

# Relatório Mini-Projeto 1

## **Modelação e Desempenho de Redes e Serviços**

Ana Ferreira 93301 (aluisaf@ua.pt)  
João Ferreira 93305 (joaodiogohf@ua.pt)

Dezembro 2021



<b>Código</b>	<b>2</b>
Tarefas 1 a, b e c	2
Tarefa 1 d	2
Tarefa 1 e	2
Tarefa 2 a, d	2
Tarefa 2 b, e	3
Tarefa 2 c	3
Tarefa 2 f	3
<b>Tarefa 1</b>	<b>4</b>
a.	4
b.	5
c.	6
d.	7
e.	7
<b>Tarefa 2</b>	<b>9</b>
a.	9
b.	11
c.	12
d.	13
e.	15
f.	16

# Código

## Tarefas 1 a, b e c

O código desenvolvido para estas 3 tarefas é essencialmente o mesmo, apenas mudando os parâmetros que vão variando em cada uma delas.

Foi usado o Simulador 1 desenvolvido na aula.

Usando um vetor com os valores do parâmetro desejado, por exemplo, variando o lambda, é feito um loop a percorrê-los, onde para cada um é simulado 50 vezes. Os valores obtidos a partir das expressões usadas nas aulas, para o parâmetro de desempenho pedido e para a sua confiança, são guardados em vetores que são usados na construção de gráficos de barras com intervalos de erros.

## Tarefa 1 d

Foi definido o lambda, um vetor com as capacidades pretendidas e um vetor com os tamanhos de pacotes possíveis, entre 64 e 1518. Para cada um destes tamanhos, foi calculada uma igual probabilidade para todos, menos em 3 casos, onde foram atribuídos valores de 19% para 64 bytes, 23% para 110 bytes e 17% para 1518, de acordo com o enunciado. De seguida, executando um loop a percorrer cada capacidade definida, é calculado um vetor com os tempos ( $\text{packetSize} * 8 / (\text{capacity} * 10^6)$ ) e outro com os tempos ao quadrado. Com isto é possível calcular o tempo médio para um pacote, fazendo o somatório da probabilidade de cada pacote multiplicado pelo respetivo tempo. O mesmo é feito com os tempos ao quadrado. Por fim é aplicada a fórmula para sistemas M/G/1, de onde resulta o tempo médio que demora na fila de espera.

O resultado final é o tempo médio que demora na fila de espera mais o tempo de transmissão médio por cada pacote mais o seu delay de propagação. Como o resultado se encontra em segundos, para comparar melhor com os gráficos, foi multiplicado por 1000, para converter para milissegundos.

## Tarefa 1 e

Foi desenvolvido uma nova versão do simulador 1 para estimar os novos parâmetros de average packet delay para os pacotes de 64, 110 e 1518 bytes. Neste simulador vamos fazer a contagem para cada um dos tipos de pacote, em função do tamanho do pacote enviado, esta verificação é feita no simulador no "Departure".

Tal como nas alíneas anteriores os parâmetros de interesse e respetivo erro foram calculados e armazenados, para serem usados na construção de gráficos com intervalos de erros.

## Tarefa 2 a, d

O código desenvolvido segue o mesmo procedimento das tarefas anteriores, aplicando os parâmetros de interesse. Nestas tarefas foi usado o simulador 3. Para a tarefa "a" foi calculado o atraso médio dos pacotes VoIP e dados em função do número de fluxos VoIP.

Para a tarefa “d” foi calculado adicionalmente a percentagem de pacotes perdidos. No final são construídos os gráficos com a informação pretendida.

## Tarefa 2 b, e

O código desenvolvido para estas 2 tarefas é igual ao das tarefas 2.a. e 2.d. Apenas é mudado o simulador usado para o 4.

## Tarefa 2 c

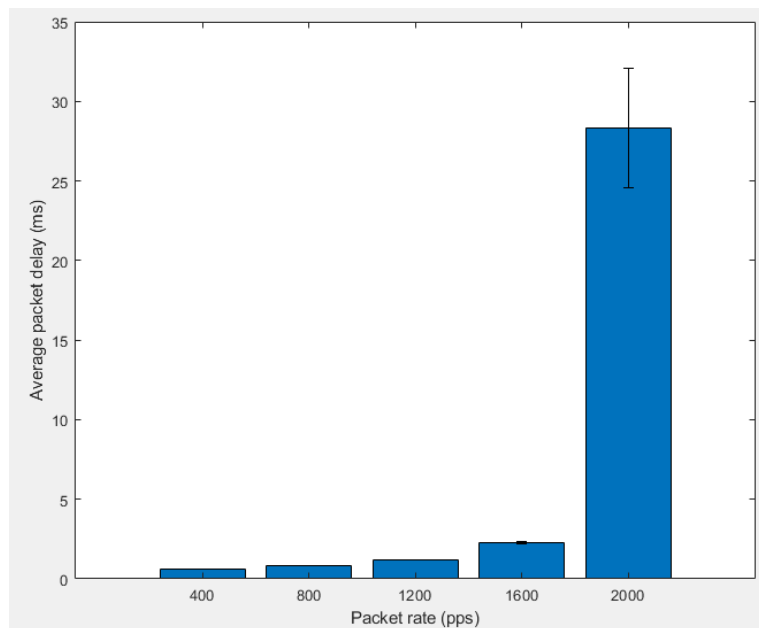
Primeiramente foram calculados os valores de probabilidade para cada tamanho de pacotes de dados. De seguida, foi calculada a esperança e o segundo momento do tempo de transmissão dos pacotes de dados e VoIP. No caso dos pacotes foram usadas as expressões da distribuição uniforme, “ $E(X) = 1/2(b+a)$ ” e “ $E(X^2) = (b^3 - a^3) / (3*b - 3*a)$ ”, onde “a” é o valor mínimo da distribuição (valor mínimo do tempo de transmissão e do tempo de chegada) e “b” o valor máximo (valor máximo do tempo de transmissão e do tempo de chegada). O valor da frequência de chegada dos pacotes VoIP corresponde ao inverso da esperança do tempo de chegada, para n fluxos VoIP corresponde ao valor anterior multiplicado por n. Com todos estes valores determinados somos então capazes de calcular os valores de atraso no sistema dos dois tipos de pacotes. No fim, os valores são representados num gráfico de barras, do sistema M/G/1.

## Tarefa 2 f

O código desenvolvido para o processamento dos parâmetros de desempenho é igual ao da alínea 2.e, mudando apenas o simulador usado para o 5. Neste simulador apenas foi mudada uma linha em relação ao 4, a linha 79, onde na chegada de um pacote de dados, se a ligação estiver ocupada, é verificado se a ocupação da fila naquele momento somada com o tamanho do pacote que está a chegar, isto tudo a dividir pelo tamanho total da fila de espera, é menor ou igual a 90%, aplicando assim uma versão simplificada do Weighted Random Early Discard.

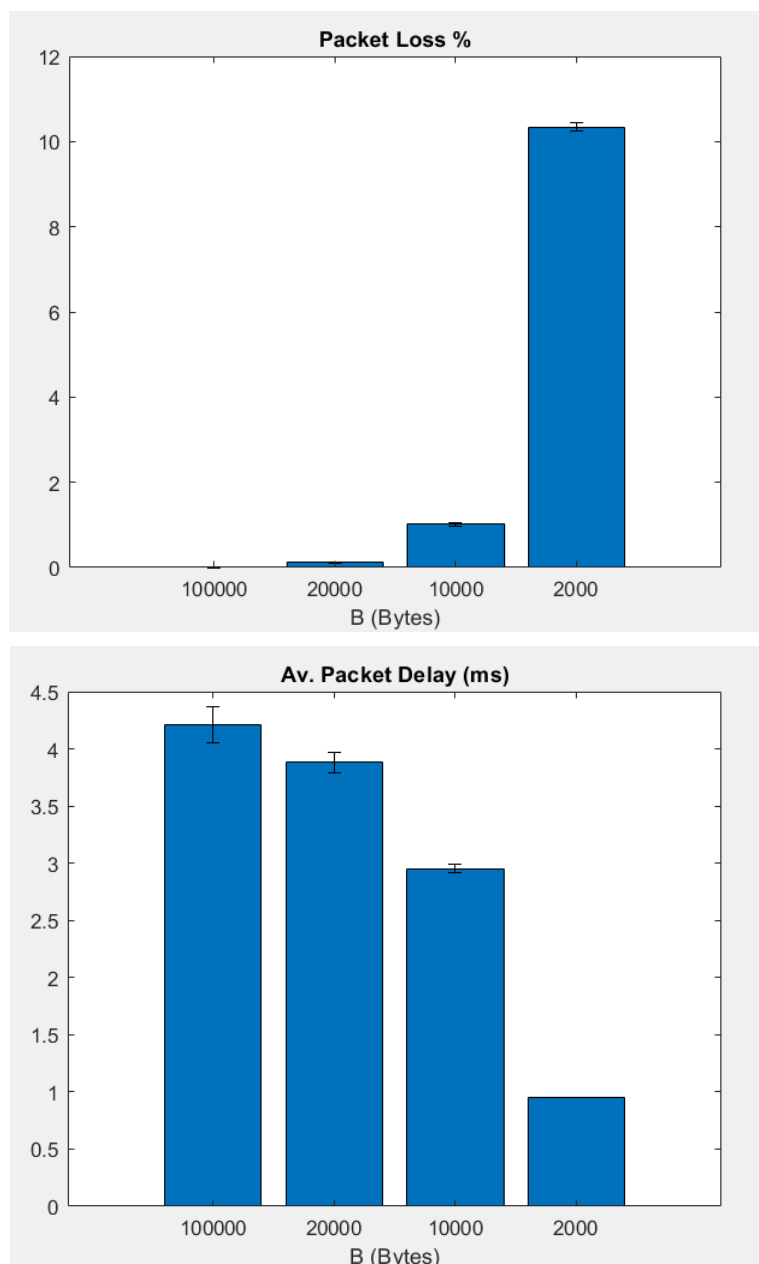
# Tarefa 1

a.



Com os dados obtidos, podemos observar o aumento do average packet delay à medida que o packet rate aumenta. Aumentado o packet rate de 1600 pps para 2000 pps, podemos observar um aumento significativamente maior no average packet delay, relativamente aos restantes valores obtidos. Uma vez que estamos a assumir uma capacidade de transmissão de 10 Mbps, como uma taxa de 2000 pps a capacidade da ligação torna-se insuficiente, provocando um aumento grande do average packet delay (para pacotes de tamanho médio de 600 MBytes a uma taxa de 2000 pps, temos uma taxa de 9 600 000 bps, que é quase o valor da capacidade da ligação).

b.



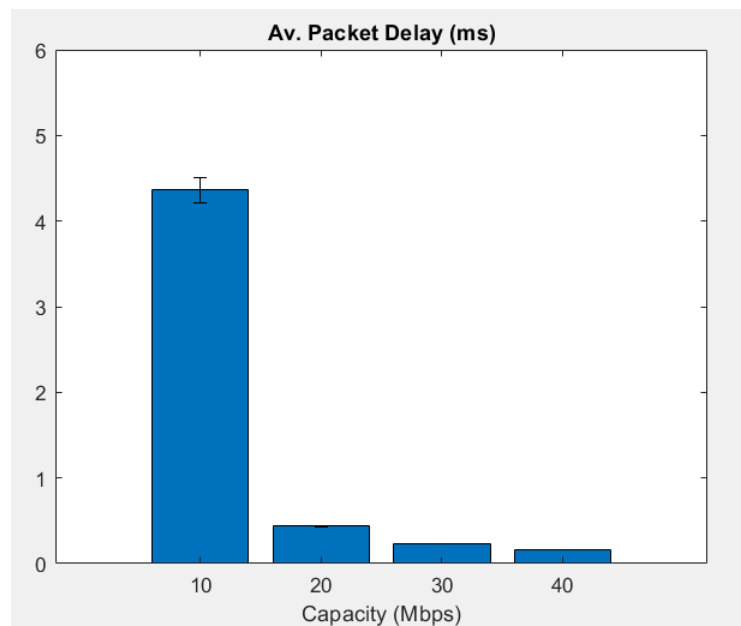
Por observação do gráfico de packet loss é possível concluir que quanto menor for o tamanho da fila de espera, mais probabilidade há de se perderem pacotes. E que com um tamanho de fila de espera muito grande, 100.000 Bytes, a probabilidade de se perderem é 0%.

Os resultados estão de acordo com o que era previsto, porque ao ter filas de espera mais pequenas, estas enchem com mais facilidade, o que provoca perda de pacotes, já que os que chegam são descartados. Ao ter uma fila de 100.000 Bytes é muito pouco provável que esta atinja o máximo de ocupação, porque pode ser equiparada a uma fila de espera de tamanho infinito, logo não haverá pacotes perdidos.

Por observação do gráfico de average packet delay obtém-se que para tamanhos de fila maiores o atraso de transmissão de pacotes é maior. Visto que para tamanhos de fila maiores a tendência é transmitir a totalidade dos pacotes, a quantidade de pacotes que vão

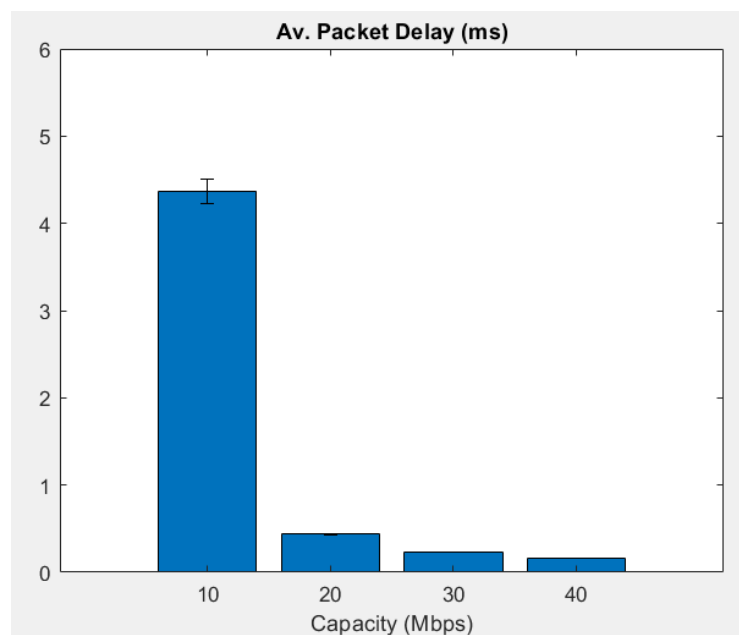
estar na fila de espera aumenta em média, o que provoca um aumento no atraso médio de cada pacote. Em filas de espera mais pequenas, o atraso médio é mais pequeno, havendo uma grande quantidade de pacotes descartados antes de chegarem à fila de espera e um número médio de pacotes na lista de espera menor, logo os pacotes descartados não vão contribuir para o atraso de pacotes e os pacotes que chegam vão ver em média uma fila de espera menor.

C.



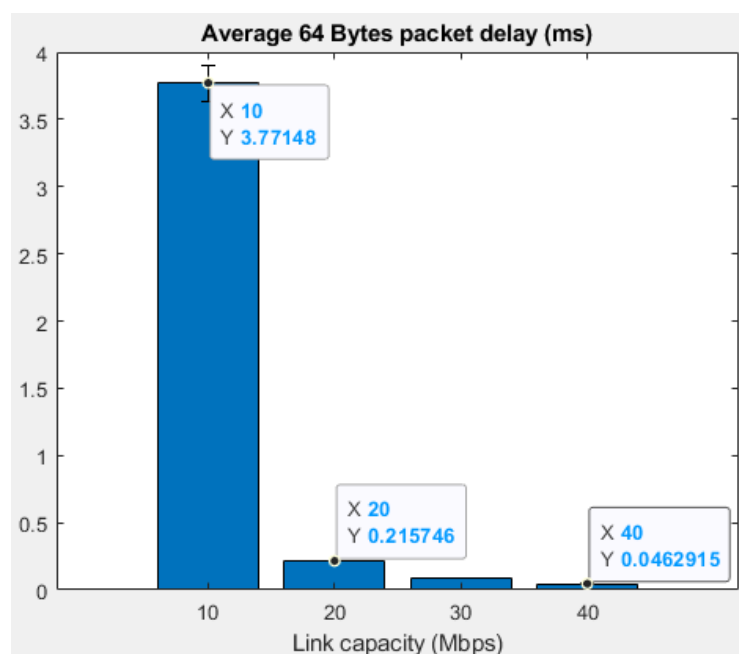
Por observação do gráfico obtém-se que para capacidade de ligação menores o atraso de transmissão de pacotes é maior. Quando a ligação tem menos capacidade, vão existir mais pacotes na fila de espera, visto que a sua transmissão vai ser mais lenta, o que faz com que o atraso dos mesmos seja maior. O contrário acontece para capacidades maiores.

d.

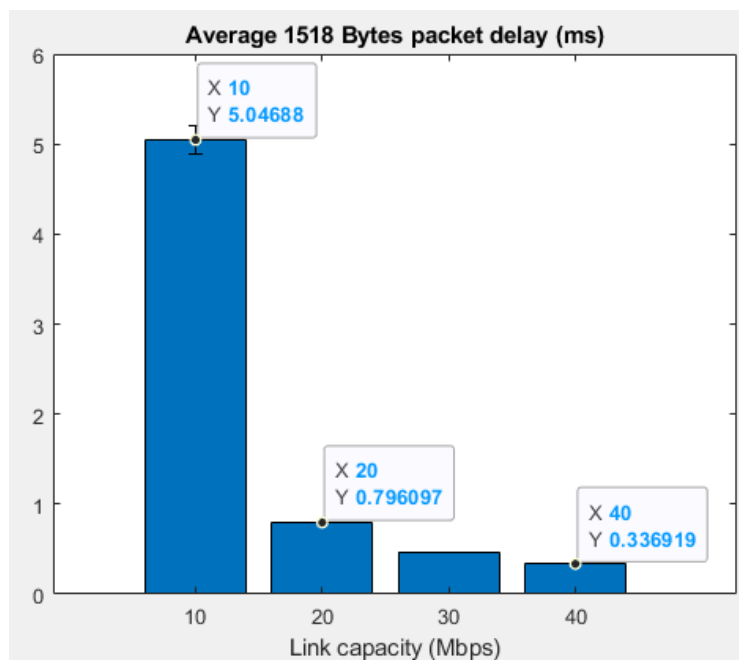
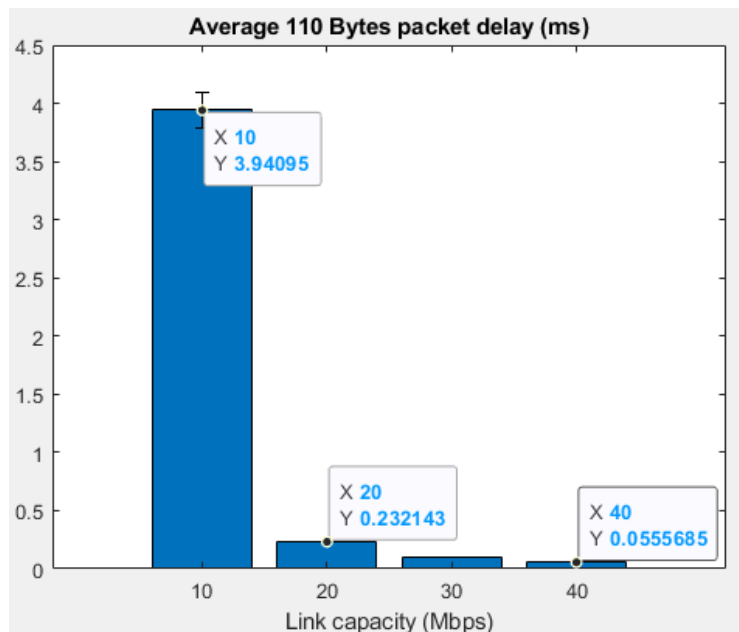


Os resultados obtidos teoricamente usando o modelo M/G/1 para todos os casos de diferentes capacidades pedidos na alínea 1.c, são muito próximos dos obtidos experimentalmente na simulação. O que significa que com os parâmetros atribuídos, conseguimos uma boa aproximação da realidade.

e.







Comparando os resultados com os obtidos na alínea 1.c, podemos observar o mesmo fenômeno, onde o aumento da capacidade de ligação conduz a valores de atraso menores, para todos os tamanhos de pacotes. Os pacotes de 64 e 110 Bytes apresentam valores médios de atraso menores e os pacotes de 1518 maiores, quando comparados com os valores obtidos com a alínea 1.c.

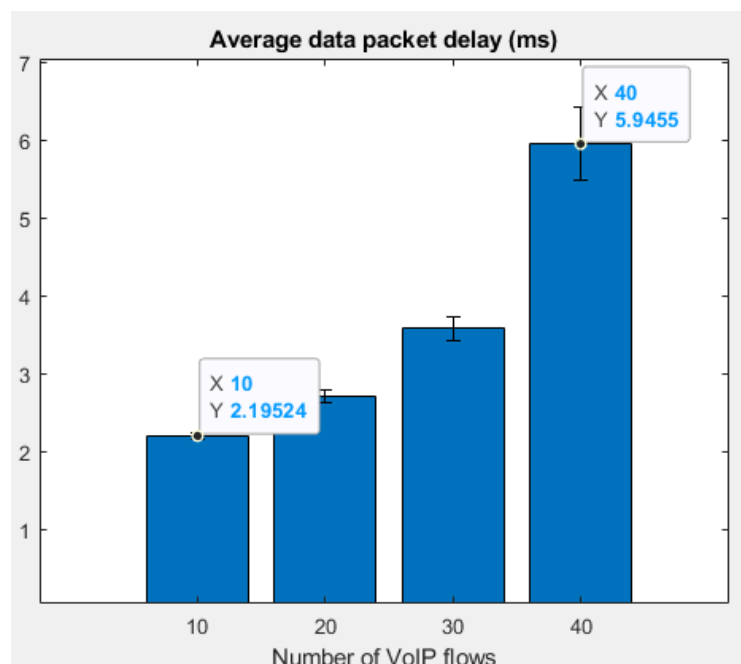
Os pacotes de 110 Bytes têm um atraso médio ligeiramente superior em relação aos pacotes de 64 Bytes para os diferentes valores de capacidade da ligação. Como a diferença entre os seus tamanhos de pacotes não é muito grande, a diferença no atraso médio acaba também por não ser. Para além disso, podemos observar valores de atraso muito reduzidos para a capacidade de ligação de 40Mbps (0,05 ms e 0,06 ms).

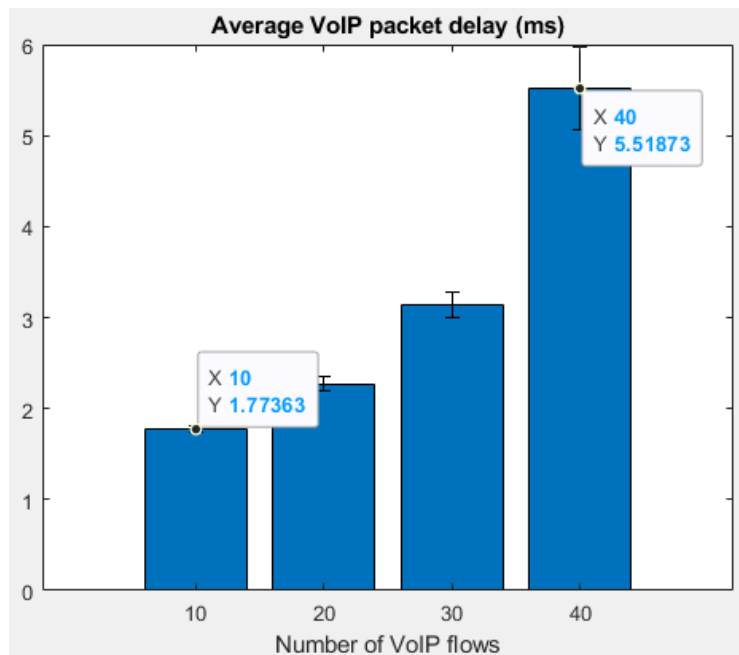
O mesmo não acontece com os pacotes de 1518 Bytes, neste caso podemos observar que relativamente aos valores obtidos para os restantes tamanhos de pacotes, o valor obtido para o average packet delay é significativamente superior em todos os valores de capacidade da ligação. A razão entre o atraso dos pacotes de 1518 Bytes e os atrasos obtidos para os outros pacotes tende a aumentar com o aumento da capacidade do link. Por exemplo, para a capacidade de 10 Mbps, a razão entre o atraso dos pacotes de 1518 e 64 é de  $(5.0/3.8 \approx 1.3)$ , ou seja, cerca de 30% superior. Para a capacidade de 40 Mbps, esta razão é de  $(0.34/0.05 \approx 6.8)$ , ou seja, quase 7 vezes superior. A razão entre o atraso dos pacotes de 110 Bytes e o atraso de pacotes de 64 Bytes também tende a aumentar com a capacidade, embora não tão expressivamente.

Para ligações de alto débito, o atraso na fila de espera torna-se cada vez menor e por isso o average packet delay torna-se fortemente influenciado pelo tempo de transmissão do pacote, que é tanto maior quanto maior for o tamanho do pacote. Este facto explica os resultados obtidos na simulação.

## Tarefa 2

a.

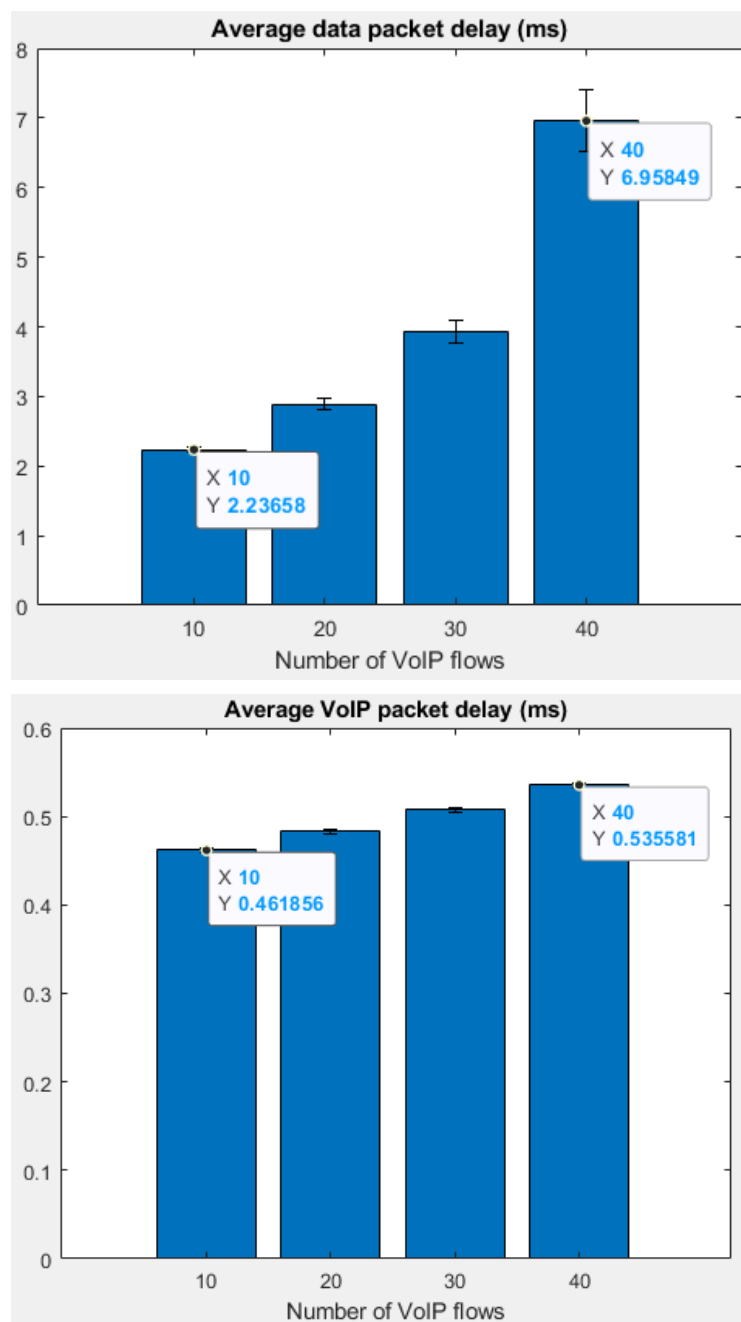




Analisando os gráficos obtidos para o average packet delay dos pacotes de dados e VoIP, concluímos que à medida que aumentam os fluxos VoIP, o tempo médio de atraso dos pacotes de dados e VoIP aumenta de igual forma para ambos os fluxos. O que é esperado, uma vez que o aumento do número de fluxos VoIP, causa um aumento no número de dados transmitidos na ligação, implicando um aumento no atraso dos pacotes (maior congestionamento, mais tempo na fila de espera).

Também podemos observar uma ligeira diferença entre o delay médio dos pacotes de dados em relação aos pacotes VoIP. Para o número de fluxos VoIP igual a 10 e 40, obtivemos diferenças semelhantes, 0.42 ms (2.20-1.77) no primeiro e 0.43 ms (5.95-5.52). Esta diferença aparenta ser constante para os diferentes números de fluxos VoIP. Como os pacotes são multiplexados estaticamente, os pacotes de dados e VoIP demoraram, em média, o mesmo tempo na fila de espera. A diferença no average delay time pode ser explicada pelo facto de que os pacotes de dados são em média maior que os pacotes de VoIP, por isso demoram mais tempo a ser transmitidos.

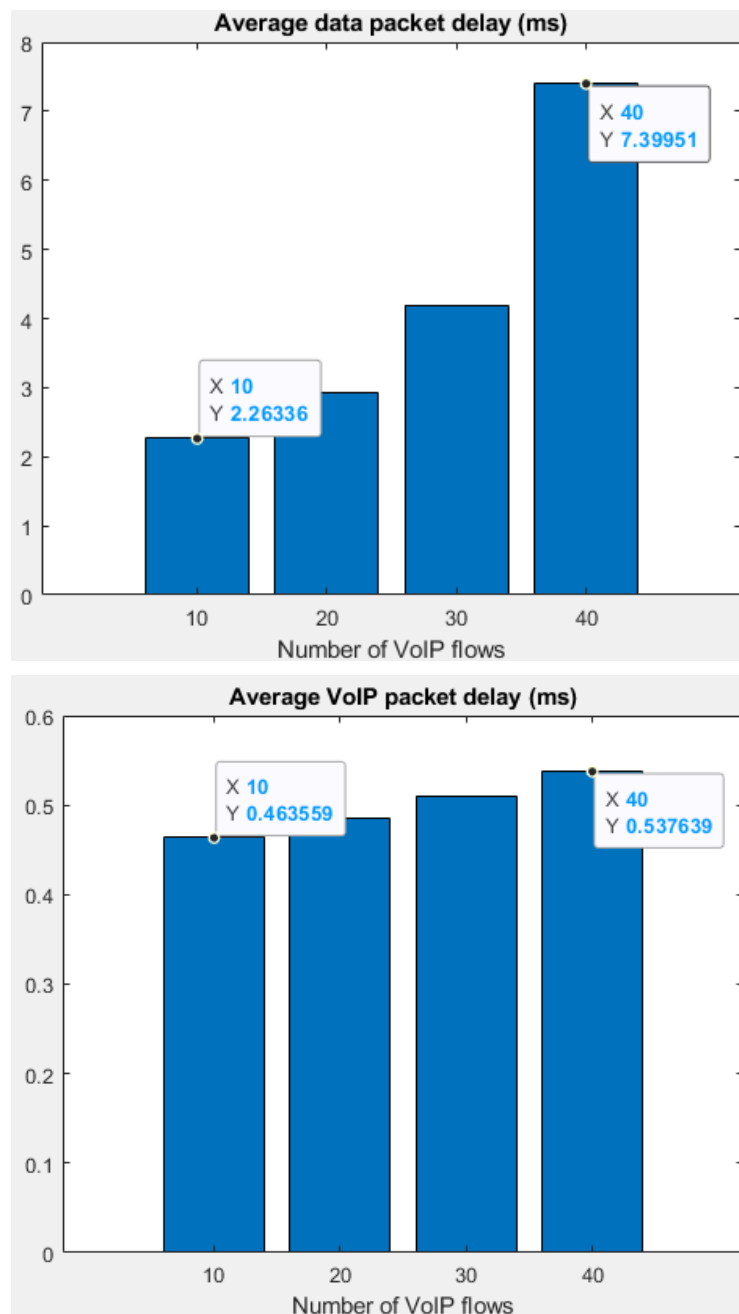
b.



Comparando os resultados obtidos com os resultados da alínea 2.a., os valores de average packet delay foram superiores aos valores anteriores e esta diferença torna-se tanto maior quantos mais fluxos VoIP existirem (0.04 ms (2.24 - 2.20) com 10 fluxos e 1.01 ms (6.96 - 5.95) com 40 fluxos). Os valores de average delay para os pacotes VoIP desceram e essa diferença torna-se tanto maior quanto o número de fluxos VoIP (-1.31 ms (0.46-1.77) para 10 fluxos e -4.98 ms (0.54 - 5.52) para 40 fluxos). A diminuição do tempo médio do delay dos pacotes VoIP é consequência da política da prioridade dos pacotes VoIP, em relação aos de dados, implementada no simulador 4. Como os pacotes VoIP têm prioridade na lista de espera o seu tempo de delay torna-se menor, o delay dos pacotes de dados por consequência torna-se maior.

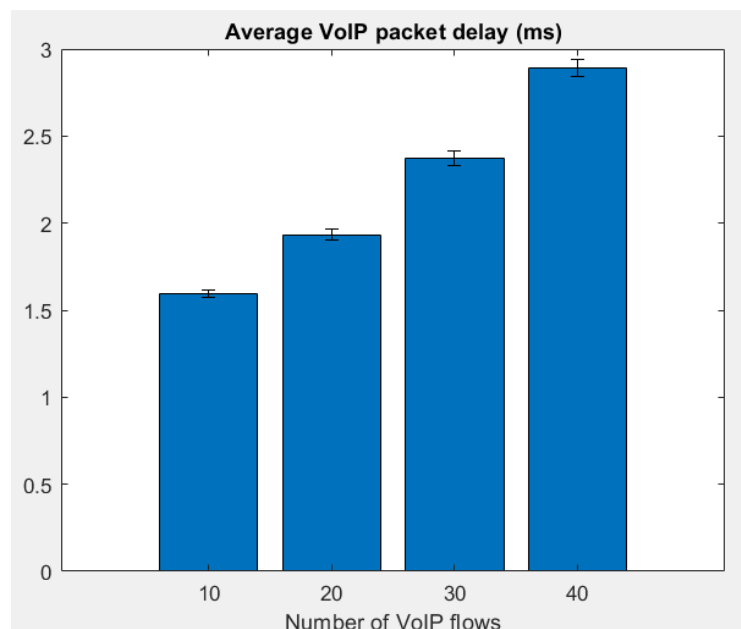
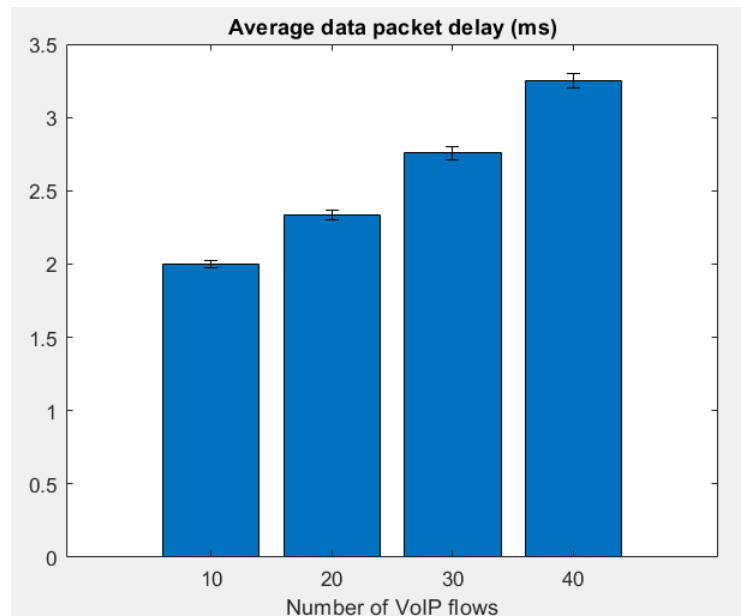
Podemos observar um aumento no average packet delay para os pacotes VoIP linear com o número de ligações, apenas vão ser atrasados por pacotes do mesmo tipo numa disciplina FIFO. No caso dos pacotes de dados, esse aumento torna-se exponencial, uma vez que os pacotes de dados só são transmitidos quando não houverem pacotes VoIP e dentro dos pacotes de dados são transmitidos numa disciplina FIFO. No limite, se tivermos um número de VoIP suficientemente grande, nunca vão ser transmitidos (starvation).

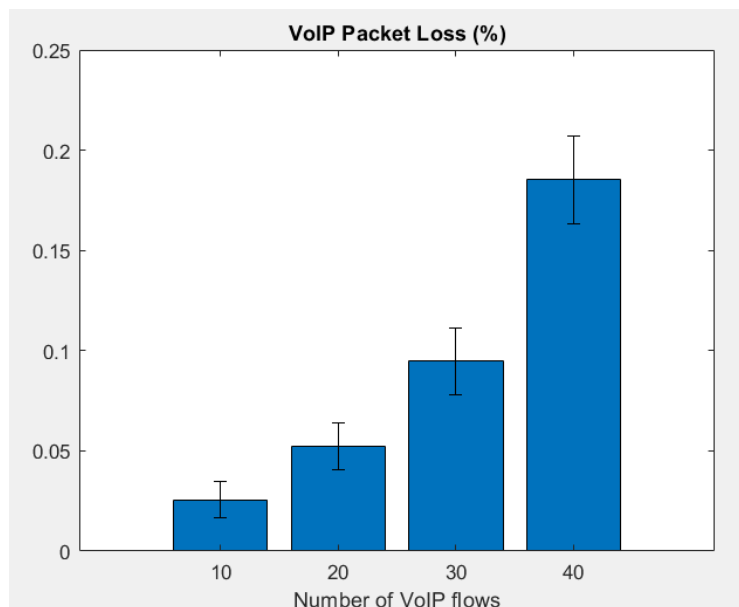
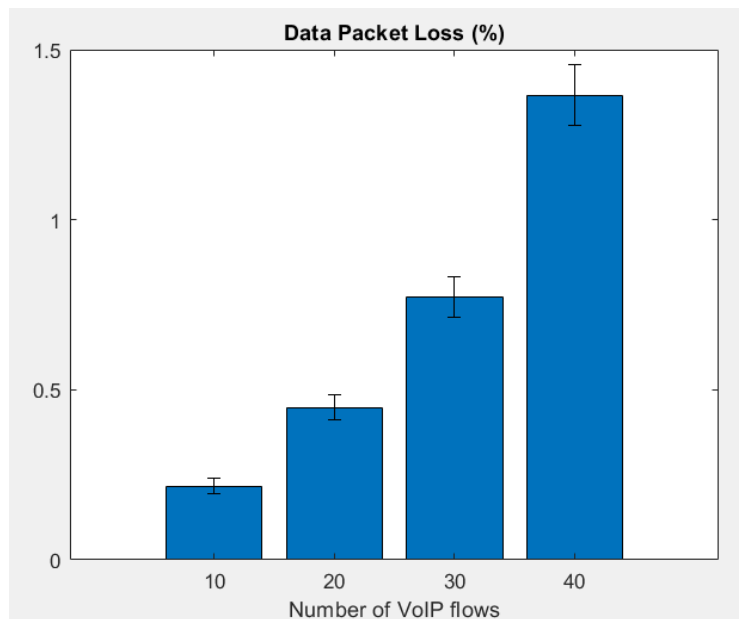
C.



Os teóricos obtidos são muito próximos dos valores obtidos na simulação (alínea 2.b). Podemos concluir que a simulação é representativa para os parâmetros e características da ligação que simula, uma vez que os valores teóricos suportam os resultados obtidos.

d.





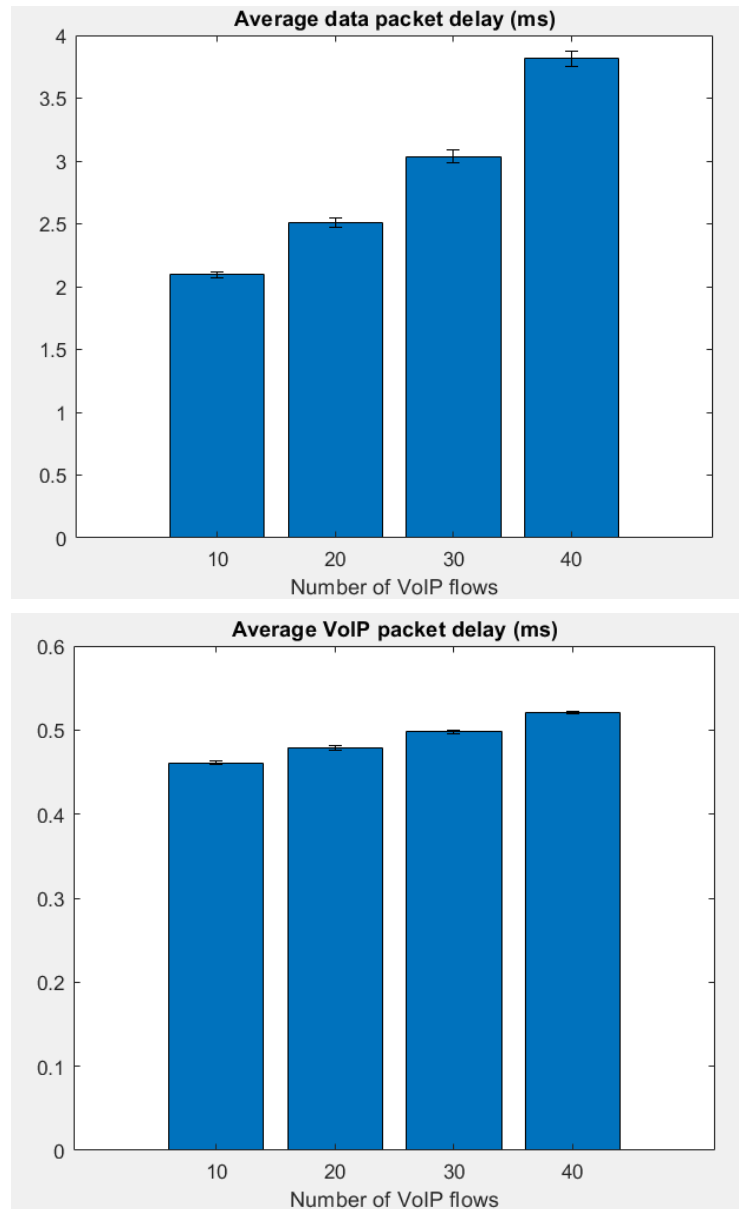
Analisando os gráficos obtidos para o average packet delay dos pacotes de dados e VoIP, concluímos que à medida que aumentam os fluxos VoIP, o tempo médio de atraso dos pacotes de dados e VoIP aumenta de igual forma para ambos os fluxos, tal como na alínea 2.a. O aumento de perdas de pacotes com o aumento dos fluxos de VoIP também aumenta significativamente à medida que o fluxo se torna maior.

Também é possível observar que o atraso médio nos pacotes de dados e nos VoIP apresentam valores próximos visto que a disciplina é FIFO e não há nenhuma prioridade atribuída. A diferença no atraso entre estes 2 tipos de pacotes advém da diferença no seu tamanho médio, os pacotes de dados vão demorar mais tempo a ser transmitidos.

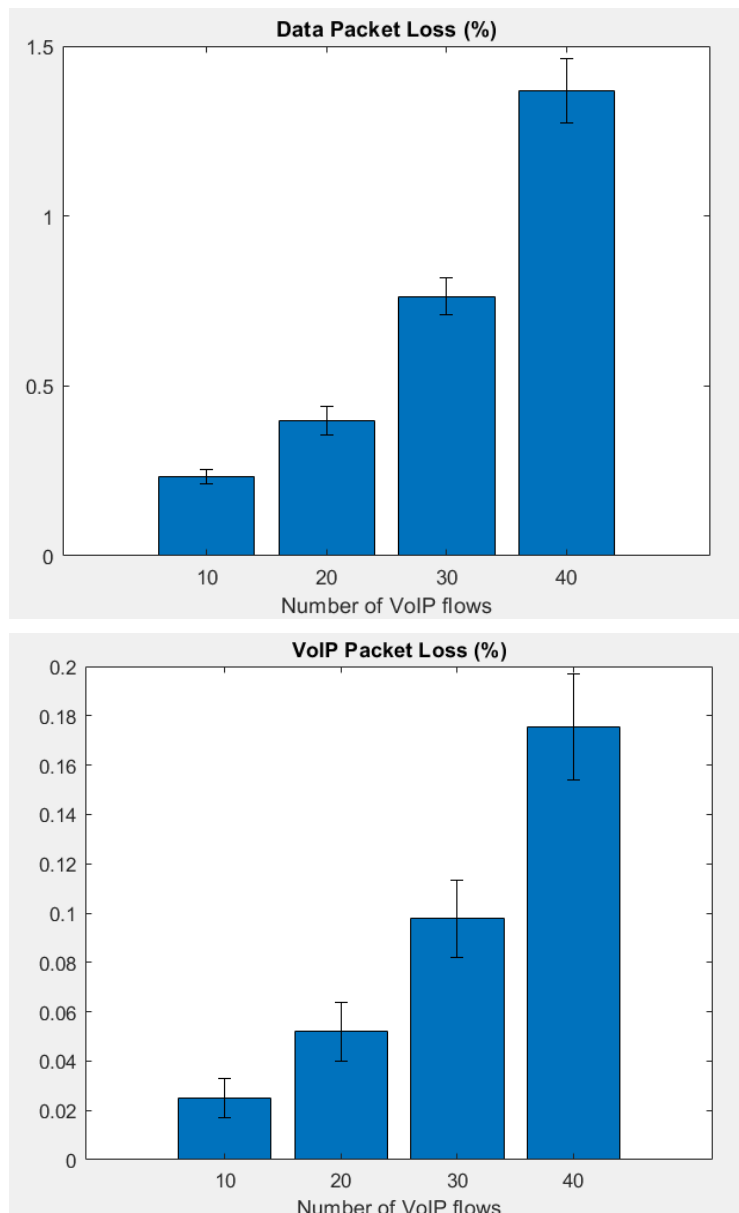
Porém comparando com a alínea 2.a. é possível observar que tanto nos pacotes de dados como nos de VoIP o atraso médio é mais pequeno. Isto pode ser explicado, com o facto da fila de espera ser mais pequena, então à medida que o fluxo de VoIP é aumentado, existirão

mais perdas de pacotes porque a fila de espera vai encher, e os pacotes descartados não vão contribuir para o aumento do atraso médio dos pacotes.

e.

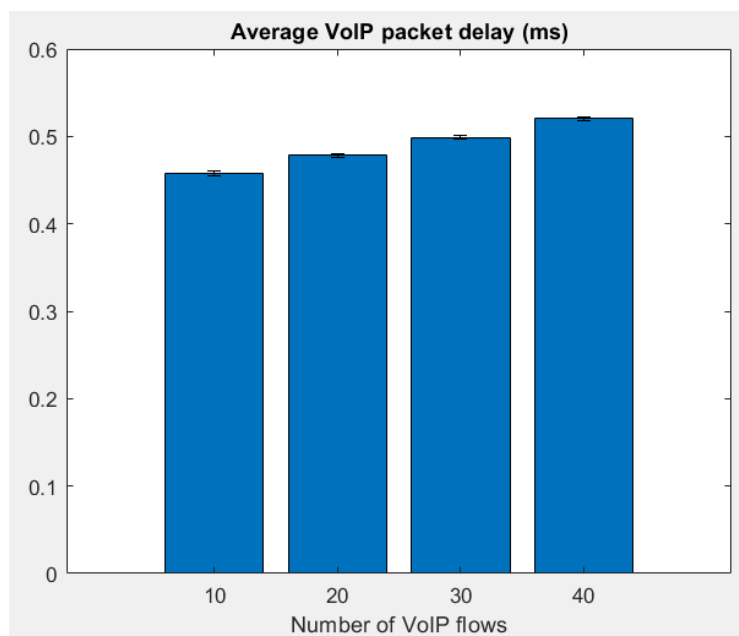
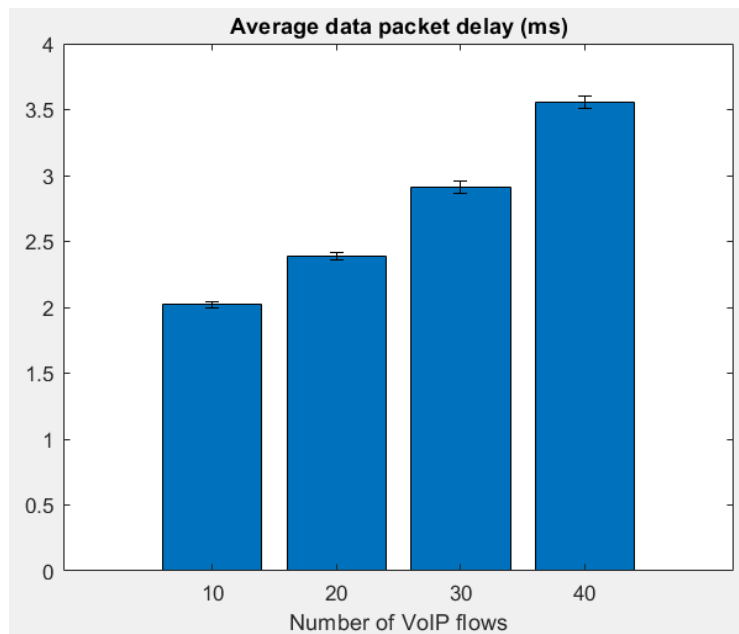


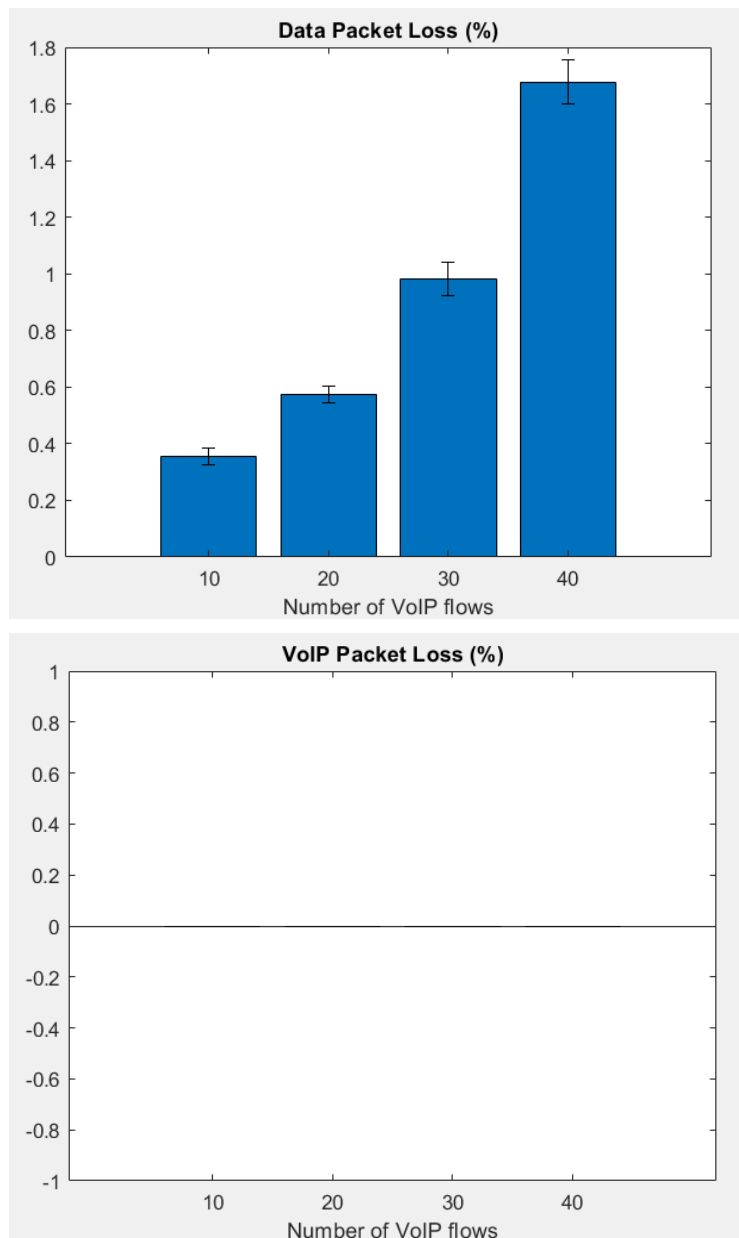




Comparando os resultados com os da alínea 2.d. os valores do average packet delay para dados foi ligeiramente superior, enquanto que os dos pacotes VoIP diminuem e ficam à volta dos 0.5 ms para todos os fluxos. Isto vai de acordo com o esperado, visto que o simulador usado aplica o critério de maior prioridade para pacotes VoIP, já que estes pacotes vão ficar menos tempo na fila de espera porque vão ser atendidos com prioridade. Em relação ao packet loss tanto nos pacotes de dados como nos pacotes de VoIP os valores são idênticos aos da alínea 2.d., o que é esperado porque a ocupação da fila de espera não se vai alterar visto que não existe nenhuma política diferente para a chegada de pacotes à fila de espera, só para a transmissão depois de se encontrarem na fila.

f.





Em relação à alínea 2.e. é possível observar que o average packet delay se mantém à volta de 0.5 ms para os fluxos VoIP. O que mais uma vez se explica com a política de prioridade usada, visto que os VoIP vão ser atendidos com prioridade, logo vão ficar menos tempo na fila de espera.

Quanto ao packet loss em relação à alínea 2.e. houve um aumento ligeiro nos pacotes de dados, porém nos de VoIP, para todos os fluxos o packet loss foi zero. Visto que os pacotes de dados, eram descartados se a fila estivesse/ficasse mais de 90% ocupada, é esperado um ligeiro aumento no packet loss em relação à alínea anterior. Quanto aos pacotes VoIP, como em princípio há no mínimo 10% da fila dedicada a estes, visto que são sempre aceites e os de dados só até 90%, o número de fluxos VoIP não é suficientemente grande para ocorrer packet loss.