



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

**LICENCIATURA EM
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES**

GUIA DO 1º TRABALHO DE LABORATÓRIO

DE

SISTEMAS DE TELECOMUNICAÇÕES I

Espectro da Voz e Conversão A/D

Ano Lectivo de 2002/2003

1º Trabalho de Laboratório

Espectro da voz e conversão analógico-digital

Objectivos

- 1) Observar e analisar a representação da voz no domínio do tempo e da frequência;
- 2) Observar e analisar a conversão analógico-digital de um sinal sinusoidal.

Duração média da sessão de laboratório

Quarenta e cinco minutos.

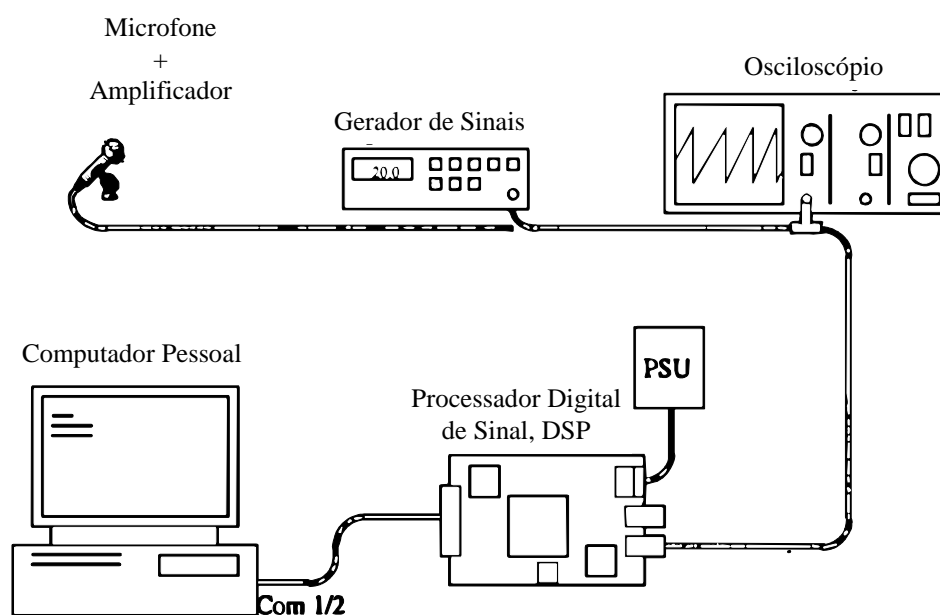


Figura 1 - Esquema da montagem para análise da voz humana no tempo e na frequência e conversão analógico-digital.

Legenda: **PSU** - alimentação do DSP (Processador Digital de Sinal); **Com 1/2** - porta de comunicação do PC com o DSP.

Introdução

Esta sessão utiliza:

- Um analisador espectral baseado no processador digital de sinal (DSP) da Texas Instruments TMS320C5x para efectuar a análise espectral da voz e um PC para visualização do espectro da voz. O DSP amostra e digitaliza o sinal eléctrico que tem à sua entrada e processa o sinal digital. Nesta experiência, os processamentos efectuados pelo DSP são, primeiramente, uma transformada de Fourier discreta rápida (*Fast Fourier Transform* - FFT) e, depois, a conversão analógico-digital em que o número de bits de codificação é controlado pelo utilizador através do teclado do PC. Nesta segunda operação, a informação resultante da conversão A/D é enviada pelo DSP para o PC podendo ser observada no ecrã do PC como se fosse observada num ecrã de osciloscópio – o ecrã do PC funciona como “ecrã de osciloscópio virtual”.
- Um conversor analógico-digital (A/D) baseado no DSP da Texas Instruments TMS320C5x e um PC para visualização do resultado da conversão A/D (o PC funciona como osciloscópio virtual). Por comparação do resultado da conversão A/D, observada no ecrã do PC, com o sinal original, observado no osciloscópio, podem avaliar-se os efeitos dos erros de quantificação e do *aliasing*.

Equipamento necessário

- Placa DSP + PSU + cabo de interface série com o PC;
- PC com ecrã, de preferência a cores, e sistema operativo MSDOS 4.01 ou mais recente;
- Osciloscópio;
- Gerador de sinais capaz de gerar ondas sinusoidais, rectangulares e triangulares com frequências entre 30 Hz e 20 kHz;
- Microfone;
- Cabos necessários para assegurar as ligações representadas na Figura 1.

1º OBJECTIVO: REPRESENTAÇÃO DA VOZ NO DOMÍNIO DO TEMPO E DA FREQUÊNCIA

Montagem (*hardware*)

Efectue a montagem indicada na Figura 1. Ligue o microfone ao osciloscópio através de um “T”. Ligue a outra saída do “T” à entrada do DSP. De momento, não ligue o gerador de sinal. Ajuste a *base de tempo* do osciloscópio para 1 ms por divisão. Ajuste a *entrada X* do osciloscópio de forma a obter uma boa visualização do sinal de voz (sugere-se 1 V por divisão).

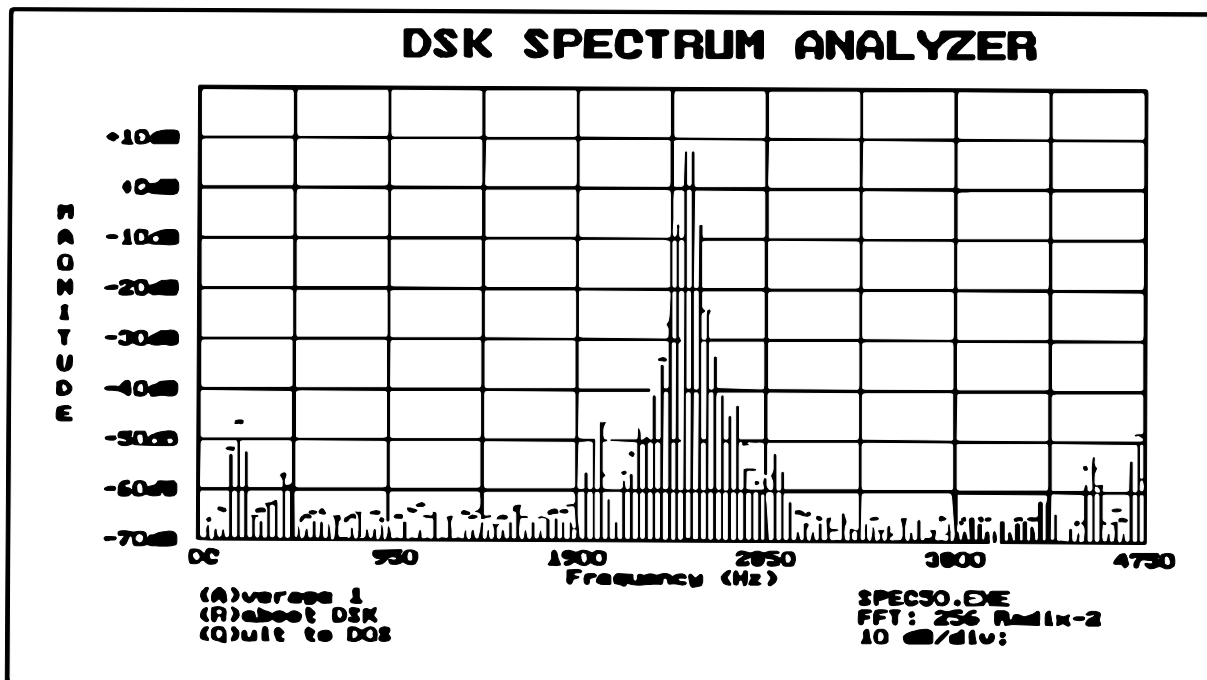


Figura 2 - Ecrã do PC apresentando o resultado da análise espectral.

Legenda: **DSK** - DSP Starter Kit

Montagem (software)

Ligue o PC e coloque-se na directoria onde estão armazenados os programas necessários a esta experiência, através do comando:

```
C:> CD \DSK <Enter>
```

Dê início ao programa, através do comando:

```
C:\DSK> FFT -C1 <Enter>
```

Após a introdução deste comando, o ecrã do PC deve apresentar uma figura típica de um ecrã de um analisador de espectros (Figura 2).

O DSP determina o espectro da voz, aplicando a FFT a troços temporais do sinal de voz. O ecrã do analisador de espectros pode apresentar o "espectro" resultante da média de vários espectros determinados pelo DSP ao longo do tempo. Consegue-se, deste modo, eliminar flutuações rápidas do espectro. Se pretender visualizar o espectro resultante da média dos espectros de 8 troços consecutivos, carregue três vezes na tecla "A". Neste caso, o ecrã apresentará uma resposta mais lenta. Se quiser alterar para 1 o número de espectros a partir

dos quais se obtém o resultado apresentado no analisador espectral, carregue uma vez na tecla “A”. O ecrã apresentará, então, uma resposta mais rápida.

O analisador de espectros apresenta 128 valores do espectro do sinal numa gama de frequências que vai de DC até 4.7 kHz. Estes valores foram obtidos a partir de amostras do sinal original tiradas a um ritmo de, aproximadamente, 10000 amostras por segundo. Cada linha vertical representada é “coroadada” por uma barra vermelha pequena que lentamente vai actualizando o valor do espectro permitindo ficar com uma ideia da evolução espectral do sinal ao longo do tempo.

Efectue agora os seguintes procedimentos. **Seja breve em cada alínea deste objectivo.**

- a) Assobie ao microfone e observe o sinal no tempo e o seu espectro. No ecrã, será observado um pico único, indicando a frequência do assobio. Esboce uma representação do assobio no tempo e também do seu espectro.
- b) Altere o tom do assobio e observe o pico a deslocar-se para a esquerda ou direita, dependendo de o assobio se tornar mais grave ou mais agudo. Relacione o tom do assobio com a frequência onde a maior parte da energia se concentra.
- c) Emita alguns sons ao microfone e observe a variação do sinal no tempo e na frequência. A diferença de espectros consoante a palavra produzida é a base de uma das formas de reconhecimento de voz. Represente o espectro de várias palavras (ou das sílabas que as constituem) e comente a banda de frequências ocupada.
- d) Observe o sinal no tempo e o espectro da mesma palavra dita por pessoas diferentes (de preferência de sexo diferente). Represente os espectros e observe que são diferentes. É esta diferença nos espectros que nos permite identificar as pessoas pela voz. Tente relacionar o sinal no tempo com o espectro observado. Comente os resultados obtidos.

IMPORTANTE: Desligue o amplificador e saia do programa. Faça o "reset" do DSP (para fazer o reset do DSP, desligue e volte a ligar a alimentação do DSP)

2º OBJECTIVO: OBSERVAR E ANALISAR A CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

Montagem (*hardware*)

Efectue a montagem indicada na Figura 1. Ligue o gerador de sinal ao osciloscópio através de um “T”. Ligue a outra saída do “T” à entrada do DSP. Ajuste a *base de tempo* do osciloscópio para 1 ms por divisão. Ajuste a *entrada X* do osciloscópio para 1 V por divisão. No gerador de sinais, seleccione um sinal sinusoidal e ajuste a sua amplitude para 5 V pico a pico e a sua frequência para cerca de 200 Hz. Verifique que o sinal é facilmente visualizado no osciloscópio e tem componente DC nula (sinal AC).

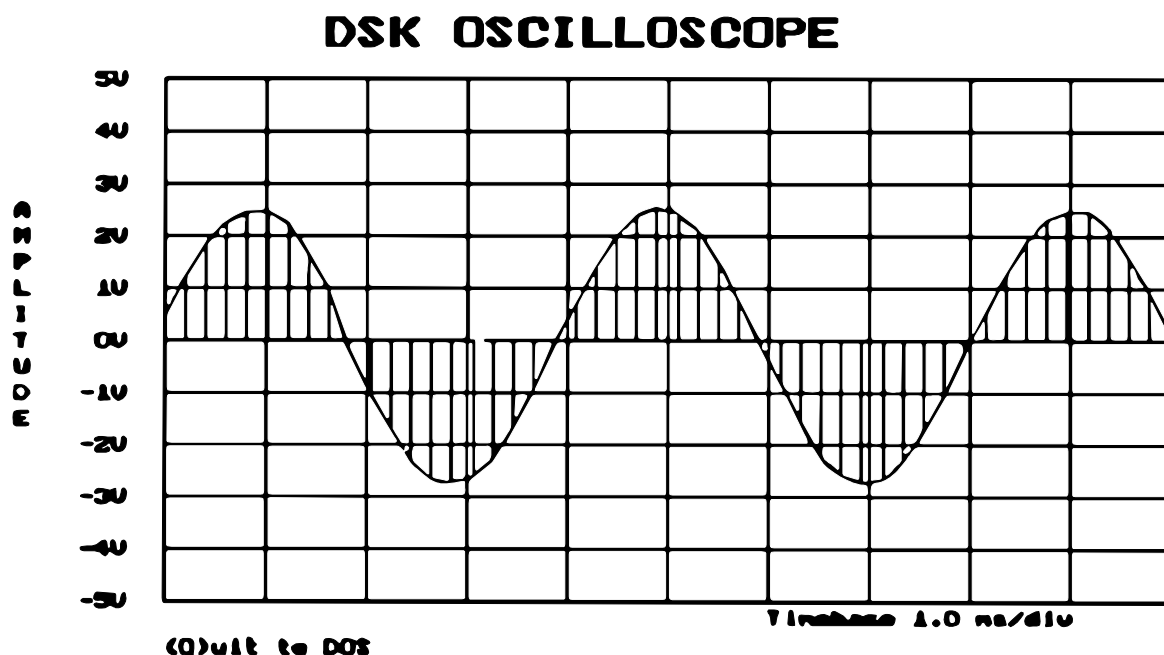


Figura 3 - Ecrã do PC apresentando o resultado da conversão A/D.

Montagem (software)

Ligue o PC e coloque-se na directoria onde estão armazenados os programas necessários a esta experiência, através do comando:

```
C:> CD \DSK <Enter>
```

Dê início ao programa, através do comando:

```
C:\DSK> OSCOPE -C1 <Enter>
```

Após a introdução deste comando, o ecrã do PC deve apresentar uma figura típica de um ecrã de osciloscópio (Figura 3). Se isto não acontecer, reinicie as ligações assegurando-se de que:

i) **faz o "reset" do DSP**

ii) **a porta de comunicação do PC com o DSP é a 1.** Se esta porta for a 2, o comando a introduzir deverá ser:

```
C:\DSK> OSCOPE -C2 <Enter>
```

Em funcionamento normal, o ecrã do osciloscópio virtual apresenta as amostras quantificadas resultantes da conversão A/D do sinal original assim como o sinal reconstruído a partir dessas amostras. Pode avaliar-se o ruído de quantificação através da alteração do número de bits que representam cada amostra do sinal. O número de bits possível varia entre 1 e 8 e pode ser alterado carregando nas teclas "1" a "8", respectivamente, do teclado "não numérico". A *base de tempo* do osciloscópio virtual pode também ser alterada usando as teclas de movimento do cursor para a direita e para a esquerda. Para parar o ecrã do osciloscópio virtual, utilize a tecla "Pause" e para eliminar a sua acção carregue na tecla "Enter".

Experiência 1: Aliasing

- a) Ajuste o gerador de sinais para uma onda sinusoidal de 250 Hz e 5 V de pico a pico (certifique-se de que o osciloscópio virtual tem uma *base de tempo* de 1 ms e uma resolução de 8 bits). Nesta situação, o sinal observado no osciloscópio virtual é aproximadamente igual ao observado no osciloscópio analógico. As linhas vermelhas indicam as amostras recebidas do DSP. A linha a branco, que une as amostras, dá a aproximação ao sinal original.
- b) O período de amostragem do conversor A/D pode ser determinado dividindo o período da sinusóide pelo número de amostras utilizadas na sua representação no osciloscópio virtual. Através deste processo, calcule a frequência de amostragem do conversor A/D.
- c) Altere a frequência do sinal de entrada para 1 kHz. Se o ecrã parecer “confuso”, pode alterar a base de tempo do osciloscópio virtual. A representação da sinusóide é agora mais imprecisa devido ao menor número de amostras. Mesmo assim, há ainda, teoricamente, informação suficiente para recuperar a forma original do sinal. Justifique.
- d) Aumente agora lentamente a frequência até um pouco abaixo de 2.5 kHz. Esta é a frequência máxima que se pode ter como frequência do sinal a amostrar. Justifique.
- e) À frequência de 2.5 kHz, a sinusóide é representada por duas amostras por período dando um sinal triangular à saída, a partir do qual se pode ainda recuperar a sinusóide. Embora duas amostras por período sejam o mínimo exigido para representar a sinusóide, são necessárias mais amostras para produzir uma melhor representação do sinal original. Desenhe os sinais observados no ecrã do osciloscópio real e no ecrã do osciloscópio virtual.
- f) Aumente, lentamente, a frequência do sinal até 30 kHz. A partir de 2.5 kHz o sinal observado no osciloscópio virtual é uma sinusóide cuja frequência é claramente diferente da do sinal que lhe deu origem. Explique porquê. Observe e explique o que acontece para frequências da sinusóide próximas de múltiplos de 5 kHz.

Experiência 2: Erros de quantificação

- a) Ajuste o gerador de sinais para uma onda sinusoidal de 250 Hz e 5 V pico a pico. Ajuste os dois osciloscópios para uma *base de tempo* de 1 ms por divisão. O osciloscópio virtual deve apresentar uma sinusóide. Carregue na tecla “1” para utilizar apenas um bit na representação da amplitude das amostras.
- b) Desenhe a forma do sinal observado no osciloscópio virtual. Compare a forma de onda original com a reconstruída em termos de forma, frequência e amplitude.
- c) Repita a alínea a) aumentando os níveis de quantificação até ao máximo de 8 bits por amostra. Para cada valor do número de níveis de quantificação, varie a amplitude da sinusóide para avaliar quão bem o sinal de entrada é representado para todas as amplitudes. A partir de que valor do número de níveis de quantificação se pode considerar o sinal quantificado como uma boa réplica do sinal original? Desenhe o sinal resultante da quantificação da sinusóide com 2, 4 e 8 bits por amostra. Estabeleça a correspondência entre o número de níveis e o número de bits.

1º Trabalho de Laboratório de Sistemas de Telecomunicações

Turno _____

Grupo _____

Nº _____

Nome _____

Nº _____

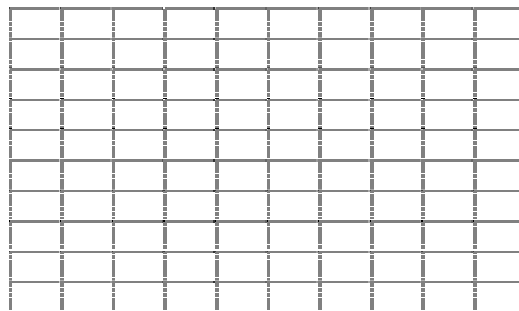
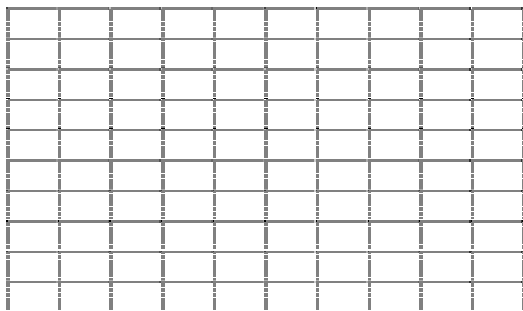
Nome _____

Nº _____

Nome _____

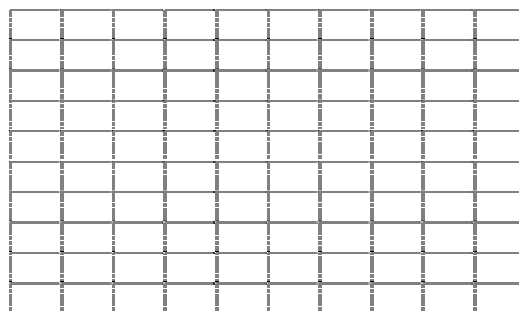
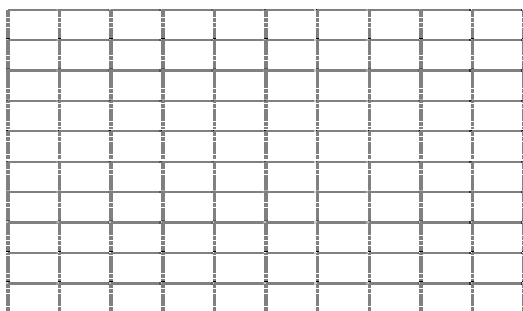
1- REPRESENTAÇÃO DA VOZ HUMANA NO DOMÍNIO DO TEMPO E DA FREQUÊNCIA

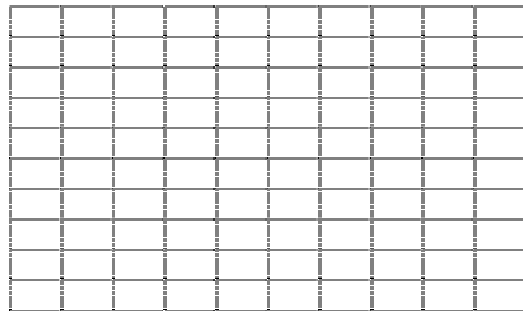
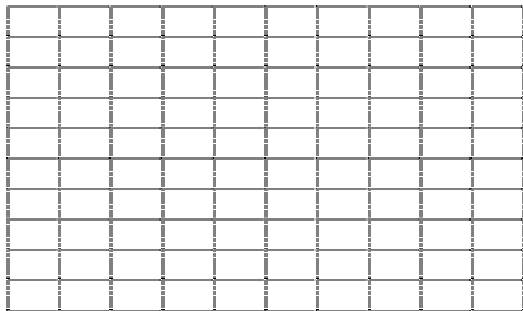
a)



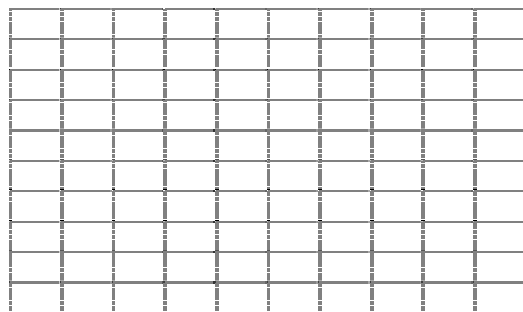
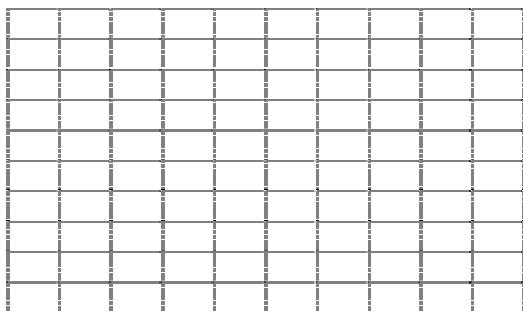
b)

c)





d)



2 – OBSERVAR E ANALISAR A CONVERSÃO ANALÓGICO-DIGITAL

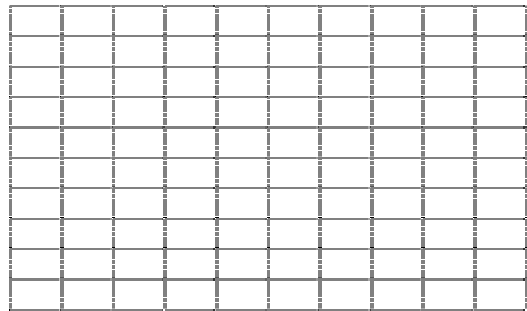
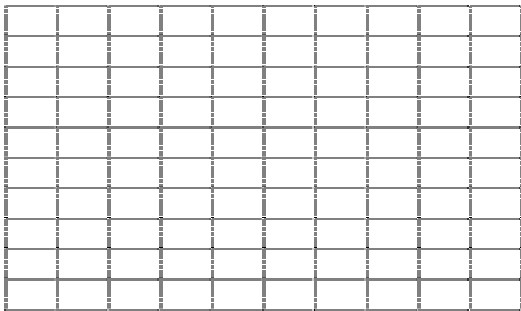
2.1 Aliasing

b)

c)

d)

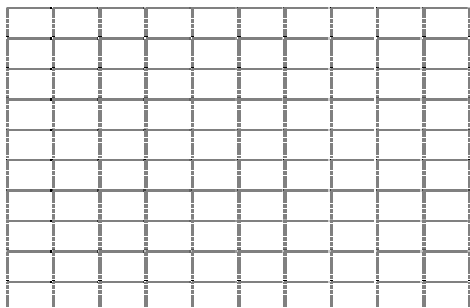
e)



f)

2.2 Erros de quantificação

b)



c)

