

Curso de Tecnologia em Sistemas de Computação
Disciplina: Redes de Computadores II
AD1 – 2º semestre de 2015 – GABARITO

Questão 0 5 pontos

O objetivo deste exercício é entender melhor a relação entre faixas de endereços IP, endereços de rede, e endereços IPs. Repare que todo endereço de rede define uma faixa de endereços IP e que todo endereço IP pertence a uma ou mais redes. O entendimento destes conceitos é fundamental e será necessário para resolver outras questões desta avaliação.

(a) Determine se o endereços IP a seguir pertencem ou não às redes correspondentes.

Resposta:

Para resolver este exercício, você deve perceber que o endereço de rede apresentado determina um prefixo em notação binária. Os endereços IP desta rede são precisamente os que possuem este mesmo prefixo.

i. O endereço 91.223.211.178 **pertence** à rede 91.220.0.0/14

Resposta:

O endereço IP da rede apresentada, 91.220.0.0, possui forma binária:
01011011 11011100 00000000 00000000

A máscara de rede /14 indica que os primeiros 14 bits formam o prefixo de subrede, ou seja, temos o prefixo:

01011011 110111

O endereço 91.223.211.178 possui forma binária:

01011011 11011111 00100011 01111111

cujo prefixo de subrede (primeiros 14 bits) é:

01011011 110111

Note que os prefixos de subrede deste endereço e do endereço da rede são iguais, logo o endereço pertence à rede apresentada.

A resolução dos itens restantes é análoga.

ii. O endereço 4.51.231.116 **pertence** à rede 4.48.0.0/12

iii. O endereço 80.160.115.31 **pertence** à rede 80.160.112.0/22

iv. O endereço 3.124.240.171 **pertence** à rede 3.124.0.0/14

v. O endereço 127.7.58.73 **não pertence** à rede 104.0.0.0/6

vi. O endereço 38.25.156.127 **não pertence** à rede 38.25.64.0/18

- vii. O endereço 220.100.61.204 **pertence** à rede 220.0.0.0/8
 - viii. O endereço 207.102.139.237 **não pertence** à rede 207.102.136.0/25
 - ix. O endereço 165.173.140.48 **não pertence** à rede 165.208.0.0/12
 - x. O endereço 150.228.209.225 **pertence** à rede 150.0.0.0/7
- (b) Nos itens a seguir, serão apresentados dois endereços, correspondentes a duas redes distintas. Determine, em cada caso, se uma das redes é uma subrede da outra ou não. Em caso positivo, identifique a subrede maior e a subrede menor.

Resposta:

Como no item anterior, os endereços de cada rede determinam dois prefixos de subrede. Se o prefixo mais curto (rede maior) for igual ao início do prefixo mais longo (rede menor), então todos os endereços da rede menor também pertencem à rede maior, ou seja, uma rede é subrede da outra. Caso contrário, nenhum endereço da rede menor pertence à rede maior, ou seja, as duas redes são disjuntas.

- i. 41.220.188.176/28 **está contida em** 41.220.188.0/23

Resposta:

A primeira rede, 41.220.188.176/28, possui prefixo:

00101001 11011100 10111100 1011

enquanto a segunda rede, 41.220.188.0/23, possui prefixo:

00101001 11011100 1011110

Note que os 23 primeiros bits do prefixo da primeira rede corresponde ao prefixo da segunda, logo a primeira rede está contida na segunda. Novamente, a resolução dos itens restantes é análoga.

- ii. 82.197.102.0/23 **é disjunta de** 82.197.32.0/20
- iii. 143.254.0.0/17 **está contida em** 143.252.0.0/14
- iv. 242.0.0.0/7 **é disjunta de** 255.0.0.0/10
- v. 160.128.0.0/10 **é disjunta de** 161.96.0.0/12
- vi. 48.98.32.0/19 **contém** 48.98.58.0/24
- vii. 108.98.0.0/15 **é disjunta de** 108.160.0.0/11
- viii. 219.235.128.0/18 **é disjunta de** 219.226.0.0/15
- ix. 144.164.235.128/26 **está contida em** 144.164.234.0/23
- x. 19.60.0.0/15 **é disjunta de** 19.55.160.0/20

Questão 1 15 pontos

O problema de encaminhamento consiste em determinar por qual interface de rede um pacote IP que chega a um roteador será transmitido. O encaminhamento dos pacotes é realizado de acordo com a tabela de roteamento. O objetivo desta questão é compreender como funciona este mecanismo na Internet.

Suponha que um roteador da Internet deva encaminhar seus pacotes de acordo com a tabela abaixo, cujas faixas de endereços IP está representada em binário.

Faixa de endereço destino	Interface
00100111 11000000 00000000 00000000 a	0
00100111 11000111 11111111 11111111 00100111 11000100 00000000 00000000 a	1
00100111 11000100 11111111 11111111 00100111 11000010 00000000 00000000 a	2
00100111 11000010 01111111 11111111 00100111 11000010 00011000 00000000 a	0
00100111 11000010 00011111 11111111 00100111 11000100 10000000 00000000 a	2
00100111 11000100 10111111 11111111 00100111 11000100 10010100 00000000 a	2
00100111 11000100 10010101 11111111 caso contrário	1

- (a) Construa a tabela de roteamento com base nas informações da tabela acima, isto é, determine o prefixo (em notação binária) correspondente a cada linha da tabela acima. Sua tabela deve indicar a interface de rede correspondente a cada prefixo.

Resposta:

Em qualquer subrede, o prefixo é o conjunto de bits iniciais que determina se um endereço IP qualquer pertence à subrede em questão ou não; ou seja, é o conjunto de bits que é comum a todos os endereços da subrede, e que nenhum endereço fora da subrede pode possuir. Para resolver esta questão, basta identificar estes bits. Note que cada faixa de endereços apresentada na tabela segue este formato: um conjunto de bits que todos os endereços são forçados a ter, seguido de todas as combinações possíveis para os bits restantes. Logo, todas são subredes válidas. Reescrevendo a tabela com os prefixos identificados:

Prefixo	Interface
00100111 11000	0
00100111 11000100	1
00100111 11000010 0	2
00100111 11000010 00011	0
00100111 11000100 10	2
00100111 11000100 1001010	2
-	1

- (b) Reescreva a tabela de roteamento encontrada acima utilizando a notação a.b.c.d/x.

Resposta:

A notação a.b.c.d/x é utilizada para representar subredes. “x” corresponde ao comprimento da máscara de subrede, isto é, a quantidade de bits utilizados para definir a subrede, enquanto “a.b.c.d” correspondente ao endereço de subrede. O valor de “x” pode ser obtido diretamente do prefixo, pois é igual ao comprimento do prefixo.

Para determinar os valores de “a.b.c.d”, é preciso identificar o primeiro endereço IP desta subrede em forma binária, e depois convertê-lo para a forma decimal. Este endereço é obtido completando o prefixo com 0’s ao final até completar o comprimento de um endereço IP (32 bits).

Exemplificaremos este cálculo para o primeiro prefixo:

00100111 11000

O primeiro endereço desta subrede é:

00100111 11000000 00000000 00000000

Convertendo o endereço octeto a octeto para a forma decimal, temos:

00100111 = 39

01000000 = 192

00000000 = 0

00000000 = 0

Como o comprimento deste prefixo é de 13 bits, o endereço de subrede obtido é 39.192.0.0/13.

Para as outras faixas, deve ser realizado um procedimento semelhante, obtendo a seguinte tabela:

Prefixo	Interface
39.192.0.0/13	0
39.196.0.0/16	1
39.194.0.0/17	2
39.194.24.0/21	0
39.196.128.0/18	2
39.196.148.0/23	2
0.0.0.0/0	1

- (c) Determine para qual interface de rede cada um dos pacotes abaixo, com os respectivos endereços de destino, será encaminhado.

Resposta:

Duas regras devem ser observadas na hora de determinar a interface para a qual este pacote deve ser encaminhado. A primeira é que ele deve pertence à subrede delimitada por alguma das regras da tabela encaminhamento. Se houver mais de uma subrede possível, aplica-se a segunda regra: a regra do *prefixo mais longo*, que determina que prefixos mais longos (com mais bits, correspondendo a subredes menores) têm prioridade sobre prefixos mais curtos.

Considere o segundo item, por exemplo. O endereço 39.199.199.153 pertence à subrede 39.192.0.0/13 (para ver isto, realize a expansão binária destes endereços), portanto só a regra da tabela de encaminhamento correspondente a esta subrede pode ser utilizada. O pacote será encaminhado pela interface 0. Quando um endereço pertencer a mais de uma subrede indicada na tabela, utiliza-se a regra do prefixo mais longo para decidir por qual interface o pacote será encaminhado. No caso, será a interface correspondente à subrede cujo o maior prefixo é igual aos bits do endereço do pacote.

O mesmo procedimento vale para os demais endereços.

- | | |
|---|---|
| i. 39.219.120.229 → interface 1 | vii. 39.194.25.141 → interface 0 |
| ii. 39.199.199.153 → interface 0 | viii. 39.194.91.50 → interface 2 |
| iii. 39.194.24.23 → interface 0 | ix. 39.197.168.43 → interface 0 |
| iv. 39.196.149.65 → interface 2 | x. 39.196.148.141 → interface 2 |
| v. 39.194.63.192 → interface 2 | xi. 39.196.31.141 → interface 1 |
| vi. 39.196.148.119 → interface 2 | xii. 39.194.27.8 → interface 0 |

- (d) Determine quais regras (ou seja, linhas) da tabela de roteamento acima podem ser removidas sem afetar o encaminhamento dos pacotes. Indique se isto não for o caso.¹

Resposta:

Uma regra é redundante se ela puder ser removida da tabela sem afetar o encaminhamento dos pacotes. Isto significa que, se ela for removida, todos os pacotes que seriam encaminhados por essa regra, e que agora vão ser incorporados por uma segunda regra, continuam sendo encaminhados pela mesma interface.

Neste exemplo, somente a regra do prefixo 39.196.148.0/23 é redundante. Isto porque todos os pacotes que são encaminhados segundo essa regra também satisfazem a regra da subrede 39.196.128.0/18. Mas, as duas determinam que o pacote deve seguir pela interface 0, logo, se a regra 39.196.148.0/23 for removida da tabela, todos os pacotes afetados vão passar a ser encaminhados segundo a regra 39.196.128.0/18 e vão continuar sendo encaminhados pela mesma interface 2.

Resposta:

A regra do prefixo 39.196.148.0/23 é redundante.

¹Dica: procure por faixas mais específicas.

Questão 2 5 pontos

Um problema fundamental em gerência de redes consiste em dividir uma determinada rede em múltiplas subredes. Resolver este problema nos permite alocar endereços IP para as estações pertencentes a cada uma destas subredes, visto que uma interface de rede de uma estação ou roteador pertence a exatamente uma subrede.

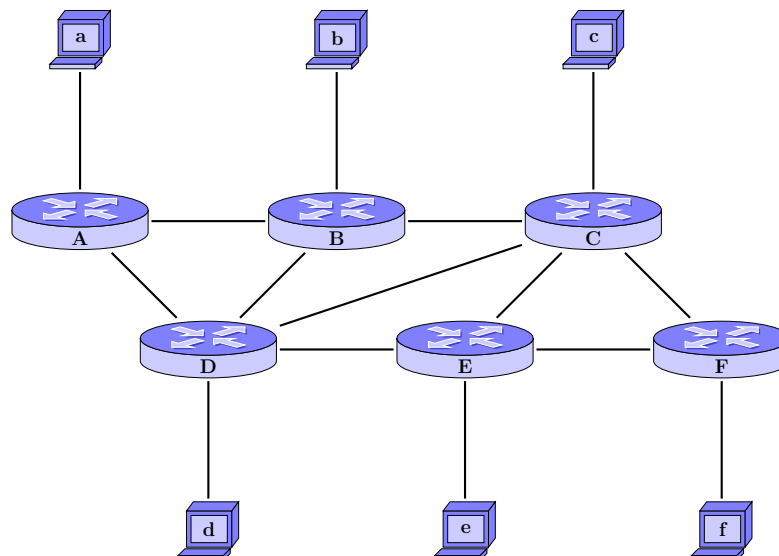
Considere um roteador que interconecta diferentes subredes associadas às suas interfaces. Cada item a seguir ilustra diferentes configurações para o roteador, indicando o endereço de rede que deve ser dividido, o número de subredes a serem criadas (uma para cada interface do roteador), e o número de estações em cada subrede.

Para cada configuração, determine os endereços das subredes na forma a.b.c.d/x para atender aos requisitos, ou indique não ser possível atendê-los (explique sua resposta neste caso). Repare que não há uma solução única.²

i. R_1 : 184.178.123.128/25 com 5 subredes: R_{11} : 6 estações 184.178.123.192/29 R_{12} : 5 estações 184.178.123.200/29 R_{13} : 19 estações 184.178.123.128/27 R_{14} : 4 estações 184.178.123.208/29 R_{15} : 17 estações 184.178.123.160/27	ii. R_2 : 45.69.96.0/21 com 5 subredes: R_{21} : 100 estações 45.69.99.0/25 R_{22} : 100 estações 45.69.99.128/25 R_{23} : 100 estações 45.69.100.0/25 R_{24} : 200 estações 45.69.98.0/24 R_{25} : 300 estações 45.69.96.0/23	iii. R_3 : 130.156.0.0/14 com 5 subredes: R_{31} : 60000 estações R_{32} : 20000 estações R_{33} : 60000 estações R_{34} : 50000 estações R_{35} : 40000 estações Alocação impossível
--	--	---

Questão 3 10 pontos

Considere o problema de encaminhamento de pacotes em uma rede baseada em circuitos virtuais. Neste tipo de rede os roteadores possuem tabelas de roteamento que mapeiam a interface de entrada e o número de circuito em uma interface de saída e outro número de circuito virtual. Os pacotes de uma determinada conexão carregam o número do circuito virtual do enlace sendo atravessado, que é atualizado pelo roteador ao encaminhá-lo. O objetivo desta questão é entender como funcionam circuitos virtuais.



²Dica: aloque os endereços das subredes em ordem decrescente de seus tamanhos (i.e., maior primeiro).

Tabela de A	
Entrada	Saída
a, 1	B, 7
a, 8	D, 8
D, 3	a, 8
a, 4	D, 9

Tabela de B	
Entrada	Saída
D, 7	b, 1
C, 3	b, 5
C, 4	b, 6
A, 7	b, 4
C, 9	D, 1

Tabela de C	
Entrada	Saída
F, 1	c, 7
D, 6	F, 9
c, 8	B, 9
c, 1	B, 3
E, 3	c, 3
E, 1	D, 2
c, 4	B, 4
D, 8	F, 6

Tabela de D	
Entrada	Saída
d, 4	B, 7
B, 1	d, 1
C, 2	A, 2
A, 9	d, 2
E, 2	A, 3
A, 8	C, 6
d, 3	C, 8

Tabela de E	
Entrada	Saída
e, 2	C, 3
F, 6	e, 4
F, 8	e, 3
e, 6	C, 1
F, 1	D, 2

Tabela de F	
Entrada	Saída
C, 6	E, 8
f, 8	E, 6
f, 7	E, 1
C, 9	f, 8
f, 1	C, 1

Considere a rede anterior, composta por estações e roteadores, e as tabelas de roteamento destes roteadores. Note que todo enlace de saída na tabela de roteamento corresponde a um enlace de entrada na tabela do roteador do outro lado do enlace. Por exemplo, a saída C,1 na tabela do roteador E corresponde à entrada E,1 na tabela do roteador C.

- (a) Em cada item a seguir, será apresentado um pacote, identificado por sua estação e circuito virtual de origem. Determine o caminho que estes pacotes irão percorrer pela rede. Em particular, determine a sequência de enlaces que cada pacote irá atravessar e, para cada enlace, o número do circuito virtual que o pacote irá conter ao atravessá-lo.

i. (d, 3) : $\mathbf{d} \xrightarrow{3} \mathbf{D} \xrightarrow{8} \mathbf{C} \xrightarrow{6} \mathbf{F} \xrightarrow{8} \mathbf{E} \xrightarrow{3} \mathbf{e}$

ii. (a, 4) : $\mathbf{a} \xrightarrow{4} \mathbf{A} \xrightarrow{9} \mathbf{D} \xrightarrow{2} \mathbf{d}$

iii. (f, 1) : $\mathbf{f} \xrightarrow{1} \mathbf{F} \xrightarrow{1} \mathbf{C} \xrightarrow{7} \mathbf{c}$

iv. (a, 1) : $\mathbf{a} \xrightarrow{1} \mathbf{A} \xrightarrow{7} \mathbf{B} \xrightarrow{4} \mathbf{b}$

v. (a, 8) : $\mathbf{a} \xrightarrow{8} \mathbf{A} \xrightarrow{8} \mathbf{D} \xrightarrow{6} \mathbf{C} \xrightarrow{9} \mathbf{F} \xrightarrow{8} \mathbf{f}$

vi. (c, 1) : $\mathbf{c} \xrightarrow{1} \mathbf{C} \xrightarrow{3} \mathbf{B} \xrightarrow{5} \mathbf{b}$

- (b) Considere agora que desejamos criar novos circuitos virtuais, indicados nos itens a seguir. Determine o número de CV que será utilizado em cada enlace destes novos circuitos. Considere que as numerações utilizadas nos dois sentidos de cada enlace são independentes, e que os circuitos criados em cada item continuam existindo nos itens seguintes. Note que há mais de uma resposta correta.

i. $\mathbf{a} \xrightarrow{2} \mathbf{A} \xrightarrow{1} \mathbf{D} \xrightarrow{3} \mathbf{d}$

iii. $\mathbf{d} \xrightarrow{1} \mathbf{D} \xrightarrow{1} \mathbf{A} \xrightarrow{1} \mathbf{B} \xrightarrow{2} \mathbf{b}$

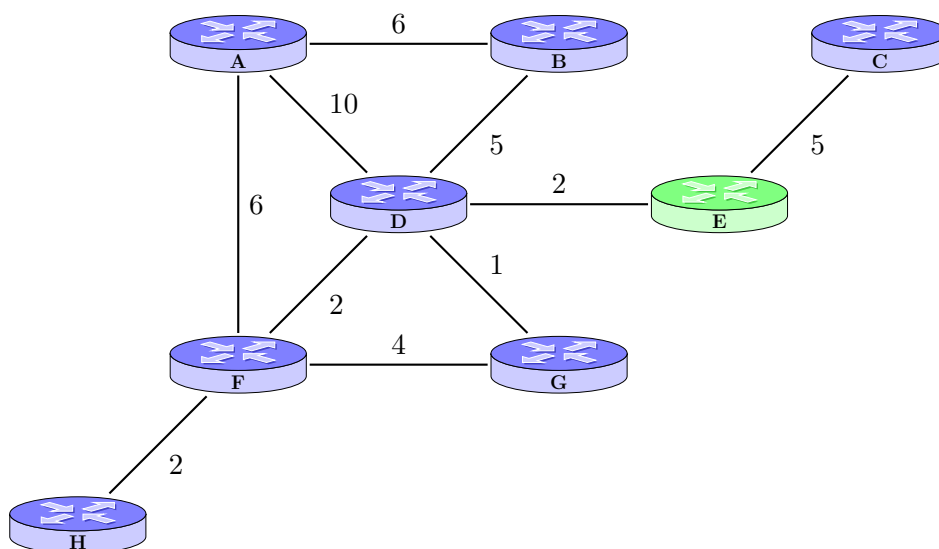
ii. $\mathbf{f} \xrightarrow{2} \mathbf{F} \xrightarrow{2} \mathbf{C} \xrightarrow{1} \mathbf{D} \xrightarrow{4} \mathbf{d}$

iv. $\mathbf{b} \xrightarrow{1} \mathbf{B} \xrightarrow{1} \mathbf{C} \xrightarrow{1} \mathbf{c}$

Questão 4 15 pontos

O algoritmo de Dijkstra — que leva o nome do professor holandês Edsger W. Dijkstra, que o desenvolveu em 1956 — é um dos algoritmos mais utilizados para encontrar os caminhos mais curtos em uma rede onde as arestas (enlaces) possuem pesos não negativos. Este algoritmo é utilizado, por exemplo, na Internet, para que roteadores, conhecendo a topologia da rede em questão, possam calcular rotas ótimas e encaminhar pacotes segundo estas rotas. Algoritmos de roteamento que seguem esta ideia são ditos algoritmos do tipo estado de enlace (*link state*). O objetivo desta questão é entender como funciona o algoritmo de Dijkstra.

Considere a rede ilustrada abaixo, onde os enlaces estão anotados com seus respectivos custos.



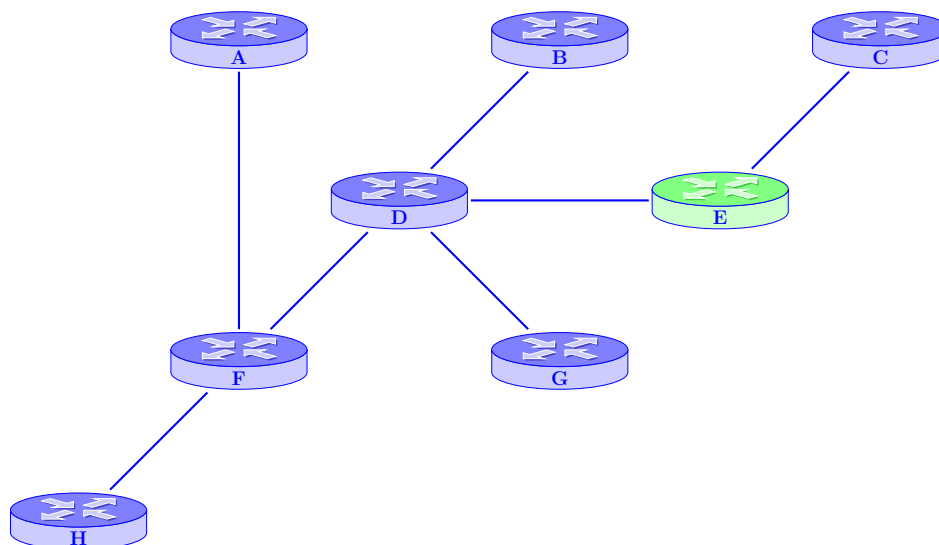
- (a) Utilizando o algoritmo de Dijkstra, calcule os caminhos mais curtos a partir do nó E, destacado em verde, para todos os outros nós da rede. Construa uma tabela igual à mostrada em aula que mostra o funcionamento do algoritmo de forma iterativa.

Resposta:

	N'	$d_A p_A$	$d_B p_B$	$d_C p_C$	$d_D p_D$	$d_F p_F$	$d_G p_G$	$d_H p_H$
0	E	∞ -	∞ -	5 E	2 E	∞ -	∞ -	∞ -
1	ED	12 D	7 D	5 E		4 D	3 D	∞ -
2	EDG	12 D	7 D	5 E		4 D		∞ -
3	EDGF	10 F	7 D	5 E				6 F
4	EDGFC	10 F	7 D					6 F
5	EDGFCH	10 F	7 D					
6	EDGFCHB	10 F						
7	EDGFCHBA							

- (b) A partir do resultado do item anterior, construa a árvore de caminhos mínimos a partir de E calculada pelo algoritmo. Construa também a tabela de roteamento de E.

Resposta:

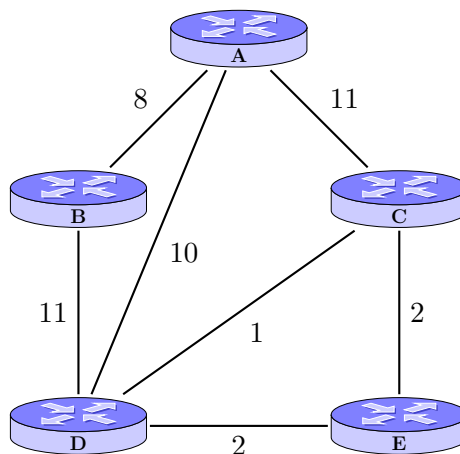


Já para montar a tabela de roteamento, devemos determinar, para cada nó da rede, qual é o *primeiro* enlace no caminho de E até este nó. Para isto, podemos utilizar duas estratégias: (i) utilizamos a tabela do item anterior e, para cada nó, consultamos quem é o seu antecessor, e quem é o antecessor deste, e assim sucessivamente até alcançarmos o nó E; ou (ii) utilizamos a árvore de caminhos mínimos para verificar qual é o caminho que liga cada nó ao nó E, e selecionamos o primeiro enlace deste caminho.

Destino	A	B	C	D	F	G	H
Enlace de saída	(E,D)	(E,D)	(E,C)	(E,D)	(E,D)	(E,D)	(E,D)

Questão 5 15 pontos

Algoritmos de roteamento do tipo *distance vector* são algoritmos distribuídos para calcular os caminhos mais curtos em uma rede com custos. Nestes algoritmos, os nós da rede não possuem conhecimento da topologia da rede e atualizam seus caminhos mínimos em função de mensagens trocadas com seus vizinhos — isto é, os nós devem continuamente cooperar uns com os outros, através da troca de informações, para que todos descubram seus caminhos mínimos. O objetivo desta questão é compreender como funcionam estes algoritmos.



(a) Considere a rede ilustrada acima, onde os enlaces estão anotados com seus respectivos

custos. Vamos assumir que os nós da rede executam uma versão síncrona do algoritmo *distance vector*, de forma que cada passo do algoritmo é executado por todos os nós simultaneamente, antes de todos avançarem para o passo seguinte.

Antes da execução do algoritmo, todos os nós sabem apenas o custo dos enlaces que os liga a seus vizinhos. Determine as tabelas de distância iniciais de cada nó. A partir destas tabelas de distância, determine também os vetores de distância iniciais de cada nó. Este é o “passo 0” do algoritmo.

Resposta:

Passo 0:

A		custo até				B	custo até				C	custo até				D	custo até				E	custo até							
		B	C	D	E			A	C	D	E			A	B	D	E			A	B	C	E			A	B	C	D
via	B	8	∞	∞	∞	via	A	8	∞	∞	∞	via	A	11	∞	∞	∞	via	A	10	∞	∞	∞	via	C	∞	∞	2	∞
	C	∞	11	∞	∞		D	∞	∞	11	∞		D	∞	∞	1	∞		D	∞	∞	∞	2						
	D	∞	∞	10	∞		E	∞	∞	∞	2		E	∞	∞	∞	2												

vetor de A					vetor de B					vetor de C					vetor de D					vetor de E				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
0	8	11	10	∞	8	0	∞	11	∞	11	∞	0	1	2	10	11	1	0	2	∞	∞	2	2	0

- (b) Na primeira iteração do algoritmo, todos os nós enviam aos seus vizinhos os vetores de distância calculados no passo 0. Cada nó utiliza os vetores recebidos para compor uma nova tabela de distâncias, e utiliza esta nova tabela para atualizar o seu próprio vetor de distâncias. Determine as novas tabelas de distância de cada nó e, a partir delas, calcule os novos vetores de distância de cada nó. Isto conclui o passo 1 do algoritmo.

Resposta:

Passo 1:

A		custo até				B	custo até				C	custo até				D	custo até				E	custo até							
		B	C	D	E			A	C	D	E			A	B	D	E			A	B	C	E			A	B	C	D
via	B	8	∞	19	∞	via	A	8	19	18	∞	via	A	11	19	21	∞	via	A	10	18	21	∞	via	C	13	∞	2	3
	C	∞	11	12	13		D	21	12	11	13		D	11	12	1	3		B	19	11	∞	∞		D	12	13	3	2
	D	21	11	10	12							E	∞	∞	4	2	C	12	∞	1	3								
vetor de A					vetor de B					vetor de C					vetor de D					vetor de E									
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E					
0	8	11	10	12	8	0	12	11	13	11	12	0	1	2	10	11	1	0	2	12	13	2	2	0					

- (c) As iterações seguintes do algoritmo procedem da mesma forma que a primeira, mas utilizando os vetores de distância calculados no passo anterior. Esta dinâmica irá continuar até a *convergência* do algoritmo, isto é, até que chegue um passo em que o vetor de distâncias de todos os nós não se modifique. Repita o item anterior — isto é, determine as novas tabelas de distância e recalcule os vetores de distância de todos os nós — até que ocorra a convergência do algoritmo. Em quantos passos ocorreu esta convergência?

Resposta:

O algoritmo irá convergir em apenas 2 passos.

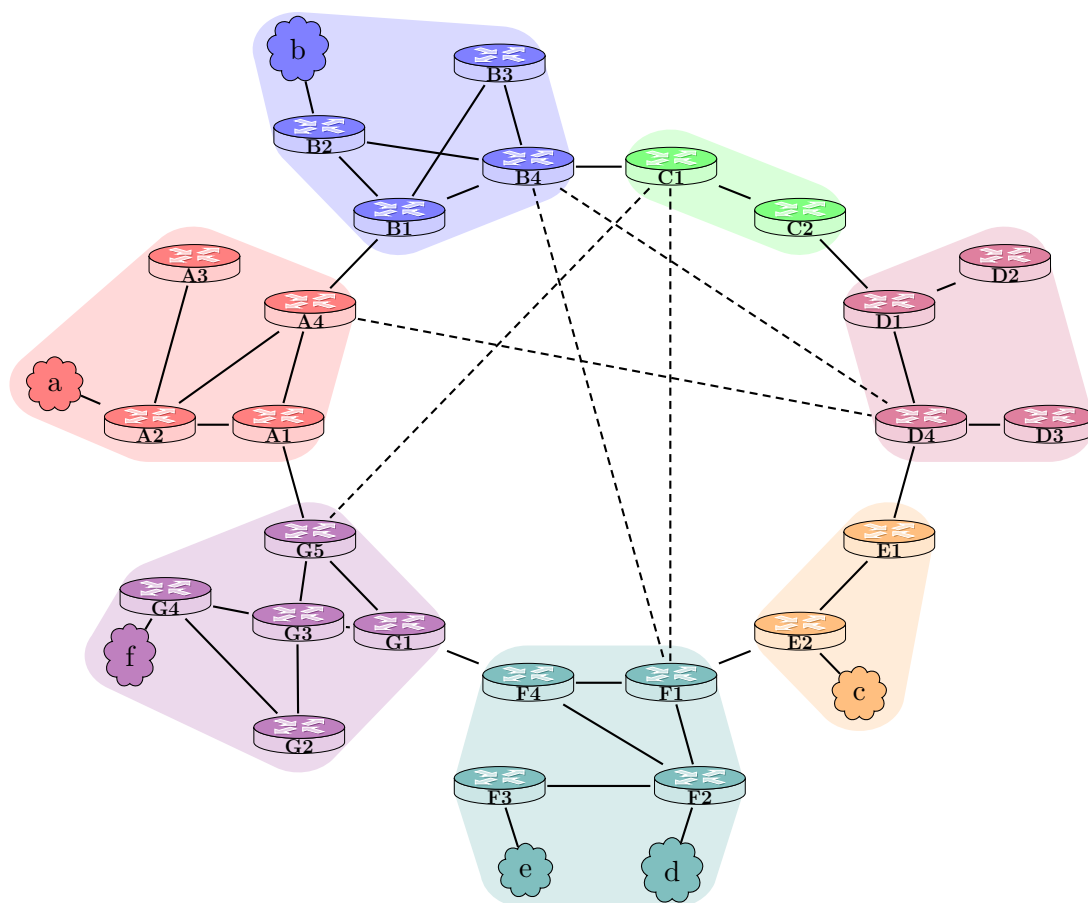
Passo 2:

A	custo até				B	custo até				C	custo até				D	custo até				E	custo até			
	B	C	D	E		A	C	D	E		A	B	D	E		A	B	C	E		A	B	C	D
via B	8	20	19	21	via A	8	19	18	20	via A	11	19	21	23	via A	10	18	21	22	via C	13	14	2	3
via C	23	11	12	13	via D	21	12	11	13	via D	11	12	1	3	via B	19	11	23	24	via D	12	13	3	2
via D	21	11	10	12						via E	14	15	4	2	via C	12	13	1	3					
															via E	14	15	4	2					

vetor de A					vetor de B					vetor de C					vetor de D					vetor de E				
A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
0	8	11	10	12	8	0	12	11	13	11	12	0	1	2	10	11	1	0	2	12	13	2	2	0

Questão 6 10 pontos

Ao contrário de roteamento dentro de um sistema autônomo (intra-AS), que é orientado a desempenho (encontrar caminhos mínimos pelos quais os pacotes irão transitar), o roteamento entre sistemas autônomos (inter-AS) na Internet é orientado a política de uso. Os sistemas autônomos negociam enlaces entre eles e políticas de utilização para estes enlaces. O objetivo desta questão é compreender o funcionamento do protocolo de roteamento inter-AS utilizado na Internet, o BGP.



Considere a rede a seguir, onde as cores distintas identificam diferentes sistemas autônomos (AS). Nesta rede, há dois tipos de enlaces entre ASs: os enlaces denotados por linhas contínuas, que formam um ciclo entre todos os ASs, compõem o *backbone* da rede, e podem

ser utilizados por todo tipo de tráfego. Além disso, alguns ASs negociam *peering links*, “atalhos” diretos entre eles, denotados por linhas tracejadas. Cada um destes enlaces somente pode ser utilizado para comunicações entre estações destes ASs, não sendo permitido tráfego de terceiros. As nuvens, identificadas por letras minúsculas, representam subredes.

- (a) Determine se, entre cada um dos seguintes pares de roteadores, existe comunicação iBGP ou eBGP (ou indique se não houver comunicação BGP entre eles).

- | | | |
|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| i. E2 e D3 : — | v. E1 e E2 : iBGP | ix. C2 e C1 : iBGP |
| ii. G4 e G2 : iBGP | vi. F4 e G1 : eBGP | x. F1 e B4 : eBGP |
| iii. C2 e E2 : — | vii. B4 e D4 : eBGP | xi. A4 e F3 : — |
| iv. A4 e B1 : eBGP | viii. F2 e F1 : iBGP | xii. C1 e G5 : eBGP |

- (b) Considere, agora, que diversos pacotes serão enviados entre estas redes. Em cada item abaixo, são apresentados as subredes de origem e destino de um destes pacotes. Determine quais ASs estes pacotes irão atravessar e, a partir desta informação, determine os roteadores que ele irá atravessar até o seu destino.

- i. $f \rightarrow b$
ASs: G - A - B
Caminho: G4 - G3 - G5 - A1 - A4 - B1 - B2
- ii. $e \rightarrow d$
ASs: F
Caminho: F3 - F2
- iii. $a \rightarrow f$
ASs: A - G
Caminho: A2 - A1 - G5 - G3 - G4
- iv. $a \rightarrow c$
ASs: A - G - F - E
Caminho: A2 - A1 - G5 - G1 - F4 - F1 - E2
- v. $a \rightarrow d$
ASs: A - G - F
Caminho: A2 - A1 - G5 - G1 - F4 - F2
- vi. $e \rightarrow b$
ASs: F - B
Caminho: F3 - F2 - F1 - B4 - B2
- vii. $a \rightarrow e$
ASs: A - G - F
Caminho: A2 - A1 - G5 - G1 - F4 - F2 - F3
- viii. $a \rightarrow b$
ASs: A - B
Caminho: A2 - A4 - B1 - B2
- ix. $c \rightarrow d$
ASs: E - F
Caminho: E2 - F1 - F2

x. $c \rightarrow e$ **ASs: E - F****Caminho: E2 - F1 - F2 - F3**

(c) Em cada item a seguir, os ASs apresentados devem tomar a decisão de anunciar ou não uma rota até uma determinada subrede para um AS vizinho. Com base nas políticas de utilização descritas anteriormente, determine se os ASs realizarão tais anúncios. Considere que a rota em questão é a rota que o AS anunciante utiliza para enviar seus pacotes para a subrede destino.

- i. AS E **anuncia** rota até c para AS D
- ii. AS G **não anuncia** rota até d para AS C
- iii. AS G **não anuncia** rota até b para AS C
- iv. AS E **anuncia** rota até c para AS F
- v. AS B **anuncia** rota até b para AS A
- vi. AS F **anuncia** rota até e para AS B
- vii. AS A **não anuncia** rota até b para AS D
- viii. AS D **não anuncia** rota até d para AS A

Questão 7 15 pontos

Considere o problema de tradução de endereços entre a rede privada e a rede pública que um NAT precisa resolver. Este problema é resolvido utilizando uma tabela de tradução de endereços que é atualizada quando uma nova conexão é estabelecida entre uma estação na rede privada e outra na rede pública. O objetivo desta questão é compreender exatamente como funciona este mecanismo.

Considere um NAT cujo endereço IP na rede pública é 70.161.139.127 e que gerencia as conexões da rede privada, que ocupa a faixa 10.0.0.0/8. Inicialmente o NAT em questão possui a seguinte tabela de tradução, onde cada regra é identificada por um número:

	(IP, porta) da estação local	(IP, porta) da estação remota	Porta pública no NAT
(1)	10.0.0.1, 15887	153.186.182.45, 20640	19577
(2)	10.0.0.1, 18532	203.165.145.81, 27148	1027
(3)	10.0.0.1, 4837	157.1.58.94, 18392	9821
(4)	10.0.0.2, 18881	136.159.61.253, 29404	13485
(5)	10.0.0.1, 10821	159.9.226.63, 9982	1029
(6)	10.0.0.3, 16670	190.223.47.67, 17938	1026
(7)	10.0.0.4, 14200	171.62.234.2, 5836	15889
(8)	10.0.0.3, 13933	100.101.58.113, 30330	29074
(9)	10.0.0.3, 23926	205.118.178.37, 4880	23483
(10)	10.0.0.5, 25344	123.137.189.111, 14875	22854

Suponha que todos os fluxos nesta questão são fluxos TCP, identificados unicamente pelos endereços e portas das duas estações envolvidas na conexão.

- (a) Considere que o NAT irá receber uma sequência de pacotes provenientes da rede pública (cuja estação de destino está na rede privada). Em cada item a seguir, identificamos os endereços e portas, de origem e destino, de um destes pacotes ao ser enviado pela estação que o gerou. Para cada pacote, determine os endereços e portas, de origem e de destino, que serão colocados no pacote quando o NAT realizar a tradução de endereços e encaminhá-lo à rede privada. Se o NAT descartar o pacote em vez de encaminhá-lo, indique isto em sua resposta.

- i. Origem: 205.118.178.37, 4880; Destino: 70.161.139.127, 23483
→ **Origem: 205.118.178.37, 4880; Destino: 10.0.0.3, 23926**
- ii. Origem: 190.223.47.67, 17938; Destino: 70.161.139.127, 1027
descartado
- iii. Origem: 136.159.61.253, 29404; Destino: 70.161.139.127, 13485
→ **Origem: 136.159.61.253, 29404; Destino: 10.0.0.2, 18881**
- iv. Origem: 159.9.226.63, 9982; Destino: 70.161.139.127, 22854
descartado
- v. Origem: 158.145.178.214, 19066; Destino: 70.161.139.127, 1029
descartado
- vi. Origem: 157.1.58.94, 18392; Destino: 70.161.139.127, 22854
descartado
- vii. Origem: 205.90.140.208, 15079; Destino: 70.161.139.127, 1026
descartado
- viii. Origem: 187.23.198.222, 32665; Destino: 70.161.139.127, 23483
descartado
- ix. Origem: 64.144.85.255, 28996; Destino: 70.161.139.127, 1029
descartado
- x. Origem: 123.137.189.111, 14875; Destino: 70.161.139.127, 22854
→ **Origem: 123.137.189.111, 14875; Destino: 10.0.0.5, 25344**

- (b) Considere agora, que o NAT irá receber uma sequência de pacotes provenientes da rede privada (cuja estação de destino está na rede pública). Os endereços e portas, de origem e destino, destes pacotes são identificados nos itens a seguir.

Para cada pacote, determine se o NAT precisará ou não criar uma nova entrada em sua tabela de tradução ao encaminhá-lo para a rede pública. Se a nova entrada for necessária, determine o seu conteúdo; se não, identifique a entrada já existente que o NAT irá utilizar para encaminhar o pacote. Considere que somente portas a partir da 1024 estão disponíveis para o NAT. Note que há mais de uma solução correta.³

- i. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
Encaminhado segundo a entrada (8)

- ii. Origem: 10.0.0.5, 25344; Destino: 123.137.189.111, 2515
Nova entrada:

	(IP, porta) local	(IP, porta) destino	Porta pública no NAT
(11)	10.0.0.5, 25344	123.137.189.111, 2515	1024

- iii. Origem: 10.0.0.3, 16670; Destino: 190.223.47.67, 11370
Nova entrada:

	(IP, porta) local	(IP, porta) destino	Porta pública no NAT
(12)	10.0.0.3, 16670	190.223.47.67, 11370	1025

- iv. Origem: 10.0.0.1, 10821; Destino: 159.9.226.63, 9982
Encaminhado segundo a entrada (5)

³Dica 1: cuidado com as portas já utilizadas. Dica 2: a entrada que um pacote criar pode ser utilizada pelos que forem enviados depois.

- v. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
Encaminhado segundo a entrada (8)
- vi. Origem: 10.0.0.3, 16670; Destino: 190.223.47.67, 11370
Encaminhado segundo a entrada (12)
- vii. Origem: 10.0.0.5, 25344; Destino: 123.137.189.111, 2515
Encaminhado segundo a entrada (11)
- viii. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
Encaminhado segundo a entrada (8)
- ix. Origem: 10.0.0.1, 4837; Destino: 157.1.58.94, 18392
Encaminhado segundo a entrada (3)
- x. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 31993
Nova entrada:

	(IP, porta) local	(IP, porta) destino	Porta pública no NAT
(13)	10.0.0.3, 13933	100.101.58.113, 31993	1028

- (c) Utilizando sua resposta para o item (b), determine os endereços e portas, de origem e destino, que o NAT irá colocar em cada um dos pacotes anteriores quando for encaminhá-lo à rede pública.

- i. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
→ **Origem: 70.161.139.127, 29074; Destino: 100.101.58.113, 30330**
- ii. Origem: 10.0.0.5, 25344; Destino: 123.137.189.111, 2515
→ **Origem: 70.161.139.127, 1024; Destino: 123.137.189.111, 2515**
- iii. Origem: 10.0.0.3, 16670; Destino: 190.223.47.67, 11370
→ **Origem: 70.161.139.127, 1025; Destino: 190.223.47.67, 11370**
- iv. Origem: 10.0.0.1, 10821; Destino: 159.9.226.63, 9982
→ **Origem: 70.161.139.127, 1029; Destino: 159.9.226.63, 9982**
- v. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
→ **Origem: 70.161.139.127, 29074; Destino: 100.101.58.113, 30330**
- vi. Origem: 10.0.0.3, 16670; Destino: 190.223.47.67, 11370
→ **Origem: 70.161.139.127, 1025; Destino: 190.223.47.67, 11370**
- vii. Origem: 10.0.0.5, 25344; Destino: 123.137.189.111, 2515
→ **Origem: 70.161.139.127, 1024; Destino: 123.137.189.111, 2515**
- viii. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 30330
→ **Origem: 70.161.139.127, 29074; Destino: 100.101.58.113, 30330**
- ix. Origem: 10.0.0.1, 4837; Destino: 157.1.58.94, 18392
→ **Origem: 70.161.139.127, 9821; Destino: 157.1.58.94, 18392**
- x. Origem: 10.0.0.3, 13933; Destino: 100.101.58.113, 31993
→ **Origem: 70.161.139.127, 1028; Destino: 100.101.58.113, 31993**

Questão 8 10 pontos

A técnica de bit de paridade é frequentemente usada para detectar erros em transmissões de sequências de bits. O objetivo desta questão é entender como calcular o bit de paridade e como a técnica é empregada para detecção de erros.

- (a) Considere o mecanismo de paridade par. Calcule o bit de paridade para cada um dos pacotes de 10 bits abaixo.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| i. 1010111000 — paridade 1 | xi. 1001000010 — paridade 1 |
| ii. 1111100100 — paridade 0 | xii. 1111001101 — paridade 1 |
| iii. 1010011000 — paridade 0 | xiii. 1111001010 — paridade 0 |
| iv. 0000000110 — paridade 0 | xiv. 1010111011 — paridade 1 |
| v. 1111011010 — paridade 1 | xv. 0001111011 — paridade 0 |
| vi. 1110000011 — paridade 1 | xvi. 0000100111 — paridade 0 |
| vii. 0011110010 — paridade 1 | xvii. 0001001101 — paridade 0 |
| viii. 0110110011 — paridade 0 | xviii. 1100011100 — paridade 1 |
| ix. 1101111101 — paridade 0 | xix. 1110010111 — paridade 1 |
| x. 0111000000 — paridade 1 | xx. 0010010110 — paridade 0 |

- (b) Suponha que cada pacote acima foi transmitido juntamente com seu bit de paridade por um canal de comunicação ruidoso. Este canal pode introduzir erros invertendo os bits que são transmitidos, como um canal de rádio. Considere que a estação do outro lado do canal recebeu os bits indicados nos itens abaixo (onde o último bit da sequência é o bit de paridade recebido). Repare que o bit de paridade também está sujeito aos erros introduzidos pelo canal!

Para cada pacote, determine a paridade da sequência recebida, e determine também se o pacote será aceito ou rejeitado em função das paridades⁴. Baseado neste resultado, decida, para cada pacote, se a técnica de detecção de erro funcionou adequadamente, ou seja, se os erros de bit apresentados pelo pacote foram detectados.

- | | |
|--|--|
| i. Pacote: 1010111000
Recebido: 10001110101
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado | v. Pacote: 1111011010
Recebido: 11110000100
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado |
| ii. Pacote: 1111100100
Recebido: 11111001000
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Sem erro | vi. Pacote: 1110000011
Recebido: 10100000011
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado |
| iii. Pacote: 1010011000
Recebido: 10110100000
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado | vii. Pacote: 0011110010
Recebido: 00111100101
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Sem erro |
| iv. Pacote: 0000000110
Recebido: 00000000000
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado | viii. Pacote: 0110110011
Recebido: 01101000110
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado |

⁴Lembre-se que o receptor dos dados não possui acesso ao pacote original, logo ele não pode comparar o pacote recebido com o original para decidir se aceita ou não.

- | | |
|---|--|
| ix. Pacote: 1101111101
Recebido: 11011111010
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Sem erro | xv. Pacote: 00011111011
Recebido: 000011110110
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado |
| x. Pacote: 0111000000
Recebido: 01111000001
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado | xvi. Pacote: 0000100111
Recebido: 00001001100
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado |
| xi. Pacote: 1001000010
Recebido: 10011001101
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado | xvii. Pacote: 0001001101
Recebido: 00000011011
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado |
| xii. Pacote: 1111001101
Recebido: 01011011011
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado | xviii. Pacote: 1100011100
Recebido: 10000011001
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado |
| xiii. Pacote: 1111001010
Recebido: 11110010100
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Sem erro | xix. Pacote: 1110010111
Recebido: 11110101110
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Erro não-detectado |
| xiv. Pacote: 1010111011
Recebido: 11101011111
Paridade: 1 — Pacote rejeitado
Resultado: Erro detectado | xx. Pacote: 0010010110
Recebido: 00100101100
Paridade: 0 — Pacote aceito
Resultado: Sem erro |

QUESTÕES EXTRAS

Questão 9 5 pontos

O protocolo TDMA é um protocolo de acesso a um meio de transmissão compartilhado. Ele funciona alocando fatias de tempo (*slots*) às estações de forma sucessiva. Somente a estação a quem o slot pertencer pode transmitir em um dado momento e, se ela não possuir dados, o meio fica ocioso. Nesta questão você deve compreender como funciona este mecanismo.

Considere um meio compartilhado por 6 estações por TDMA, em slots de 50 ms. Suponha que as estações transmitam dados a uma taxa de 50 Mbps, em quadros de 10416 bytes.

- (a) Qual é a quantidade máxima de dados que uma estação pode transmitir em um slot?

Resposta:

Em um único slot, cada estação pode transmitir até 312480 bytes de dados.

- (b) Qual é o maior número de quadros que uma estação pode transmitir em um slot?

Resposta:

Cada estação transmite no máximo 30 quadros por slot.

- (c) Considere agora que as estações estejam prontas para transmitir seus dados conforme a tabela a seguir. Repare que cada estação irá transmitir uma quantidade diferente de dados, e que estes dados estarão disponíveis em instantes de tempo diferentes.

	Dados	Pronta para transmitir em
Estação 1	5.0 Mbits	0.0 ms
Estação 2	5.0 Mbits	599.0 ms
Estação 3	1.25 Mbits	430.0 ms
Estação 4	5.25 Mbits	106.0 ms
Estação 5	6.5 Mbits	791.0 ms
Estação 6	5.0 Mbits	125.0 ms

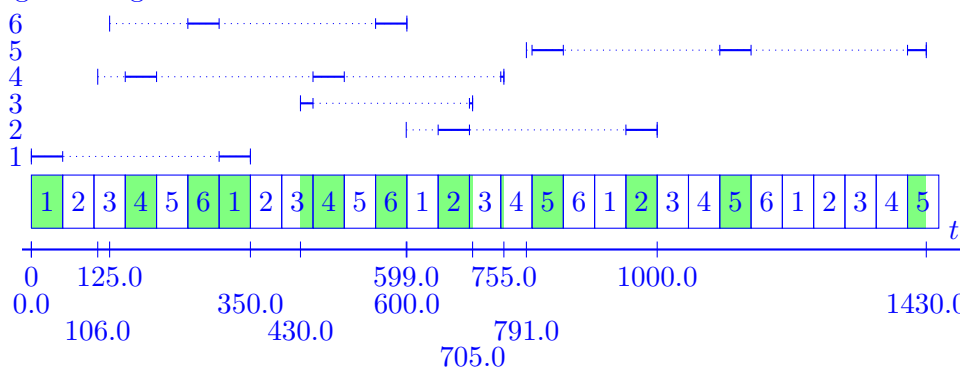
Suponha que o primeiro slot pertence à estação 1 e segue em ordem crescente. Para cada estação, determine:

- Quantos quadros são necessários para transmitir seus dados;
- O instante de tempo em que seu primeiro quadro começa a ser transmitido;
- O instante de tempo em que a estação termina de transmitir seu último quadro;
- O retardo inicial da transmissão;⁵
- A vazão média (*throughput*) obtida pela estação.⁶

Resposta:

	(i) Quadros	(ii) — (iii) Período de transmissão	(iv) Retardo inicial	(v) Vazão média
Estação 1	60 quadros	0.0 ms — 350.0 ms	0.0 ms	14.3 Mbps
Estação 2	60 quadros	650.0 ms — 1000.0 ms	51.0 ms	12.5 Mbps
Estação 3	15 quadros	430.0 ms — 705.0 ms	0.0 ms	4.5 Mbps
Estação 4	63 quadros	150.0 ms — 755.0 ms	44.0 ms	8.1 Mbps
Estação 5	78 quadros	800.0 ms — 1430.0 ms	9.0 ms	10.2 Mbps
Estação 6	60 quadros	250.0 ms — 600.0 ms	125.0 ms	10.5 Mbps

A figura a seguir ilustra o cenário de transmissões observado:



- (d) No cenário anterior, determine a vazão (*throughput*) média e a utilização média (fração de tempo em uso) do meio de transmissão. Para ambos, considere o tempo desde a primeira disponibilidade dos dados (entre todas as estações) até o final de todas as transmissões.

⁵Tempo decorrido entre a estação ter dados para transmitir e a transmissão efetivamente iniciar.

⁶Razão entre a quantidade de dados transmitidos e o tempo necessário para transmitir estes dados, medido entre a disponibilidade dos dados e o final da transmissão.

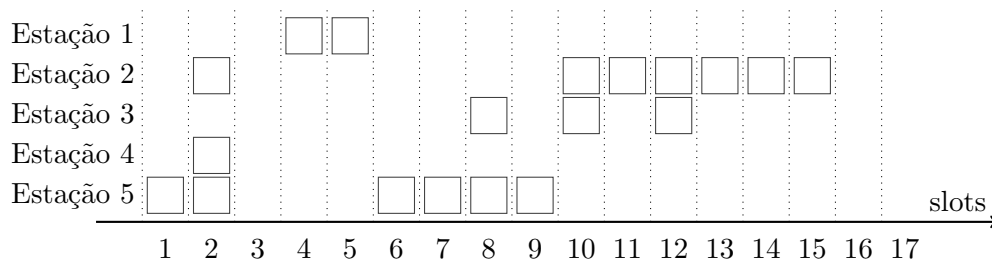
Resposta:

Durante o período de tempo considerado, foi obtida uma vazão média de 19.58 Mbps. Isto corresponde a uma utilização do meio de 39.2% neste período.

Questão 10..... 5 pontos

Em contraste com o protocolo TDMA, o protocolo Slotted ALOHA (S-ALOHA) é um protocolo de acesso a meio de transmissão compartilhado com uma abordagem distribuída, porém sincronizada e que ainda permite a ocorrência de colisões. Nesta questão você deve compreender como funciona este protocolo.

Considere o seguinte perfil de transmissões realizadas por estações executando o protocolo Slotted ALOHA.



- (a) Para cada slot de tempo mostrado na figura acima, determine se ocorreu uma transmissão com sucesso (S), uma colisão (C), ou se o slot permaneceu ocioso (O).

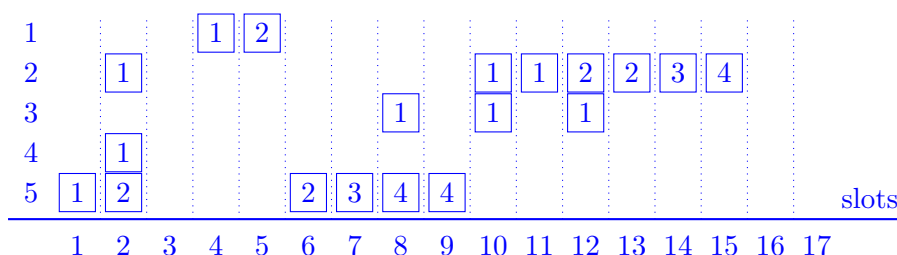
Resposta:

slot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
estado	S	C	O	S	S	S	S	C	S	C	S	C	S	S	S	O	O

- (b) Considere que cada estação deseja transmitir o seguinte número de quadros a partir do instante de tempo zero:

Estação	Quadros para transmitir
Estação 1	2 quadros
Estação 2	4 quadros
Estação 3	3 quadros
Estação 4	3 quadros
Estação 5	4 quadros

Utilizando o perfil de transmissões ilustrado na figura acima, determine qual quadro está sendo transmitido por cada estação em cada uma das transmissões realizadas. Identifique cada quadro com o seu número de ordem na sequência transmitida por aquela estação.

Resposta:

- (c) Determine o instante de tempo em que cada uma das estações consegue realizar sua primeira transmissão de quadro com sucesso.

Resposta:

Estação	Primeira transmissão
Estação 1	Slot 4
Estação 2	Slot 11
Estação 3	Nenhum sucesso
Estação 4	Nenhum sucesso
Estação 5	Slot 1

- (d) Determine quantos quadros restam a ser transmitidos por cada uma das estações ao final do tempo mostrado acima.

Resposta:

Estação	Quadros restantes
Estação 1	0 quadros
Estação 2	0 quadros
Estação 3	3 quadros
Estação 4	3 quadros
Estação 5	0 quadros

- (e) Determine a utilização e a eficiência de uso do canal — lembrando que a utilização é dada pela fração de tempo que o canal foi utilizado, e a eficiência é dada pela fração de tempo que o canal foi utilizado com sucesso.

Resposta:

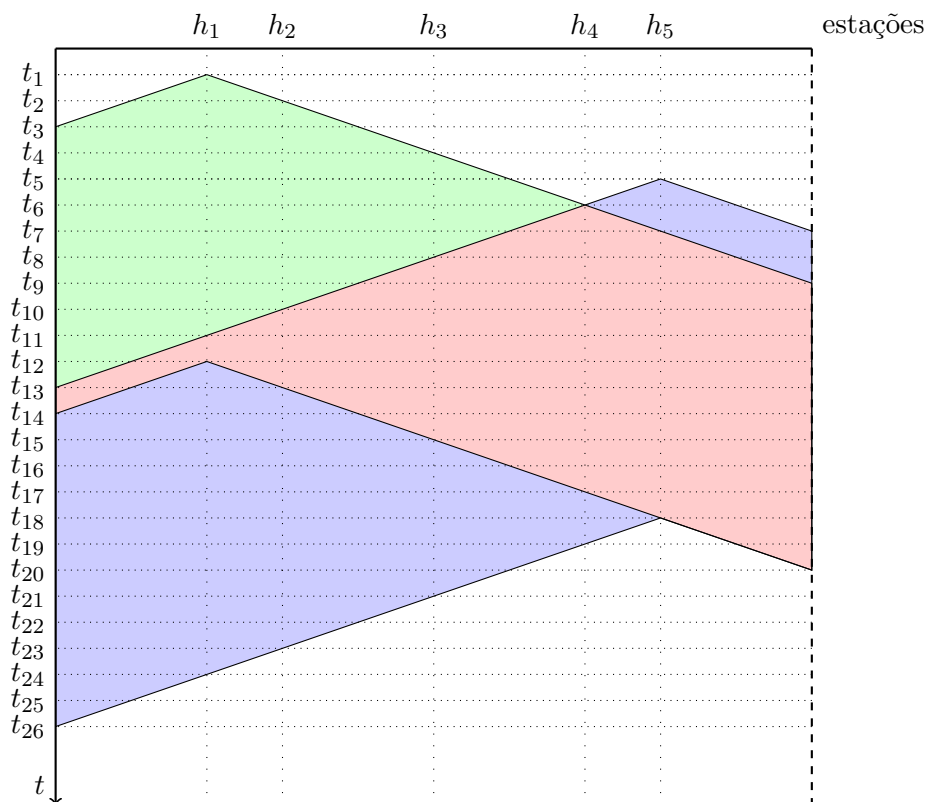
A utilização do canal nesse período foi de 82.4%. Já a eficiência de uso do canal foi bem inferior, 58.8%.

Questão 11 5 pontos

O CSMA é um dos mecanismos mais utilizados para acessar o meio compartilhado, fazendo parte do padrão Ethernet. Uma de suas principais características é que, antes de iniciarem suas transmissões, as estações escutam o meio para detectar transmissões que estejam em andamento, minimizando (mas não evitando) as colisões. O objetivo desta questão é compreender melhor o funcionamento deste mecanismo.

Considere o cenário de transmissão ilustrado na figura a seguir, onde o posicionamento das estações é apresentado no eixo horizontal, e o tempo no eixo vertical. Responda às

perguntas utilizando a figura.



- (a) Quais estações transmitiram? Em que instantes de tempo cada uma destas estações iniciou e terminou sua transmissão?

Resposta:

Duas estações transmitiram: a estação h_1 iniciou sua transmissão primeiro, utilizando o meio entre os instantes de tempo t_1 e t_{12} . Depois disto, a estação h_5 transmite dados entre t_5 e t_{18} .

- (b) Considere todas as estações que não transmitiram. Determine o instante de tempo que cada uma delas começa e termina de receber cada uma das transmissões.

Resposta:

Estação	Transmissão de h_1	Transmissão de h_5
h_2	$t_2 - t_{13}$	$t_{10} - t_{23}$
h_3	$t_4 - t_{15}$	$t_8 - t_{21}$
h_4	$t_6 - t_{17}$	$t_6 - t_{19}$

- (c) Para cada estação, determine o instante de tempo em que ela detecta a colisão.
- (d) Para cada estação, determine o período de tempo em que ela percebe o meio como ocupado.

Resposta:

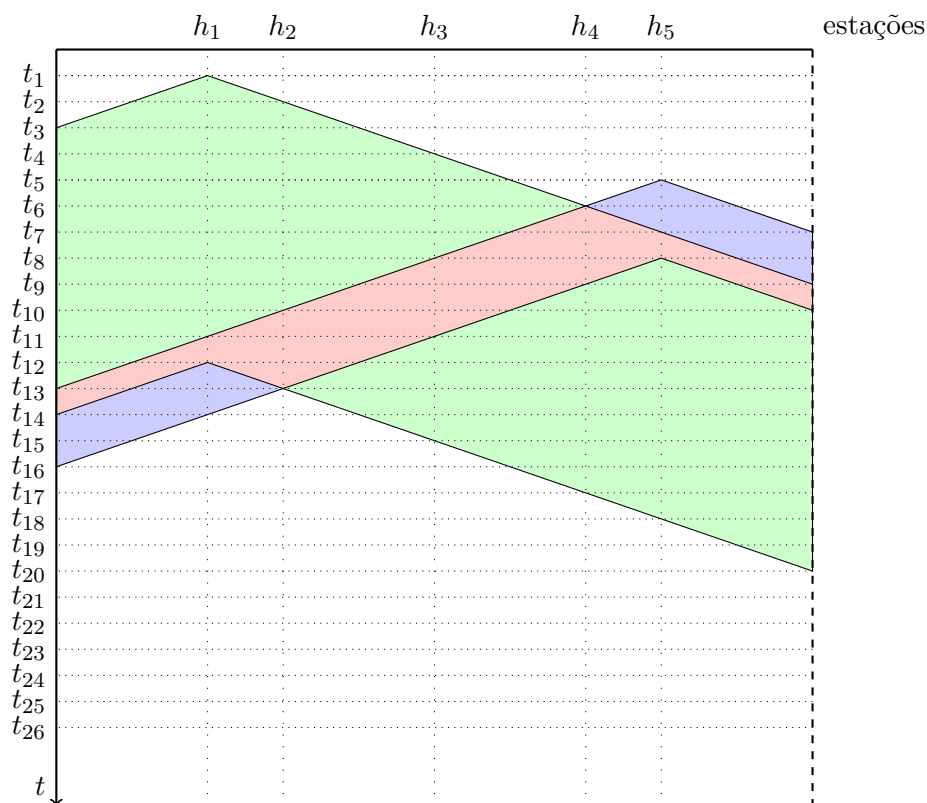
Estação	Vê meio ocupado entre:	Detecta colisão em:
h_1	$t_1 - t_{24}$	t_{11}
h_2	$t_2 - t_{23}$	t_{10}
h_3	$t_4 - t_{21}$	t_8
h_4	$t_6 - t_{19}$	t_6
h_5	$t_5 - t_{18}$	t_7

- (e) Considere os instantes de tempo t_2 , t_{11} e t_{21} . Quais estações podem iniciar uma transmissão nestes instantes de tempo?

Resposta:

	Estações:
t_2	h_3, h_4, h_5
t_{11}	—
t_{21}	h_4, h_5

- (f) Considere agora o mesmo cenário de transmissão acima, mas com o uso do protocolo CSMA/CD, conforme ilustrado na figura a seguir. Repita os itens (a) a (e) para este cenário.



Resposta:

Novamente, as estações h_1 e h_5 transmitiram. Desta vez, a estação h_1 transmitiu entre os instantes de tempo t_1 e t_{12} , e a estação h_5 transmitiu entre os instantes de tempo t_5 e t_8 . As demais estações recebem estas transmissões conforme a tabela a seguir:

Estação	Transmissão de h_1	Transmissão de h_5
h_2	$t_2 - t_{13}$	$t_{10} - t_{13}$
h_3	$t_4 - t_{15}$	$t_8 - t_{11}$
h_4	$t_6 - t_{17}$	$t_6 - t_9$

As estações irão receber transmissões e detectar a colisão das mesmas nestes instantes de tempo:

Estação	Vê meio ocupado entre:	Detecta colisão em:
h_1	$t_1 - t_{14}$	t_{11}
h_2	$t_2 - t_{13}$	t_{10}
h_3	$t_4 - t_{15}$	t_8
h_4	$t_6 - t_{17}$	t_6
h_5	$t_5 - t_{18}$	t_7

Por fim, nos instantes de tempo assinalados, as estações que enxergam o meio como livre (e, portanto, podem transmitir) são as seguintes:

	Estações:
t_2	h_3, h_4, h_5
t_{11}	—
t_{21}	h_1, h_2, h_3, h_4, h_5

- (g) Compare os períodos de tempo em que as estações percebem o meio como ocupado nos dois casos. Qual foi o ganho de tempo trazido pelo CSMA/CD para cada estação?

Resposta:

O ganho de tempo, para cada estação, é dado pelo período em que a estação veria o meio como ocupado com o protocolo CSMA, mas como livre com o protocolo CSMA/CD. Este período de tempo é indicado nesta tabela:

Estação	Ganho de tempo
h_1	$t_{14} - t_{24}$
h_2	$t_{13} - t_{23}$
h_3	$t_{15} - t_{21}$
h_4	$t_{17} - t_{19}$
h_5	$t_{18} - t_{18}$