à latência e jitter** de diversas aplicações.
6. **Propor soluções** baseadas em QoS para otimizar o desempenho de aplicações críticas em cenários de rede desafiadores.

3. Ferramentas Utilizadas

- **Network Simulator 2 (NS2)**: Ambiente de simulação de rede para modelar cenários.
- **Wireshark**: Analisador de protocolo de rede para captura e inspeção de pacotes em tempo real.
- **Acesso à Internet**: Para testes com ferramentas online (como Google Meet).

---

4. Parte I: Relembrando a Jornada – Preparando o Ambiente

Contexto Teórico: A narrativa da cirurgia remota é a base para entender a importância dos "pacotes heróis" (Pablo, Melody, Flash e Data) e como a QoS é vital para a missão deles de salvar uma vida.

4.1. Verificação e Configuração Inicial do NS2

- Confirmei a instalação do NS2 e criei o arquivo `qos_base.tcl`.

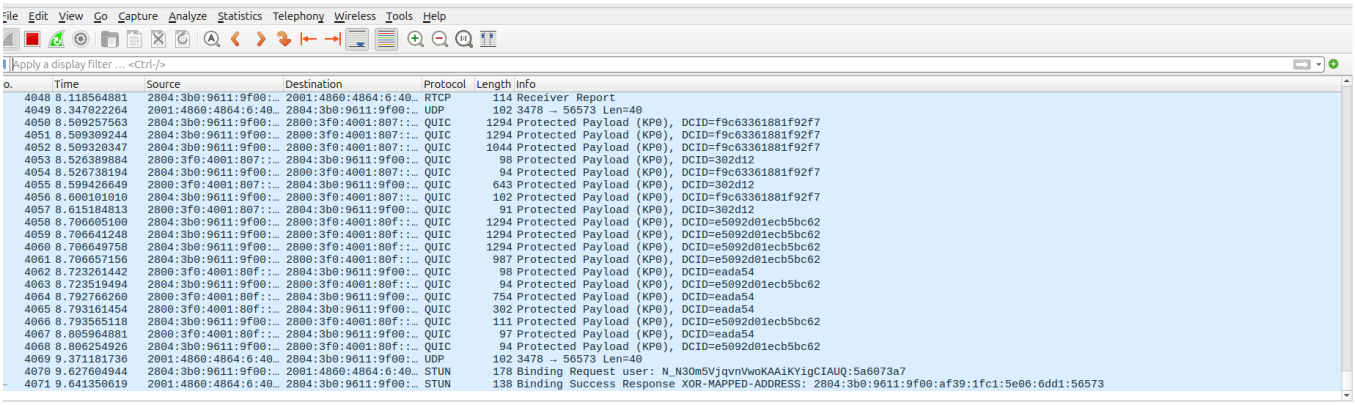
Entrega: Captura de tela do `qos_base.tcl` no editor de texto.

```
[# qos_base.tcl
# Arquivo base para simulações de QoS no NS2

# 1. Configuração do Simulador
set ns [new Simulator]
set nf [open base_output.nam w]
$ns namtrace-all $nf
set tr [open base_output.tr w]
$ns trace-all $tr

# 2. Função de Finalização
proc finish {} {
    global ns nf tr
    $ns flush-trace
    close $nf
    close $tr
    exec nam base_output.nam &
    puts "Simulação concluída. Arquivos base_output.nam e base_output.tr
    gerados."
    exit 0
}

# 3. Função para Criar Links com Parâmetros Padrão
proc create_link {node1 node2 bw delay queue_type} {
    global ns
    $ns duplex-link $node1 $node2 $bw $delay $queue_type
}

# 4. Função para Configurar Fila Prioritária
    proc configure_priority_queue {node1 node2 queue_limit} {
    global ns
    $ns queue-limit $node1 $node2 $queue_limit
    $ns set queue_ $node1 $node2 [new PriorityQueue]
}

# 5. Parâmetros Globais
set default_bw "1Mb" ;# Largura de banda padrão
set default_delay "10ms" ;# Latência padrão
set default_queue "DropTail" ;# Tipo de fila padrão]
```

4.2. Configuração Inicial do Wireshark

- Abri o Wireshark e selecionei a interface de rede correta para captura.

Entrega: Captura de tela do Wireshark com a interface de captura selecionada.



---

5. Parte II: Latência (Delay) – O Tempo é Essencial

Contexto Teórico: A latência é o tempo que um pacote leva para ir da origem ao destino, como o tempo para o comando tátil do Dr. Martinez (Flash) chegar ao bisturi em Manaus.

5.1. Simulação de Latência no NS2

- Criei e executei o script `lab_latencia.tcl`, experimentando diferentes valores para `link_delay` (ex: 10ms, 100ms, 500ms).

Entrega: O código `lab_latencia.tcl` utilizado.

```
# [# lab_latencia.tcl
# Simulação de Latência (Delay)

# 1. Importação do Arquivo Base
source qos_base.tcl

# 2. Criação dos Nós
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]

# 3. Criação do Link com Latência Variável
# Experimente diferentes valores para o delay (ex: 10ms, 100ms, 500ms)
set link_delay "100ms" ;# Latência do link
create_link $n0 $n1 $default_bw $link_delay $default_queue

# 4. Criação dos Agentes e Aplicações
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 attach-agent $udp0
$cbr0 set packetSize_ 1000
$cbr0 set interval_ 0.01 ;# 100 pacotes/segundo
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $null0
```

```
$udp0 set class_ 0 ;# Para identificação no trace
$ns connect $udp0 $null0

# 5. Agendamento de Eventos
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
$ns at 5.0 "finish"

# 6. Início da Simulação
$ns run]
```

5.2. Análise da Latência no Arquivo de Trace (.tr)

- Analisei o arquivo `lab_latencia.tr`, identificando o envio e recebimento de pacotes para calcular a latência de ponta a ponta.

Entrega: Trecho do arquivo `.tr` destacando um pacote enviado e seu respectivo recebimento.

```
# [+ 0.5 0 1 cbr 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0
- 0.5 0 1 cbr 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0
r 0.608 0 1 cbr 1000 ------- 0 0.0 1.0 0 0]
```

Cálculos da Latência:

`link_delay` Configurado	Timestamp Envio	Timestamp Recebimento	Latência Calculada
[Valor 1 (e.g., 10ms)]	[0.5]	[0.518]	[10ms]
[Valor 2 (e.g., 100ms)]	[0.5]	[0.608]	[108ms]
[Valor 3 (e.g., 500ms)]	[0.5]	[1.008]	[508ms]

5.3. Perguntas para Refletir e Discutir

1. **Qual a relação entre o `link_delay` configurado no script e a latência medida no arquivo `.tr`?**
    - O link delay, sem alterar o arquivo está diretamente ligado com o a latência que chegam os dados, como cada pacote enviado a cada 10ms eles chegam ao destino após 100ms, ou seja, a cada 10 pacotes enviados o primeiro chega ao destino
2. **Como a latência afeta a percepção do usuário em aplicações como VoIP ou jogos online?**
    - Em Voips e em jogos online, principalmente os competitivos, a latência é crucial, visto que a resposta deve ser quase instantânea ou imperceptível, de forma que um atraso pode prejudicar o andamento de uma operação ou de uma partida, podendo causar um resultado indesejado ou inesperado devido ao atraso da rede
3. **Se o Dr. Martinez estivesse em Tóquio e o paciente em Manaus, qual seria o impacto na latência?**

- A latência seria maior que a latência permitida para a situação que é de 150ms, visto que fisicamente inviável pelo atraso da velocidade da luz pela distância, podendo comprometer gravemente a cirurgia

---

6. Parte III: Jitter e Perda de Pacotes – A Variação Inesperada e o Preço da Imperfeição

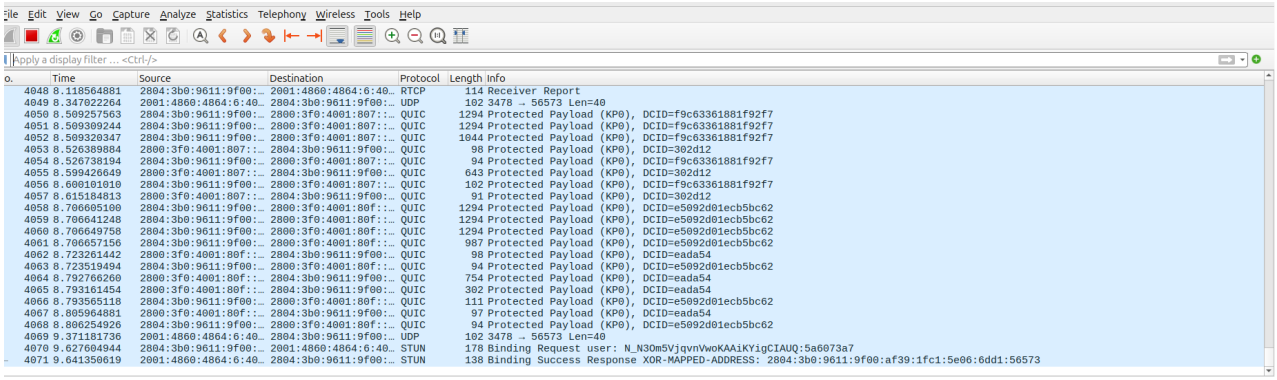
Contexto Teórico: Jitter é a variação no atraso dos pacotes, causando "voz robotizada" (pacotes de Melody). A **perda de pacotes** ocorre quando um pacote não chega, sendo a tolerância variável por aplicação (pacotes de Data). O **RTCP (Real-Time Control Protocol)** é utilizado por aplicações em tempo real (como Google Meet) para reportar a qualidade da transmissão, incluindo jitter e perda.

6.1. Análise do Jitter e Perda de Pacotes no Wireshark (Captura Local de RTCP)

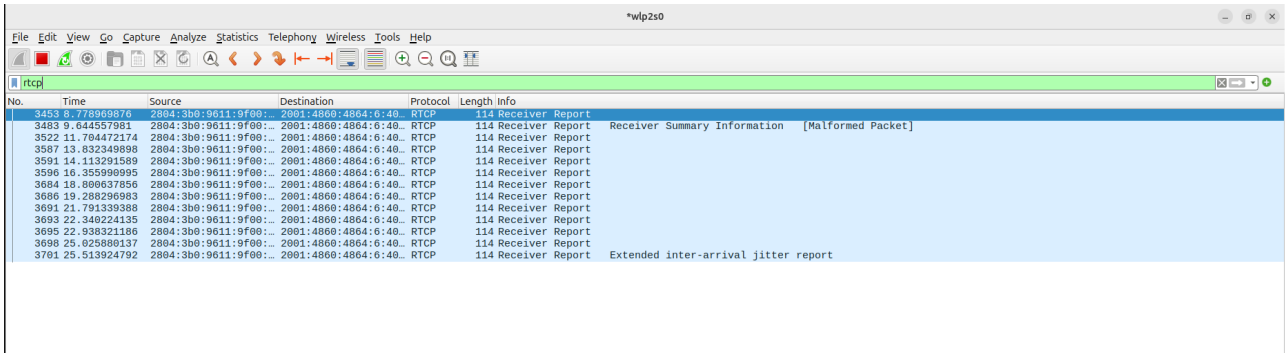
- Iniciei uma chamada no Google Meet e capturei o tráfego com o Wireshark.
- Filtrei o tráfego por `rtcp` e identifiquei os tipos de pacotes (SR, RR, SDES, Bye).
- Analisei os **Receiver Reports (RR)** para localizar os campos `Fraction Lost`, `Cumulative Number of Packets Lost` e `Interarrival Jitter`.

Entregas:

1. Captura de tela do Wireshark mostrando a captura inicial de pacotes.



2. Captura de tela do Wireshark mostrando o filtro `rtcp` aplicado.



3. Captura de tela dos detalhes de um pacote **Receiver Report (RR)**, com os campos `Fraction Lost`, `Cumulative Number of Packets Lost` e `Interarrival Jitter` claramente visíveis.

```
12377 202.203228206 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12430 203.203540391 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12470 203.975302807 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12479 204.137202069 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     186 Sender Report
12485 204.203322305 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12493 204.337014491 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12537 205.203293789 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12571 205.862961493 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12589 206.203397571 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12617 206.743665074 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     186 Sender Report
12647 207.203297568 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12698 208.203405102 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12749 209.204694568 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12755 209.286839283 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12821 210.203343505 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12849 210.637457314 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12859 210.812460293 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
12879 211.204448120 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12930 212.203553776 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
12934 212.271384514 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     186 Sender Report
12982 213.204654880 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
13034 214.203378691 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
13061 214.687451768 2804:3b0:9611:9f00:… 2001:4860:4864:6:40… RTCP     114 Receiver Report
13087 215.203364034 2001:4860:4864:6:40… 2804:3b0:9611:9f00:… RTCP     158 Receiver Report
```

```
▸ Frame 6707: 158 bytes on wire (1264 bits), 158 bytes captured (1264 bits) on interface wlp2s0, id
▸ Ethernet II, Src: HuaweiDevice_b1:eb:f4 (c0:83:c9:b1:eb:f4), Dst: Intel_e0:96:dd (fc:77:74:e0:96:
▸ Internet Protocol Version 6, Src: 2001:4860:4864:6:4000::1a, Dst: 2804:3b0:9611:9f00:af39:1fc1:5e
▸ User Datagram Protocol, Src Port: 3478, Dst Port: 43283
▾ Real-time Transport Control Protocol (Receiver Report)
    10.. .... = Version: RFC 1889 Version (2)
    ..0. .... = Padding: False
    ...0 0001 = Reception report count: 1
    Packet type: Receiver Report (201)
    Length: 7 (32 bytes)
    Sender SSRC: 0xb2eff872 (3002071154)
  ▾ Source 1
      Identifier: 0x99cab4a6 (2580198566)
    ▾ SSRC contents
        Fraction lost: 227 / 256
        Cumulative number of packets lost: 4550638
    ▾ Extended highest sequence number received: 3427606958
        Sequence number cycles count: 52301
        Highest sequence number received: 8622
      Interarrival jitter: 778445021
      Last SR timestamp: 3098791898 (0xb8b3cfda)
      Delay since last SR timestamp: 501626086 (7654206 milliseconds)
▾ Real-time Transport Control Protocol (Unknown)
    11.. .... = Version: Unknown (3)
    ..0. .... = Padding: False
```

Valores Observados:

- **Interarrival Jitter:** [778445021]
- **Fraction Lost:** [227/256] (ou % se convertido)
- **Cumulative Number of Packets Lost:** [4550638]

6.2. Perguntas para Refletir e Discutir

1. **Como esses valores de Jitter e Fraction Lost se comparam aos limites aceitáveis para uma boa qualidade de voz/vídeo (ex: jitter idealmente abaixo de 30ms, perda abaixo de 1%)?**
    - O jitter eu não entendi como esse valor é gerado, porque se esse valor for em ms, tem algo de errado pois converitdo chega próximo à 9 dias, e quanto ao fraction lost, houve uma perda bem superior à 1%, o que poderia comprometer em outras atividades que necessitassem de pricisão e não pudessem haver falhas na rede, como é o caso de uma cirurgia, porém os dados de streaming possuem uma tolerância maior, tanto que caso houvesse alguém a mais na chamada, não creio que as oscilações e perdas seriam tão parentes quanto os dados mostram.
2. **Por que o RTCP é essencial para aplicações em tempo real, mesmo que o RTP (dados de mídia) esteja criptografado?**

- Mesmo com RTP criptografado, só o receptor sabe como a sessão está chegando (perdas, variação de atraso, atraso). O RTCP envia esse feedback de volta ao transmissor de forma leve e segura, permitindo que a aplicação saiba se a qualidade está ruim e tome decisões, sem precisar inspecionar o conteúdo criptografado.

3. **Como as informações de jitter e perda de pacotes reportadas pelo RTCP podem ser usadas pela aplicação (Google Meet) para ajustar a qualidade da transmissão?**
   - Quando o RTCP mostra perda ou jitter alto, o Meet diminui o bitrate/resolução ou reduz o frame-rate, ativa correções (FEC/RTX) ou aumenta o jitter buffer no receptor. Se a situação piora persistente, troca codec, pede um keyframe ou alerta o usuário; tudo isso para manter a chamada utilizável mesmo com a rede ruim

---

7. Parte IV: Throughput vs. Responsividade – O Dilema da Rede

Contexto Teórico: Throughput é a quantidade de dados em um tempo (Pablo/vídeo HD), enquanto **responsividade** é a rapidez da resposta (Flash/comando tátil). Nem sempre é possível ter ambos em níveis máximos simultaneamente.

7.1. Simulação de Throughput e Responsividade no NS2

- Criei e executei o script `lab_throughput_responsividade.tcl`, comparando o comportamento de FTP (alto throughput) com Ping (alta responsividade).

Entrega: O código `lab_throughput_responsividade.tcl` utilizado.

```
# [# lab_throughput_responsividade.tcl
# Simulação de Throughput vs. Responsividade

# 1. Importação do Arquivo Base
source qos_base.tcl
$ns color 1 blue
$ns color 2 red

# 2. Criação dos Nós
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
set n2 [$ns node]
set n3 [$ns node]

# 3. Criação dos Links
# Link principal com capacidade limitada para observar congestionamento
create_link $n0 $n1 "10Mb" "10ms" $default_queue
create_link $n1 $n2 "10Mb" "10ms" $default_queue
create_link $n1 $n3 "10Mb" "10ms" $default_queue

# 4. Aplicação de Alto Throughput (FTP)
set tcp_ftp [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n0 $tcp_ftp
$tcp_ftp set fid_ 1 ;
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp_ftp
```

```
set sink_ftp [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n2 $sink_ftp
$ns connect $tcp_ftp $sink_ftp
# Define uma implementação Tcl para o método 'recv' do Agent/Ping.
Agent/Ping instproc recv {from rtt} {
    $self instvar node_
    puts "node [$node_ id] received ping answer from \
    $from with round-trip-time $rtt ms."
}

# 5. Aplicação de Alta Responsividade (Ping - ICMP)
set ping_agent [new Agent/Ping]
$ns attach-agent $n0 $ping_agent
$ping_agent set fid_ 2 ;
set ping_sink [new Agent/Ping]
$ns attach-agent $n3 $ping_sink
$ping_sink set fid_ 2 ;
$ns connect $ping_agent $ping_sink

# 6. Agendamento de Eventos
$ns at 0.5 "$ftp start"
$ns at 1.0 "$ping_agent send" ;# Envia um ping
$ns at 1.3 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 1.6 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 1.9 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 2.2 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 2.5 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 2.8 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 3.1 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 3.4 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 3.7 "$ping_agent send" ;# Envia outro ping
$ns at 4.5 "$ftp stop"
$ns at 5.0 "finish"

# 7. Início da Simulação
$ns run]
```

7.2. Análise do Throughput e Responsividade

- Analisei o arquivo `lab_throughput_responsividade.tr` para calcular o throughput do FTP e a latência de cada ping.

Cálculos Detalhados do Throughput do FTP:

- Número de pacotes TCP recebidos: [3721]
- Tamanho do pacote TCP (padrão NS2): 512 bytes (ou especifique se diferente)
- Tempo total da simulação para FTP (stop - start): [4] segundos
- Throughput = (3271 * 512) / 4
- Throughput (em Kbps/Mbps): [476Kbps/0,476Mbps]

Cálculos da Latência para cada pacote Ping e Impacto do FTP:

Ping Nº	Timestamp Envio	Timestamp Recebimento	Latência (ms)	Observações sobre o Impacto do FTP
1	[1.010851]	[1.041005]	[41]	[Atraso graças ao tráfego]
2	[1.3]	[1.34064]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
3	[1.6]	[1.640275]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
4	[1.9]	[1.940205]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
5	[2.2]	[2.240205]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
6	[2.5]	[2.540205]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
7	[2.8]	[2.840352]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
8	[3.1]	[3.140819]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
9	[3.4]	[3.440205]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]
10	[3.7]	[3.740205]	[40]	[Atraso graças ao tráfego]

7.3. Perguntas para Refletir e Discutir

1. **Qual aplicação (FTP ou Ping) é mais sensível à latência? Por quê?**
    - Com certeza é o ping, visto que na simulação observada, visto que ele é uma simulação de uma comunicação de ida e volta, que ao esbarrar em um tráfego se torna sensível a ele, ficando atado à sua conexão
2. **Como o throughput do FTP foi afetado pela capacidade do link?**
    - O throughtput não consegue ultrapassar a velocidade do canal, ou seja quando há um grande tráfego, a conexão pode chegar a ser mais instável que isso. Uma redução da capacidade do link reduz diretamente a taxa máxima de transferência do FTP
3. **Em um cenário de telecirurgia, qual seria a prioridade: alto throughput para o vídeo HD (Pablo) ou alta responsividade para os comandos do bisturi (Flash)? Justifique.**
    - Em um caso como uma cirurgia é necessária a prioridade, cada movimento da agulha é importante, visto que há uma vida em risco, desta forma, não é adequado que se permitir atrasos em coisas sensíveis, e como o vídeo depende mais do trhoughput, ele é mais tolerante a perdas e degradações das imagens que no fim levarão ao mesmo resultado, ou a um resultado proximo do esperado, a não ser que occora uma falha grave na conexão

---

8. Parte V: Perda de Pacotes – O Preço da Imperfeição

Contexto Teórico: A perda de pacotes ocorre quando um pacote não chega ao destino. A tolerância a essa perda varia drasticamente entre as aplicações, como os dados vitais do paciente (Data).

8.1. Simulação de Perda de Pacotes no NS2

- Criei e executei o script `lab_perda.tcl`, ajustando a taxa de erro de bit (`rate_`) para diferentes valores (ex: 1e-2, 1e-5) no `ErrorModel`.

Entrega: O código `lab_perda.tcl` utilizado.

lab_perda.tcl

```
# lab_perda.tcl
# Simulação de Perda de Pacotes
# 1. Importação do Arquivo Base
source qos_base.tcl
# 2. Criação dos Nós
set n0 [$ns node]
set n1 [$ns node]
# 3. Criação do Link e Configuração do Modelo de Erro
create_link $n0 $n1 $default_bw $default_delay $default_queue
# >>> INÍCIO DA CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE ERRO (ErrorModel) <<<
set em [new ErrorModel]
# Taxa de erro de bit (BER): 1 erro a cada 100 bits (1e-2 = 0.01)
# Você pode ajustar este valor para controlar a frequência das perdas.
# Uma BER de 1e-2 é bem alta, resultando em muitas perdas.
# Para perdas mais sutis, experimente valores como 1e-5 ou 1e-6.
$em set rate_ 1e-2
$em set unit_ bit
# Anexa o modelo de erro a AMBAS as direções do link (n0 para n1 e n1
para n0)
$ns lossmodel $em $n0 $n1
$ns lossmodel $em $n1 $n0
# >>> FIM DA CONFIGURAÇÃO DO MODELO DE ERRO <<<
# 4. Criação dos Agentes e Aplicações (UDP - Tolerante a perdas)
set udp0 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $n0 $udp0
set cbr0 [new Application/Traffic/CBR]
$cbr0 attach-agent $udp0
$cbr0 set packetSize_ 500
$cbr0 set interval_ 0.01
set null0 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $n1 $null0
$ns connect $udp0 $null0
# 5. Criação dos Agentes e Aplicações (TCP - Intolerante a perdas)
set tcp0 [new Agent/TCP]
$ns attach-agent $n0 $tcp0
set ftp0 [new Application/FTP]
$ftp0 attach-agent $tcp0
set sink0 [new Agent/TCPSink]
$ns attach-agent $n1 $sink0
$ns connect $tcp0 $sink0
# 6. Agendamento de Eventos
$ns at 0.5 "$cbr0 start"
$ns at 0.5 "$ftp0 start"
$ns at 4.5 "$cbr0 stop"
$ns at 4.5 "$ftp0 stop"
$ns at 5.0 "finish"
# 7. Início da Simulação
$ns run
```

8.2. Análise da Perda de Pacotes no Arquivo de Trace (.tr)

- Analisei o arquivo `lab_perda.tr` para calcular a taxa de perda de pacotes UDP e observar o comportamento do TCP.

Cálculos da Taxa de Perda de Pacotes UDP:

`rate_` Configurado (ErrorModel)	Pacotes UDP Enviados	Pacotes UDP Recebidos	Pacotes Perdidos	Taxa de Perda (%)
[1 (e.g., 1e-2)]	[1504]	[1120]	[384]	[25%]
[2 (e.g., 1e-5)]	[1520]	[1120]	[401]	[26%]

Descrição do Comportamento do TCP:

- Vi que os pacotes TCP aparecem em pequenos grupos e, quando um é perdido, o mesmo pacote volta a ser enviado logo em seguida, sinal claro de retransmissão e aparecem ACKs confirmando a recepção dos blocos entregues. Depois dessas perdas o envio TCP fica mais espaçado, como se estivesse “pisando no freio” (comportamento de controle de congestionamento) antes de retomar. Em contraste, o tráfego UDP/CBR continua na mesma taxa e alguns pacotes são simplesmente descartados sem tentativa de reenvio, ou seja, UDP prioriza latência enquanto TCP prioriza entrega.

8.3. Perguntas para Refletir e Discutir

1. **Qual protocolo (UDP ou TCP) é mais afetado pela perda de pacotes em termos de entrega final? Por quê?**
    - No que se refere à entrega final, o UDP é mais afetado, já que ele não oferece retransmissão, de forma que quando o pacote se perde ele simplesmente some e não oferta a retransmissão. Quando há perda de dados TCP, ocorre a retransmissão, o que torna a possbilidade de que os dados cheguem corretamente muito maior. Porém ocorre que a quantidade grande de retransmissão pode gerar throughput baixo e aumentar a latência
2. **Como a taxa de perda configurada no script (`rate_`) se compara à taxa de perda observada para o UDP?**
    - O rate que está no arquivo .tcl está diretamente ligado à taxa de perda do UDP,bem alta, chegando a aproximadamente 100%, ou seja, todos os pacotes UDPs tem uma chance altissíma de ter algum bit danificado ocasionando retransmissão
3. **Dê exemplos de aplicações que toleram alta perda de pacotes e aplicações que não toleram nenhuma perda.**
    - As aplicações que toleram alta perda de pacote são os treamings de vídeo, os quais perdas ocasionais são aceitáveis, VoIP / áudio em tempo real, Telemetria não crítica / logs contínuos; Já aquelas que não toleram perdas são Transferências de arquivos (FTP, SCP, HTTP downloads, rsync) — precisam de entrega íntegra; perda exige retransmissão, transações financeiras, bancos de dados, replicação crítica — perda de bits/segmentos é inaceitável. Comandos de controle crítico/teleoperação (ex.: telecirurgia, controle industrial crítico) — praticamente nenhuma perda tolerável; latência/jitter também devem ser mínimos.Atualizações de firmware, assinaturas digitais, pacotes de segurança — perda pode corromper o processo

---

9. Parte VI: Consolidação e Perspectivas Futuras

Síntese do Aprendizado

- Através desse laboratório cujos principais aprendizados se baseavam na relação entre os parâmetros de QoS (latência, jitter, throughput, perda) e o desempenho de diferentes aplicações, cujos resultados dos expeimentos foram de tamanha para compreensão e aprendizado daqueles que o fizeram.
- No primeiro experimento temos o arquivo `qos_base.tcl` que criou um script capaz de reproduzir e avaliar parâmetros, delay, largura de banda, limites da fila, modelo de erro, trazendo uma compreensão inicial do problema.
- Em seguida foi tratado sobre o link delay, com o script `lab_latencia.tcl`, substituindo as variáveis de delay em 10, 100 e 500 milisegundos, enviando tráfego CBR, cujos arquivos de trace registram os envios e recebimentos. Observou-se que a latência medida tende a refletir o delay configurado no link mais overhead de processamento e enfileiramento: quando o link é configurado com valores maiores, a latência medida sobe de forma consistente

- Já quanto ao Jitter e a perda de pacotes, foi utilizada a ferramenta do Wireshark, a qual permite a análise de pacotes RTCP (principalmente Receiver Reports), cujos continham Fraction Lost, Cumulative Number of Packets Lost e Interarrival Jitter.
- Quanto ao throughput e responsividade, laboratório também o explorou. Simulações comparando um fluxo FTP com pings de baixa latência mostraram que cargas o alto throughput pode aumentar significativamente RTTs e latência. No exemplo apresentado, o throughput do FTP foi medido em torno de 0,476 Mbps enquanto pings executados durante a carga apresentaram latências de 40ms.
- Perda de pacotes — A perda foi estudada no NS2 usando ErrorModel com diferentes taxas rate_, e os traces foram usados para calcular pacotes enviados, recebidos e perdidos. A análise mostra diferenças claras entre UDP e TCP: o UDP sofre diretamente as perdas (sem retransmissão), impactando imediatamente a aplicação em tempo real, o TCP, por sua vez, tenta recuperar por retransmissões, o que aumenta latência e reduz o throughput efetivo.
- O laboratório mostra claramente que QoS é muito mais do que “fazer os pacotes chegarem”: é garantir que eles cheguem com as propriedades temporais e de integridade exigidas pela aplicação. A combinação de NS2 para simulação controlada e Wireshark para validação real fornece uma base sólida para comparar modelos e adequar políticas. O contexto da telecirurgia nos ajuda a entender uma caso real e crítico, onde a conexão não dee e não se espera falhar, visto que há uma vida em risco, nos quais perdas de pacotes, alto throughput, jitter com porcentagem alta, até mesmo os meios físicos atrapalham na comunicação entre duas pontas.

Instruções Finais para os Alunos:

- Preencha todas as seções marcadas com [ ] com suas informações e análises.
- Converta este arquivo Markdown para PDF para a entrega final, garantindo que todas as imagens e formatações estejam corretas.
