



Departamento de Informática
Faculdade de Ciências e Tecnologia
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Licenciatura em Engenharia Informática — Exame de Redes de Computadores
Ano lectivo: 2009-2010 — Chamada de Época Normal — (18 de Junho de 2010)
Exame sem consulta, com a duração de 3 horas, contendo 9 questões e respectivas alíneas.

Pode-se responder a lápis mas não se podem separar as folhas umas das outras
A interpretação do enunciado faz parte da avaliação
Não se podem usar calculadoras nem telemóveis durante a resolução — só uma folha de rascunho

Aluno nº _____ Nome: _____

Questão 1)

- a) Numa rede do tipo *Packet-Switched* as noções de atraso de pacotes (*packet delay*), percas de pacotes (*packet loss*) e de transmissão (*throughput*) são quantificadores importantes na análise do funcionamento da rede. No caso do atraso de transmissão de pacotes, este pode dever-se a diferentes factores. Indique os quatro diferentes factores ou tipos de atraso mais importantes que contribuem para o atraso total na transferência de pacotes extremo-a-extremo. Na sua resposta deve referir a que se deve cada um desses factores ou tipos de atraso.

Factor T1: tempo processamento

Deve-se a:

Factor T2: tempo espera na fila

Deve-se a:

Factor T3: tempo transmissão

Deve-se a:

Factor T4: tempo propagação

Deve-se a:

texto completo:

resumos Cap 1 - pag 7

- b) Considere uma rede *Packet Switched* com $N-1$ routers entre um Host origem $H1$ que envia pacotes IP a um Host Destino $H2$. Neste caso, apresente uma expressão que calcula a latência ou atraso total extremo-a-extremo de um pacote. Indique ainda o tipo de atraso que pode ser desprezado se não se verificar saturação em nenhum dos links da rede que interligam os *hosts* e os routers.

Expressão de cálculo da latência total extremo-extremo entre $H1$ e $H2$:

$$T_{total} = N(T_{fila} + T_{processamento} + T_{propagação} + T_{transmissão})$$

Factor ou tipo de atraso considerado que se pode desprezar no anterior cálculo, na ausência de saturação:

$T_{fila/output\ buffer}$

c) Dos factores e tipos de atraso que apresentou na alínea a), diga qual o que mais directamente pode contribuir para a perda de pacotes durante o encaminhamento? Justifique.

Resposta: tempo de espera na fila / output buffer

Justificação: Dado que a capacidade de um buffer não é infinita, se se verificar atraso devido à espera na fila e este for enchendo, cada vez que um pacote tentar entrar na mesma pode não ter espaço e é descartado pelo router.

Questão 2)

Considere as diferenças conceptuais entre redes de comutação de circuitos (ou *circuit-switching*) e de comutação de pacotes (ou *packet-switching*) e os seus princípios de funcionamento.

Suponha um cenário em que vários utilizadores estão ligados a uma rede local Ethernet *switched*, com topologia 100BaseT. Cada utilizador está ligado a uma porta do *switch*. Este *switch*, por sua vez, tem uma das suas portas ligadas a um router R1, router esse que dá acesso a um link L de 10 Mbps. Quando cada utilizador está a transmitir, fá-lo continuamente enviando a 100 Kbps, embora só o faça em 10% do tempo, estando inactivo os restantes 90% do tempo, quando não envia pacotes.

a) Se se estiver a usar *circuit-switching* no link L quantos utilizadores no máximo podem ser suportados? Suponha que se usa multiplexagem no tempo.

Resposta: 10

Justificação: Se um user apenas faz uso do canal durante 10% do tempo então pode-se dividir o canal temporalmente em slots correspondentes a 10% do tempo, ou seja 10 slots. ($10 \times 10 = 100\%$)

b) Se se estiver a usar *packet-switching* no link L, qual o número máximo de utilizadores que poderiam transmitir simultaneamente, de forma a não se originarem atrasos do tipo *queuing delay* no link L?

Resposta: 100

Justificação: Output rate do router para L = 10 Mbps. Para não haver saturação, os users, no seu todo, teriam que enviar dados até essa velocidade para o router. Então $10 \text{ Mbps} / 100 \text{ Kbps} = 10000 \text{ Kbps} / 100 \text{ Kbps} = 100$ (utilizadores).

c) Suponha que há 35 utilizadores a usar a rede nas condições indicadas (isto é, cada um desses 35 utilizadores apenas estavam activos e a transmitir a 100 Kbps), a probabilidade de 11 ou mais utilizadores desses 35 poderem estar simultaneamente a transmitir é aproximadamente 0.0004. Com base neste dado, diga qual deveria ser a capacidade mínima do Link L para garantir que, em 99% do tempo, a rede suporte até 10 utilizadores simultâneos no caso de se considerar *circuit-switching* e no caso de se considerar *packet-switching*

Resposta: 1 Mbps nos dois casos

Justificação: *Packet-switching* → máximo 10 user simultâneos (99%), então para L aguentar tráfego de 100 Kbps cada $\Rightarrow 100 \text{ Kbps} \times 10 = 1 \text{ Mbps}$

Questão 3)

Considere as duas tabelas seguintes (T1 e T2). Preencha as tabelas com a informação correcta nas células não preenchidas, tendo em conta as indicações (colunas) e as células já preenchidas.

T1: Requisitos de aplicações típicas suportadas na Internet (Suporte TCP/IP)

Aplicações	Tolerância a perda de dados Escrever: Não ou Sim	Característica da Largura de Banda Escrever: "Elástica" ou "Elasticidade Limitada")	Caracterização de requisitos e métricas de "throughput" requeridas. Escrever: "Com Requisitos Mínimos" e indicar neste caso uma métrica de referência ou então indicar "Sem Requisitos"	Sensibilidade temporal Escrever: "Sim" e neste caso indicar métrica de referência ou "Não"
Transferência de Ficheiros	Não	elástica	sem req.	Não
WEB (<i>Browsing</i> sobre Servidores WEB)	Não	elástica	sem req.	Não
Correio Electrónico	Não	elástica	Sem Requisitos	Não
Telefonia Internet	Sim	Elas. Limitada	Com Req: 30Kbps	Sim Métrica: ~100 ms
Video Conferência	Sim	Elas. Limitada	Com Req: 10Kbps → 5Kbps	Sim: 100ms
HD Video-On-Demand - Streaming (Alta Definição)	Sim	Elasticidade Limitada	Com requisitos mínimos Métrica de Ref.: ~5Mbps	Sim
Instant Messaging	Não	Elástica	sem req.	Sim/Não

T2: Requisitos de aplicações típicas suportadas na Internet (Protocolos na Pilha TCP/IP)

Coluna A: Aplicações	Identificação de Protocolo ou Protocolos do Nível Aplicação ou de Suporte às aplicações	Protocolo do Nível Transporte Subjacente ao Protocolo Aplicação (Escrever TCP ou UDP, ambos (TCP e UDP) quando se aplique ou Nenhum)
Correio Electrónico	SMTP	TCP
Terminal Remoto	Telnet	TCP
Transferência de Ficheiros	FTP	TCP
WEB	HTTP	TCP
Partilha de Ficheiros a partir de servidores de ficheiros	NFS	UDP (TCP)
Resolução de Nomes (tradução de <i>hostnames</i> -Endereços IP)	DNS	UDP/TCP
Streaming Multimedia	HTTP ou RTP ou Protocolos Proprietários	Ambos (TCP, UDP)
Telefonia IP (Telefonia Internet)	SIP ou RTP ou Protocolos Proprietários	UDP/TCP
TRACEROUTE	ICMP/UDP	nenhum
PING	ICMP	nenhum
Protocolo de Encaminhamento IP	RIP	UDP

Questão 4)

Suponha que o seu *browser* recebeu ordem para aceder a uma página WEB, composta por um único objecto *Ob* com 1400 bytes e cujo servidor está à distância temporal RTT_0 (round trip time) do seu *host*. Isto é, você acabou de *clique* num link WWW que designa a localização do objecto *Ob*. No entanto, o endereço IP do servidor WWW do URL é desconhecido do *browser* pelo que ele tem de aceder a um servidor DNS à distância temporal do seu *host* RTT_1 (round trip time). O servidor DNS para responder ao *browser* tem de consultar outros servidores levando um total de T_1 segundos a descobrir a resposta. O tamanho do segmento máximo TCP negociado na abertura da conexão é de 1500 bytes.

Assumindo tempos de transmissão nulos para pedidos http e também para pacotes inferiores a 256 bytes, desprezando os tempos de processamento do WWW e do *browser* e admitindo que não se perdem pacotes, indique, justificando, uma fórmula que calcule o tempo mínimo necessário para o seu *browser* lhe mostrar o objecto indicado, admitindo que é a primeira vez que o *browser* está a aceder ao servidor WWW.

Fórmula do tempo total para o browser mostrar o objecto:

$$RTT_1 + T_1 + \begin{cases} \rightarrow 6RTT_0 + RTT_0 \\ \rightarrow 2RTT_0 + T_2 \end{cases}$$

Legenda (indicar o significado de cada membro da fórmula anterior):

Justificação:

Questão 5)

Um computador tem uma interface Ethernet (eth0) com o endereço IP 192.168.1.15. Admita também que as tabelas de ARP e de encaminhamento têm o seguinte conteúdo:

ARP:

192.168.1.1 23:45:A0:4F:67:CD
192.168.1.15 23:45:AB:2F:67:AD

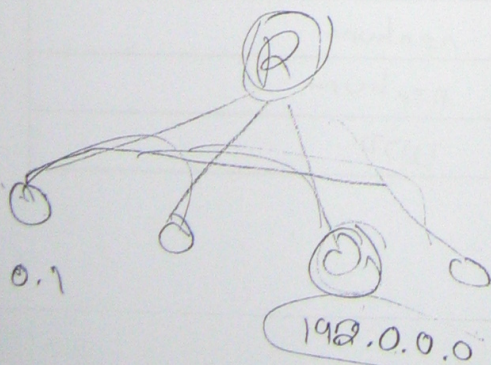
Encaminhamento:

192.168.1.0/24 directo eth0
default router 192.168.1.254

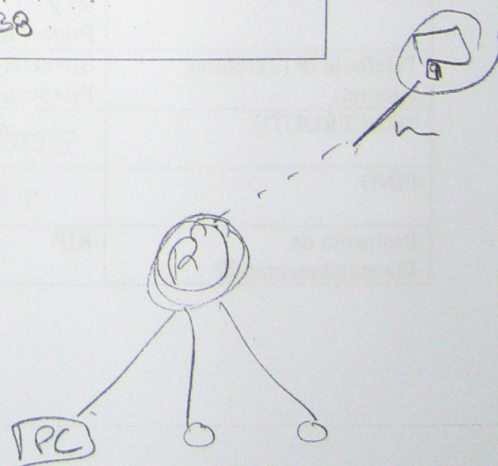
Indique os endereços origem, destino e respectivo tipo do(s) *frame(s)* Ethernet que o computador **envia** pela interface eth0 para encaminhar um pacote com endereço IP de destino 138.130.120.25. Para cada *frame* que transporta pacotes IP indique também os respectivos endereços origem e destino (IP).

Endereço origem: 23:45:AB:2F:67:AD	Se pacote IP
Endereço destino: FF:FF:FF:FF:FF:FF	Endereço IP origem: /
Tipo do conteúdo do frame: who has 192.168.1.254	Endereço IP destino: /

Endereço origem: 23:45:AB:2F:67:AD	Se pacote IP
Endereço destino: 192.168.1.254	Endereço IP origem: 192.168.1.15
Tipo do conteúdo do frame: send IP	Endereço IP destino: 138



- 4 -



Questão 6)

- a) Tenha em conta como se processa a abertura de uma conexão no protocolo TCP. Como é que o processo de estabelecimento da conexão TCP pode ser atacado com base num ataque SYN-FLOOD? Explique.

Um ataque SYN-FLOOD consiste no envio, por parte de uma parte mal intencionada, de mensagens SYN (i.e. abertura de conexão) para um servidor e não enviar os respectivos ACK's. Este processo cria conexões meio-abertas, i.e. que o servidor nunca recebe os ACK's. Se o servidor for atribuindo recursos a estas conexões, chegará a um ponto em que não lhe é possível aceitar mais ligações → denial of service.

- b) O protocolo TCP inclui um mecanismo de controlo de saturação. Sobre este mecanismo diga se o mesmo é do tipo "End-to-End Congestion Control" ou "Network-Assisted Congestion Control" e qual a diferença entre estes dois níveis de abordagem numa pilha de protocolos.

Resposta: em TCP o mecanismo é do tipo: End-to-End

A diferença de abordagem entre os dois tipos é a seguinte:

End-to-End Congestion Control:

São as extremidades da rede (hosts) que se encarregam de detectar e controlar a saturação na rede.

Network-Assisted Congestion Control:

São os elementos da rede (routers, etc) que informam explicitamente os emissores acerca do estado da rede.

- c) O mecanismo de controlo de saturação (ou *congestion control*) no protocolo TCP actua sobre a regulação do tamanho da janela de saturação por parte do emissor. No controlo da saturação, a dimensão da janela cresce ou decresce, em função da chegada ou da falta de segmentos ACK correspondentes a segmentos anteriormente enviados.

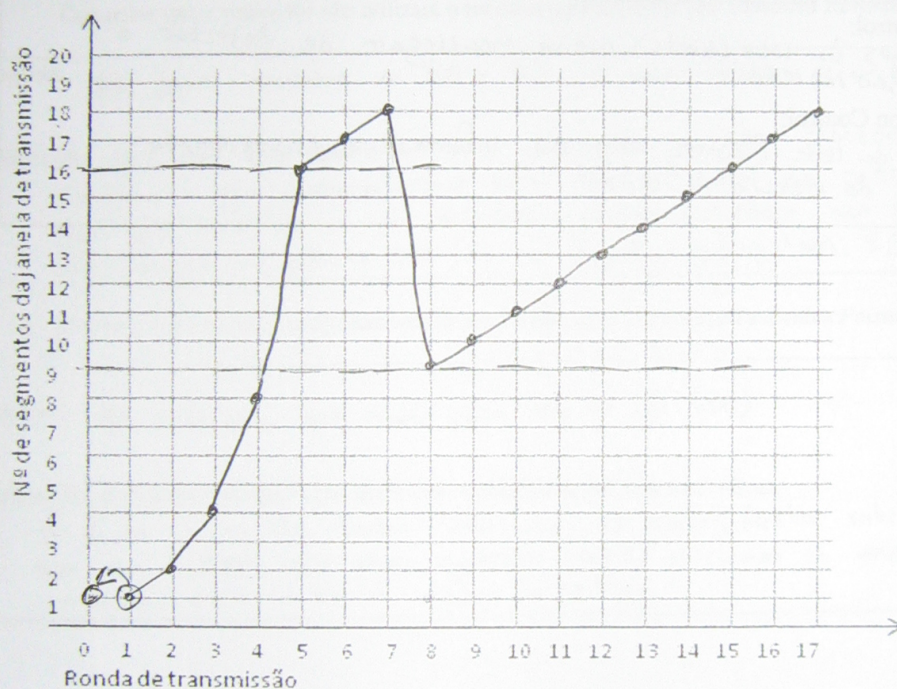
Mostre como representa a evolução do controlo de saturação, desenhando essa curva sobre o gráfico na página seguinte. No gráfico, o eixo das ordenadas representa a dimensão da janela de saturação, em número de segmentos de tamanho MSS "*Maximum Segment Size*". O eixo das abcissas apresenta as rondas de comunicação entre 1 e 17, rondas durante as quais a dimensão da janela vai variar. A sua representação deve abranger a variação da janela entre as rondas 1 e 17.

Considere que inicialmente (na ronda 1) tem as seguintes condições:

- A janela inicial tem um valor igual a 1 segmento (1 x MSS)
- O valor limite da fase *slow-start* (*slow-start threshold*) é igual a 16 segmentos (16 x MSS).

Considere que só ocorrerá uma perda de ACK de um pacote quando a janela é igual a 18 segmentos (18 x MSS).

Para a sua resposta pode usar qualquer variante das estudadas: Reno ou Tahoe

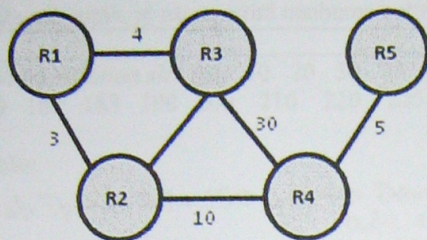


Reno

$$18/2 = 9$$

Questão 7)

- a) Considere a rede representada no seguinte grafo que interliga os routers R1, R2, R3, R4 e R5 com as ligações indicadas e respectivos custos. Nesta rede está-se a processar um protocolo de encaminhamento com base no algoritmo do tipo Vector de Distâncias (ou *Distance-Vector*). Suponha que, até um dado instante t_1 , o processamento decorreu, de forma que o protocolo de encaminhamento estabilizou, tendo todos os routers calculado correctamente as tabelas de encaminhamento óptimas.



Se R5 falhar $c(R4, R5) = \infty$

Num certo instante $t_1 + t_2$, o router R5 falha (*crash*). Após R4 detectar essa falha, que anúncios deve fazer? Considere que o router R4 não utilizará o mecanismo conhecido por *Poisoned Reverse*. Justificar a resposta.

Resposta: R4 deve anunciar a R2 e R3 o novo custo para R5

Justificação: Quando R4 detecta a alteração na rede procede ao cálculo do caminho com custo mínimo para R5 através de outros nós (R2/R3). Após isso, informa os nós vizinhos e estes procedem aos mesmos cálculos, não sabendo no entanto que R5 se encontra indisponível. É gerado um ciclo de routing.

- b) Repita a resposta à alínea a), mas considerando agora que R4 utilizará a técnica *Poisoned Reverse*.

Resposta: R4 informa que custo para R5 = 16 (∞)

Justificação, clarificando porque é que neste caso a reacção de R4 será mais eficaz:

O facto de os nós serem informados do custo infinito entre R4 e R5 faz com que evitem usar esse segmento quando calculam os encaminhamentos na rede, evitando assim ciclos de routing.

- c) Apresente em pseudo-código o tratamento realizado por um *router* a um pacote *p* que recebeu de outro *router* pela interface *i*, sabendo que o *router* está a usar um algoritmo de encaminhamento por inundação.

O *router* tem as interfaces $i_1, i_2, \dots, i_N$. *p.origin* e *p.destination* dão acesso aos endereços origem e destino do pacote. *p.ttl* ao seu TTL. *p.register()* regista o endereço origem do pacote e um seu identificador numa tabela de pacotes já vistos. *p.isDuplicate()* devolve um booleano indicando se o pacote recebido é ou não um duplicado. *p.transmit(interface i)* transmite o pacote *p* pela interface *i* e *p.flood(interface i)* transmite o pacote *p* por todas as interfaces excepto *i*.

```
void floodPacket (packet p, interface i) {
```

```
    if (p.ttl > 0 && (!p.isDuplicate())) {
        if (p.destination == this.myAddress) {
            p.register();
        } else {
            p.ttl = p.ttl - 1;
            p.flood(i);
        }
    }
}
```

- d) Inspire-se no algoritmo de aprendizagem utilizado pelos *switches* Ethernet para melhorar o algoritmo anterior. A ideia consiste em ter uma tabela de encaminhamento *R* que regista a interface que está na origem de um caminho para um destino. Esta tabela é actualizada sempre que o *router* recebe um pacote que não é um duplicado. *R.putRoutingEntry (address a, interface i)* regista que o destino *a* está acessível via a interface *i* e substitui qualquer associação anterior de *a* a outra interface. *R.getRoutingEntry (address a)* devolve uma interface por detrás da qual se sabe estar o destino *a* ou null se o mesmo não está na tabela.

```
void processPacket (packet p, interface i) {
```

```
    if (p.ttl > 0 && !p.isDuplicate()) {
        R.putRoutingEntry(p.origin, i);
        if (p.destination == this.myAddress) {
            p.register();
        } else {
            interface toGo = R.getRoutingEntry(p.destination);
            if (toGo != null) {
                p.transmit(toGo);
            } else {
                p.flood(i);
            }
        }
    }
}
```

Questão 8)

- a) Pretende-se utilizar o método de controlo de acesso ao meio CSMA/CD, para controlar o acesso a um canal multi-ponto *half-duplex*, do tipo Ethernet clássica (IEEE 802.3), com a velocidade de transmissão de **10 Mbps** e um tempo de propagação de extremo a extremo de **75 μ s (micro segundos)**. Comece por indicar, de forma justificada, a dimensão do *collision slot* em micro segundos e, depois, a quantos bits o mesmo corresponde. Indique quantos bits uma estação emissora tem de transmitir para que tenha a certeza de que se não houve colisão até então, já não existirá nenhuma colisão durante a transmissão corrente.

Dimensão do *collision slot* (μ s): 10 20 30 33 40 50 60 70 75 80 90 100 110 120 130 140 **150**
160 170 180 183 190 200 210 220 225 230 240 250 nenhum dos valores anteriores

Justificação:

$CS = 2 \times T_p = 2 \times 75 = 150 \mu s$ $\rightarrow$ Deve ter dimensão suficiente para garantir que cada emissor consegue aferir se a transmissão que efectua vai ter colisão.
Durante a propagação dos bits de A para B não ocorrer emissão por parte de B e o mesmo no sentido contrário, daí, $2 \times T_p$.

Nº de bits mínimos a transmitir (indicando a sua dedução):

$$T_{trans} = \frac{\text{Bits a transmitir}}{\text{Vel. Trans}} \Leftrightarrow \text{Bits} = T_{trans} \times V_{trans} = 150 \mu s \times 10 \text{ Mbps} = 1500 \text{ bits}$$

- b) O protocolo 802.11, para redes Ethernet sem fios, possui dois tipos de mecanismo de controlo de acesso ao meio que são diferentes do mecanismo CSMA/CD usado pelo protocolo 802.3 (Ethernet guiada convencional). Indique em que consistem esses mecanismos e porque é que os mesmos se justificam para controlar o acesso ao meio no caso da Ethernet sem fios.

Resposta

Mecanismo 1: CSMA/CA

Mecanismo 2: RTS/CTS (request to send / clear to send)

Justificação da necessidade dos anteriores mecanismos de controlo de acesso ao meio:

CSMA/CA tem como objectivo evitar ao máximo as colisões, ao "escutar" e ver se antes de transmitir qualquer sinal. Se a rede se encontrar ocupada por outro host então deve-se esperar um período de tempo aleatório.

RTS/CTS (pode ser usado juntamente com CSMA/CA) requer que cada emissor, antes de começar a transmitir, envie um pequeno pacote RTS ao qual o receptor deve responder com um CTS. Após esta troca, é seguro transmitir porque todos os nós (supostamente) receberam as mensagens anteriores e sabem que não devem transmitir.

throughput efectivo min = 128 Kbps

circuito dedicado c/ suporte p/ 10 Mbps

UDP
Stop-n-Wait

RTT = 300 ms

pacotes = 1500 bytes

Questão 9)

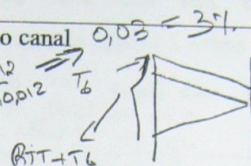
- a) Uma aplicação APP vai ter que operar entre Portugal e o Brasil, suportada entre dois hosts H1 (em Portugal) e H2 (no Brasil) comunicando entre si. Suponha ainda que lhe tinham proposto utilizar um circuito dedicado suportando IP, com taxa de transmissão $R=1$ Mbps (conforme a oferta e custos da tabela de um fornecedor de comunicações internacionais, na página seguinte). A aplicação APP exige um *throughput* efectivo mínimo garantido de 128 Kbps entre os dois computadores.

A comunicação na aplicação faz-se com base em transferência de mensagens, utilizando um protocolo do tipo *Stop and Wait* suportado em transporte UDP. Considerando que o "Round Trip Time ou RTT" entre os dois hosts é de 300 ms. Considerando que no protocolo se enviam pacotes de dimensão $L = 1500$ bytes (ou 12000 bits), indique a expressão que calcula a taxa de utilização do canal em cada sentido da ligação entre H1 e H2.

Expressão para cálculo da taxa de utilização do canal

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{T_{\text{bits}}}{RTT + T_b}$$

Justificação:



nesta caso $T_b = \frac{12000}{10^6} = 0,012$

tempo util da utilização
é de T_b quando pode ser até $\frac{RTT}{T_b}$

- b) Nas condições anteriores, qual o *throughput* efectivo máximo que cada *host* consegue retirar da ligação a 1Mbps? (Pode apenas indicar a expressão).

Expressão para calcular o *throughput* efectivo

Troughput efectivo =

Justificação:

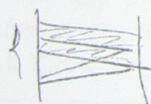
- c) Pretende-se que a aplicação continue a ser suportada em UDP, mas passando agora a usar um protocolo do tipo SELECTIVE-REPEAT. Calcule o tamanho mínimo da janela que proporia para garantir o *throughput* exigido.

Resposta:

Janela mínima para SELECTIVE REPEAT e para garantir o *throughput* exigido:

Justificação:

janela = 2



$$2T_b = 0,012 \times 2 = 0,024 \text{ s}$$

3% — 1250000

7% — 2000000

$$0,024 + 0,6 = 0,624$$

$$T_U = \frac{2 \times T_b}{RTT + T_b} = \frac{0,024}{0,3 + 0,012} = 0,07 = 7\%$$

3000 bytes — 0,024 s

2 — 1 s

- d) Suponha que se decidiu utilizar para as condições de c) um valor muito superior ao valor mínimo para garantir o *throughput* de 128 Kbps exigidos. De acordo com a tabela das soluções e custos de ligações IP dedicadas entre Portugal e Brasil (da página seguinte), qual o link que escolheria para minimizar os custos das comunicações para suportar a aplicação APP de acordo com os seus requisitos? Note que deve considerar que o valor do RTT se mantém em 300 ms para todas as velocidades de débito disponibilizadas na oferta indicada na página seguinte.

Débito do link que proporia como necessário: 256 Kbps

Custo mensal: 4500 Euros ;

Poupança mensal que ganharia em relação ao custo do Link a 1 Mbps como estava previsto: 7700 Euros

Tabela de Preços de Referência de um Provedor

(Nota) esta tabela de preços corresponde a uma tabela real de um operador em Portugal

Débito	Mensalidade						Unid.: EUR
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Instalação
64 Kbps	550	700	920	1.000	1.200	1.400	500
128 Kbps	1.000	1.200	1.500	1.600	1.900	2.200	750
192 Kbps	1.500	1.900	2.400	2.600	3.100	3.600	750
256 Kbps	1.900	2.400	3.100	3.300	3.900	4.500	750
384 Kbps	2.600	3.300	4.300	4.600	5.500	6.400	750
512 Kbps	3.300	4.200	5.500	5.900	7.000	8.100	750
768 Kbps	4.000	5.000	6.500	7.000	8.400	9.800	750
1024 kbps	4.900	6.200	8.100	8.800	10.500	12.200	750
1536 Kbps	5.800	7.300	9.500	10.300	12.300	14.300	750
2 Mbps	7.000	8.900	11.600	12.600	15.100	17.600	1.000
34 Mbps	40.000	50.900	66.800	72.600	87.100	101.600	1.500

- Zona 1: Espanha
 - Zona 2: França, Reino Unido, Andorra, Marrocos
 - Zona 3: Alemanha, Bélgica, Holanda, EUA
 - Zona 4: Suíça, Canadá, Restantes países da União Europeia
 - Zona 5: Outros países europeus
 - ➔ Zona 6: Angola, Brasil, Cabo Verde, Guiné Bissau, Moçambique, São Tomé
- Preços para outros destinos serão analisados caso a caso