



Exame – Parte 1 (sem consulta, 10 valores, 35 minutos)

Nome:

Correc

Cotação: resposta correta: 1 valor; resposta errada: -0,15 valores; pontuação mínima possível na Parte 1: 0 valores.
Apenas uma alternativa é verdadeira. A resposta a uma pergunta será considerada errada se forem seleccionadas múltiplas alternativas.

1. O programa **ping** usado nas aulas laboratoriais gera pacotes de informação do
 - a) protocolo UDP, que por sua vez são encapsulados em pacotes IP, que por sua vez são encapsulados em tramas Ethernet.
 - b) protocolo ICMP, que por sua vez são encapsulados em pacotes IP, que por sua vez são encapsulados em tramas Ethernet.
 - c) protocolo IP, que por sua vez são encapsulados em tramas Ethernet.
 - d) protocolo ARP, que por sua vez são encapsulados em tramas Ethernet.
2. Assuma uma transmissão de dados feita com um débito 100 kbaud. Se pretendermos transmitir 300 kbit/s usando uma modulação de fase, deveremos usar um número de fases igual a:
 - a) 3.
 - b) 8.
 - c) 100k.
 - d) 300k.
3. A eficiência de um canal rádio (bit/s/Hz), caracterizável pela lei de Shannon $\log_2(1+SNR)$, em que SNR representa a relação sinal ruído
 - a) Diminui quando a distância emissor-recetor (d) aumenta e é independente da largura de banda do canal (B).
 - b) Diminui quando d aumenta e B aumenta.
 - c) É independente de d.
 - d) Nenhuma das anteriores é verdadeira.
4. Na expressão $1-(1-A)^B$ usada em RCOM para discussão de erros
 - a) A representa a taxa de bits errados e B representa a taxa de tramas erradas.
 - b) B representa a taxa de bits errados e A representa a taxa de tramas erradas.
 - c) A representa a taxa de bits errados e B representa o comprimento da trama.
 - d) B representa a taxa de bits errados e A representa o comprimento da trama.
5. Considere o mecanismo ARQ Go-Back-N estudado nas aulas, a funcionar com uma janela $W=3$. Considere também que o funcionamento do Recetor é descrito numa notação em que ?I(0).!RR(1) representa a receção (?) da mensagem I(0) seguida (.) do envio (!) da mensagem RR(1). Após a ocorrência dos eventos ?I(0).!RR(1).?I(1).!RR(2).?I(3), o recetor
 - a) Descarta a trama I(3) e envia REJ(2) para o emissor.
 - b) Descarta a trama I(3) e envia RR(2) para o emissor.
 - c) Armazena a trama I(3) mas não envia REJ nem RR para o emissor.
 - d) Armazena a trama I(3) e envia REJ(2) para o emissor.

(ver verso)

6. Assuma um cenário composto por 2 computadores A e B implementando o protocolo de acesso ao meio CSMA/CD (*Collision Detection*), e interligados entre si através de um comutador Ethernet (switch igual ao do laboratório). As portas de rede dos computadores e do comutador funcionam em modo **full-duplex**. Se o computador A estiver a transmitir uma trama e o computador B também tiver uma trama para transmitir, o computador B
- Escuta até ao fim da transmissão de A e só depois transmite a sua trama.
 - Transmite de imediato a sua trama causando uma colisão.
 - Transmite de imediato a trama mas só haverá colisão se a trama enviada por A tiver como destino B.
 - Transmite de imediato e não haverá colisão.
7. Considere a fila de espera (de saída) da interface de rede *eth0* de um computador que se encontra ligado a um *switch* por uma ligação de capacidade *C* bit/s. Nesta situação, o **tempo de transmissão do pacotes depende**
- Da capacidade *C* da ligação e do comprimento médio dos pacotes.
 - Apenas do débito a que as camadas superiores enviam pacotes para a fila de espera (pacote/s).
 - Da capacidade *C* da ligação, do comprimento médio dos pacotes e do número de pacotes em espera na fila.
 - Do número de computadores que estão ligados ao Switch.
8. Assuma que a tabela NAT de um router tem a seguinte entrada $\langle (140.76.29.6, 80), (10.0.1.4, 8080) \rangle$. A rede privada tem o endereço 10.0.0.0/16 e existe um servidor HTTP na porta 8080 da máquina com o endereço 10.0.1.4. Nesta situação, os endereços IP e TCP de origem de um pacote observado na rede privada para este servidor são os seguintes
- IP=140.76.29.6, Port= 80.
 - IP=140.76.29.6, Port= 8080.
 - Os endereços IP e TCP da máquina da rede pública que está a contactar o servidor.
 - Nenhuma das anteriores.
9. O *Spanning Tree Protocol* usada nas redes Ethernet
- Permite que cada comutador determine a sua árvore de caminhos mais curtos para os outros comutadores da rede.
 - Permite que uma única árvore seja calculada na rede, com raiz no primeiro nó a iniciar o algoritmo.
 - Permite que uma única árvore seja calculada na rede, com raiz no nó com menor identificador.
 - Permite que cada comutador se aperceba do nível congestionamento dos comutadores vizinhos.
10. Os protocolos da camada de transporte usam vários mecanismos de controlo, incluindo o mecanismo de Controlo de Fluxo (CF) e o mecanismo de Controlo de Congestionamento (CC). Na Internet, o protocolo User Datagram Protocol (UDP) usa
- Apenas CF.
 - Apenas CC.
 - CF e CC.
 - Não usa CF nem CC.

Exame – Parte 2 (com consulta, 10 valores, 90 minutos)

Nome:

Correção

1. Dois equipamentos comunicam usando uma ligação de dados que usa mecanismos ARQ. Assuma que a capacidade do canal (em cada sentido) é de 1 Mbit/s, que o comprimento das tramas de informação é de 100 Bytes, que informação se propaga à velocidade da luz (3×10^8 m/s) e que queremos usar no máximo 2 bits de para numerar as tramas que informação.

- a) (1,5 valor) Para as variantes *Stop and Wait*, *Go Back N* e *Selective Repeat*, calcule a distância mínima e máxima entre os dois equipamentos por forma a obtermos uma eficiência da ligação superior a 80%.

	Stop and Wait	Go Back N	Selective Repeat
Distância mínima (km)	0	0	0
Distância máxima (km)	30	336	180

(1 1 1)
(3 2 2)

$$C = 1 \text{ Mbit/s}, L = 100 \times 8 = 800 \text{ bit}, v = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, k = 2$$

$$T_f = \frac{L}{C} = \frac{800}{10^6} = 0,8 \text{ ms} \quad T_p = \frac{d}{v} = \frac{d}{3 \cdot 10^8} = \frac{d}{3} \cdot 10^{-8} \quad a = \frac{T_p}{T_f} = \frac{d \cdot 10^{-8} \cdot 10^6}{3 \cdot 800} = \frac{d}{24} \cdot 10^{-4}$$

$$SW: S_{max} = \frac{1}{1+2a} \geq 0,8$$

$$\frac{1}{1+2a} \geq 0,8 \quad ; \quad a \leq \frac{1}{8}$$

$$\frac{d}{24} \cdot 10^{-4} \leq \frac{1}{8} \quad \boxed{d \leq 30 \text{ km}}$$

$$GBN: k=2, N=2^2=4, W=N-1=3$$

$$S_{max} = \frac{W}{1+2a} \geq \frac{8}{10} \quad \frac{3}{1+2a} \geq \frac{8}{10}$$

$$a \leq 1,4 \quad \frac{d}{24} \cdot 10^{-4} \leq 1,4$$

$$\boxed{d \leq 336 \text{ km}}$$

$$SR: k=2; N=2^2=4; W=\frac{N}{2}=2$$

$$S_{max} = \frac{W}{1+2a} \geq \frac{8}{10}$$

$$\frac{2}{1+2a} \geq \frac{8}{10} \quad a \leq \frac{3}{4}$$

$$\frac{d}{24} \cdot 10^{-4} \leq \frac{3}{4}$$

$$\boxed{d \leq 180 \text{ km}}$$

- b) (1 valor) Suponha que os dois equipamentos distam de 30 km e que emissor tem um bloco de 100 kBytes de dados para transmitir. Desprezando os overheads introduzidos pelo protocolo de ligação lógica, calcule para as duas variantes ARQ indicadas o tempo necessário para o envio do bloco de dados (até ser recebida a última confirmação pelo emissor) e o débito observado pela camada superior. Se necessário recorra a diagramas temporais.

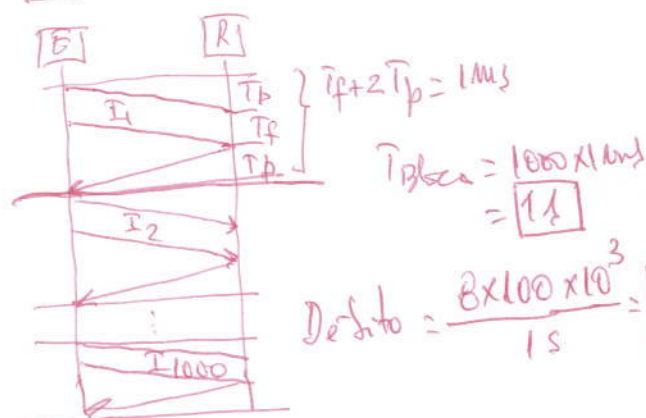
	Stop and Wait	Selective Repeat
Tempo de envio do bloco (ms)	1000	800
Débito observado (kbit/s)	800	1000

(3 3)
(2 2)

$$d = 30 \text{ km}; B_{\text{bloco}} = 100 \text{ kByte}, L = 100 \text{ Bytes} \rightarrow 1000 \text{ tramas e frame enviados}$$

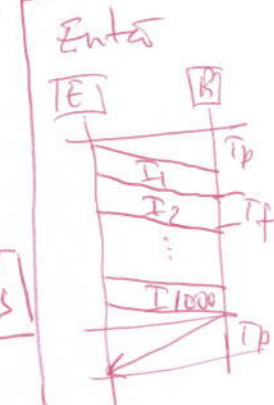
$$T_f = 0,8 \text{ ms} \quad T_p = \frac{d}{v} = \frac{3 \times 10^3}{3 \cdot 10^8} = 0,1 \text{ ms} \quad a = \frac{T_p}{T_f} = \frac{0,1}{0,8} = \frac{1}{8}$$

SW



$$\text{Débito} = \frac{8 \times 100 \times 10^3}{1 \text{ s}} = \boxed{800 \text{ kbit/s}}$$

$$SR: W > 1+2a? \quad 2 \geq 1 + \frac{2}{8} \checkmark \rightarrow N_{rx} = 1$$



$$T_{\text{bloco}} = 1000 T_p + 1000 T_f = 0,2 \text{ ms} + 800 \text{ ms} \approx 800 \text{ ms}$$

$$\text{Débito} = \frac{8 \times 100 \times 10^3}{800 \times 10^{-3}} = \boxed{1000 \text{ kbit/s}}$$

Nome: Carreiros

- c) (1,5 valor) Admita que, para a mesma distância de 30 km, a ligação se efetua sob condições de transmissão que conduzem a uma situação de erro caracterizada por um $BER=10^{-3}$. Considere que é utilizado o mecanismo ARQ *Stop and Wait*. Assumindo que o tamanho de trama (L) pode variar entre 100 e 1000 Bytes, que tamanho escolheria por forma a obter a eficiência máxima (S_{max})? Qual o valor dessa eficiência? Qual é o débito máximo (Deb_{max}) obtido nessa situação?

L	S_{max} (%)	Deb_{max} (kbit/s)
100	36	360

(4 3 3)

(apesar de a dependência também de L)

$$SW: S_{max} = \frac{1 - PER}{1 + 2\alpha}$$

$$\& L \searrow PER \searrow S \nearrow \rightarrow L = 100 \text{ Byte} = 800 \text{ bits}$$

$$BER = 10^{-3} \quad PER = 1 - (1 - BER)^L = 1 - (1 - 10^{-3})^{800} = 0,55$$

$$S' = \frac{1 - 0,55}{1 + 2 \cdot \frac{1}{8}} = \frac{0,45}{1,25} = 36\%$$

$$Deb_{max} = 0,36 \times 10^6 = 360 \text{ kbit/s}$$

2. Um router é constituído por um conjunto de portas *full duplex*, sendo a capacidade de cada porta 100 Mbit/s (em cada sentido). Admita que num dado período o número médio de pacotes comutados para uma determinada porta de saída é 10 000 pacote/s, sendo o tamanho médio dos pacotes 1000 Bytes. Considere que o comportamento dessa porta de saída pode ser modelizado por uma fila de espera M/M/1.

- a) (1 valor) Calcule a intensidade de tráfego na porta de saída (taxa de utilização), a ocupação média da fila de espera (em pacotes) e o tempo médio de atraso dos pacotes (incluindo as componentes de espera e de serviço).

Intensidade de tráfego, ρ	0,8
Ocupação média da fila de espera, N_w	3,2
Tempo médio de atraso dos pacotes, T, (μs)	400 ($T_w = 320$)

(3 4 3)

$$\lambda = 10\,000 \text{ pac/s} \quad L = 8 \times 100 \text{ bit} \quad M/M/1 \quad C = 100 \text{ Mbit/s}$$

$$\mu = \frac{C}{L} = \frac{100 \times 10^6}{8 \times 10^3} = \frac{100}{8} \times 10^3 = 12\,500 \text{ pac/s} \quad \rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{10\,000}{12\,500} = 0,8$$

$$T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{12\,500 - 10\,000} = \frac{1}{2\,500} = 400 \mu s$$

$$N = \lambda T = 10\,000 \times 400 \mu s = 4$$

$$N_w = N - \rho = 4 - 0,8 = 3,2$$

$$T_s = \frac{1}{\mu} = 80 \mu s$$

$$T_w = T - T_s = 400 - 80 = 320 \mu s$$

Nome:

- b) (1 valor) Considerando o mesmo débito (bit/s) na porta de saída, como variariam os parâmetros calculados em a) se o tamanho médio dos pacotes fosse, respetivamente, 500 e 2000 Bytes? Conclua sobre as vantagens e desvantagens de reduzir o tamanho dos pacotes, tendo em atenção vários fatores (tempo de atraso, número e tamanho de buffers, overheads, etc.).

	$L = 500 \text{ Bytes}$	$L = 2000 \text{ Bytes}$
Intensidade de tráfego, ρ	0,8	0,8
Ocupação média da fila de espera, N_w	3,2	3,2
Tempo médio de atraso dos pacotes, T , (μs)	200	800

$\text{Débito Saída} = 10\,000 \text{ pac/s} \times 8000 = 80 \text{ Mbit/s}$
 Se $L = 500 \text{ Bytes}$
 $\lambda = 20\,000 \text{ pac/s}$ $\mu = 25\,000 \text{ pac/s}$
 $\rho = 0,8$ $T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{5000} = 200 \mu\text{s}$
 $N = \lambda T = 20\,000 \times 200 \mu\text{s} = 4$
 $N_w = N - \rho = 4 - 0,8 = 3,2$
 $\downarrow \quad \downarrow$ Menor Overhead (menos pacotes/s)

Se $L = 2000 \text{ Bytes}$
 $\lambda = 5000 \text{ pac/s}$
 $\mu = 6250 \text{ pac/s}$
 $\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{5000}{6250} = 0,8$
 $T = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{6250 - 5000} = 800 \mu\text{s}$
 $N = \lambda T = 5000 \times 800 \mu\text{s} = 4$
 $N_w = N - \rho = 4 - 0,8 = 3,2$

- c) (1 valor) Considere que na situação descrita na alínea a) o tráfego de 10 000 pacote/s é proveniente de 2 portas de entrada do router. Considere que os pacotes têm um comprimento constante de 500 Bytes, que o intervalo entre chegada de pacotes através de cada uma das portas do router também é constante e que os pacotes chegam ao router sempre ao mesmo tempo. Nestas condições determine o valor mínimo, médio e máximo do tempo de espera dos pacotes até estes serem transmitidos.

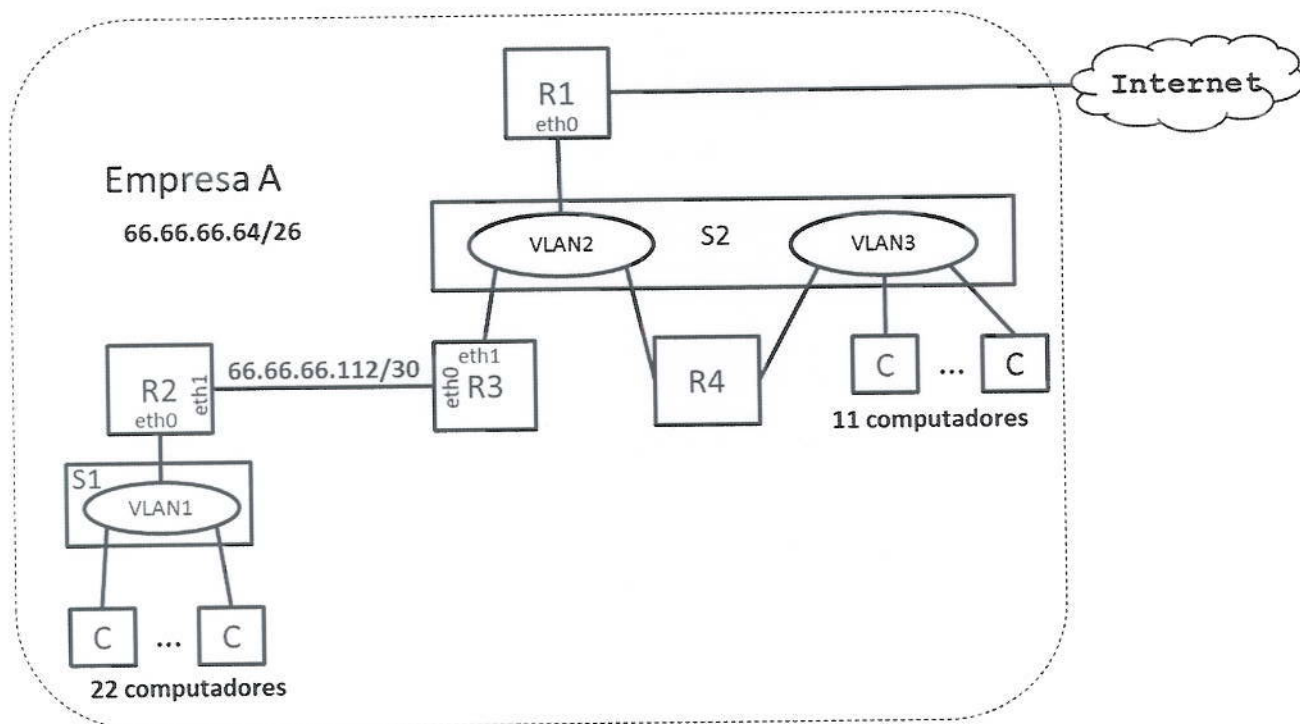
Tempo de espera mínimo (μs)	0
Tempo de espera médio (μs)	20
Tempo atraso máximo (μs)	$T_{\text{max}} = 800 \mu\text{s}$ $T_{\text{min}} = 40$

$\lambda = 10\,000 \text{ pac/s}$ $\lambda_{\text{porta}} = \frac{\lambda}{2} = 5000 \text{ pac/s}$
 Intervalo entre chegada de pacotes de 1 porta $t_{\text{ip}} = \frac{1}{\lambda_{\text{porta}}} = \frac{1}{5000} = 200 \mu\text{s}$
 Tempo de transmitir de 1 pacote, $T_{\text{pac}} = \frac{L}{c} = \frac{500 \times 8}{100 \times 10^6} = 40 \mu\text{s}$

1º pacote chega e é logo transmitido $T_w = 0$
 2º pacote " " e espera pelo 1º ser transmitido $T_w = T_{\text{pac}} = 40 \mu\text{s}$
 Logo $T_{w_{\text{min}}} = 0$ $T_{w_{\text{max}}} = 40 \mu\text{s}$ $E[T_w] = \frac{0 + 40}{2} = 20 \mu\text{s}$
 $T_{\text{max}} = T_{w_{\text{max}}} + T_{\text{pac}} = 40 + 40 = 80 \mu\text{s}$

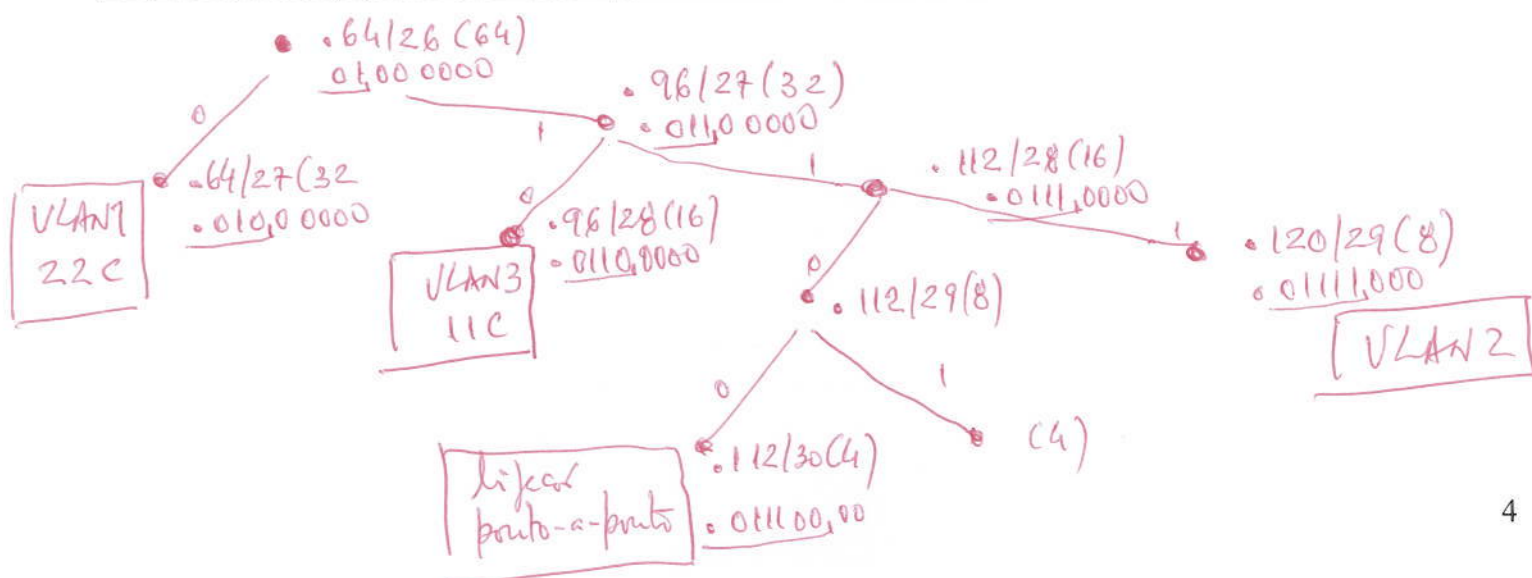
Nome: *Correcir*

3. À Empresa A foi atribuído o bloco de endereços IP **66.66.66.64/26**. A empresa tem um rede de comunicações com a arquitetura descrita na figura, composta por 4 *routers* (R1, R2, R3, R4) e 2 *switches* Ethernet (S1 e S2). O *switch* S1 tem 1 VLAN que serve 22 computadores (C). O *switch* S2 tem 2 VLANs (VLAN2 e VLAN3). A VLAN2 é usada para interligar os routers R1, R3 e R4. A VLAN3 é usada para servir 11 computadores. Os *routers* R2 e R3 estão interligados por uma ligação ponto-a-ponto que usa o endereço de rede indicado na figura.



- a) (1 valor) Calcule os endereços associados às redes indicadas.

	Endereço da subrede (endereço/máscara)	Endereço de <i>broadcast</i> da subrede	Nº de endereços de interfaces
VLAN1	<i>66.66.66.64/27</i>	<i>66.66.66.95</i>	<i>30</i>
VLAN2	<i>66.66.66.120/29</i>	<i>66.66.66.127</i>	<i>6</i>
VLAN3	<i>66.66.66.96/28</i>	<i>66.66.66.111</i>	<i>14</i>



Nome: *Correia*

- b) (1 valor) Atribua endereços IP às interfaces de rede indicadas na tabela. Use os endereços mais baixos de cada sub-rede. Numa sub-rede atribua os endereços mais baixos aos routers de índice Ri mais baixo. Por exemplo, o endereço de R2.eth1 deverá ser inferior ao endereço R3.eth0.

Router.interface	Endereço(s) IP
R1.eth0	<i>66.66.66.121</i>
R3.eth0	<i>4 . 114</i>
R3.eth1	<i>4 . 122</i>
R2.eth0	<i>4 . 65</i>
R2.eth1	<i>4 . 113</i>

- c) (1 valor). Escreva a tabela de encaminhamento do **router R3**. Este router deverá ser capaz enviar pacotes para todos os endereços IP unicast. Use o menor número possível de entradas na tabela.

Destino (endereço/máscara)	Gateway	Interface
<i>66.66.66.112/30</i>	<i>—</i>	<i>eth0</i>
<i>4 . 120/29</i>	<i>—</i>	<i>eth1</i>
<i>4 . 64/27</i>	<i>66.66.66.113</i>	<i>eth0</i>
<i>4 . 96/28</i>	<i>66.66.66.123</i>	<i>eth1</i>
<i>0/0</i>	<i>66.66.66.121</i>	<i>eth1</i>