Questão 1.

a) A indicação é igual nos dois casos, sendo

$$N = \frac{T_c}{T_i} = \frac{12\times10^{-3}}{10\times10^{-6}} = 1200 \text{ impulsos}$$

Dando uma indicação de **12.00 ms**. O erro total é dado por

$$\varepsilon_t = \varepsilon_{\pm1} + \varepsilon_{Bt} + \varepsilon_{trp}$$

com $\varepsilon_{\pm1} = \dfrac{1}{1{,}2\times10^3} = 8{,}3\times10^{-4}$ e $\varepsilon_{Bt} = 2\times10^{-8}$

Estas duas parcelas são iguais para as duas formas de onda, o que já não sucede para o erro temporal. A relação sinal-ruído é

$$20\log\frac{E_s}{E_n} = 40 \text{ dB} \qquad \text{donde se retira que} \qquad \frac{E_s}{E_n} = 100$$

Admitindo que o nível de disparo na onda sinusoidal é feito no ponto mais favorável (máxima inclinação) o erro temporal correspondente é

$$\varepsilon_{tp} = \frac{E_n}{\pi E_s}100 = \frac{1}{\pi}\frac{1}{100}100 = \frac{1}{\pi} = 0{,}32\ \% = 3{,}2\times10^{-3}$$

No caso da onda quadrada, a derivada do sinal é aproximada por

$$S = \frac{dv(t)}{dt} \approx \frac{E_s}{t_r} = \frac{E_s}{0{,}01T}$$

Como é também $S = \dfrac{E_n}{\Delta T}$ resulta $\dfrac{E_s}{0{,}01T} = \dfrac{E_n}{\Delta T}$ ou $\dfrac{\Delta T}{T} = 0{,}01\dfrac{E_n}{E_s}$

O erro temporal total para a onda quadrada, com um tempo de subida t_r, igual a 0,01 do período, é assim

$$\varepsilon_{tp} = 100\frac{2\Delta T}{T} = \frac{2E_n}{E_s}\frac{1}{100}100 = \frac{2}{100}\ \% = 2\times10^{-4}$$

De notar que é um valor substancialmente menor ao obtido para a onda sinusoidal, que resulta do facto da inclinação no ponto de disparo ser significativamente superior à da onda sinusoidal. O erro final vem então

$$\varepsilon_t(\text{onda sinusoidal}) = 8{,}3\times10^{-4} + 2\times10^{-8} + 3{,}2\times10^{-3} \approx 4\times10^{-3}$$

$$\varepsilon_t(\text{onda quadrada}) = 8{,}3\times10^{-4} + 2\times10^{-8} + 2\times10^{-4} \approx 1\times10^{-3}$$

O erro absoluto correspondente é

$$\delta_t(\text{onda sinusoidal}) \approx 4\times10^{-3}\times 12{,}000 \text{ ms} \approx 48\ \mu\text{s}$$

$$\delta_t(\text{onda quadrada}) \approx 1\times10^{-3}\times 12{,}000 \text{ ms} \approx 12\ \mu\text{s}$$

Com este erro, os dois últimos dígitos provavelmente variariam de ciclo para ciclo de contagem.

b) Em qualquer um dos casos a contagem passaria a ser 100 vezes superior, isto é registando-se

N = 120 000 impulsos a que corresponde um visor **12.0000 ms**

Quanto aos erros, verifica-se uma diminuição por um factor de 1/100 do erro de ±1 e do erro temporal, enquanto que se mantém o erro da base de tempo. Temos então

$$\varepsilon_t(\text{onda sinusoidal}) \approx 8{,}3\times10^{-6} + 2\times10^{-8} + 3{,}2\times10^{-5} \approx 4\times10^{-5}$$

$$\varepsilon_t(\text{onda quadrada}) \approx 8{,}3\times10^{-6} + 2\times10^{-8} + 2\times10^{-6} \approx 1\times10^{-5}$$

O erro absoluto correspondente é

$$\delta_t(\text{onda sinusoidal}) \approx 4\times10^{-5}\times 12{,}0000 \text{ ms} \approx 0{,}48\ \mu\text{s}$$

$$\delta_t(\text{onda quadrada}) \approx 1\times10^{-5}\times 12{,}0000 \text{ ms} \approx 0{,}12\ \mu\text{s}$$

Neste caso também são afectados os últimos dois dígitos, mas agora na casa das décimas e centésimas de microsegundo.

Questão 2.

Leitura que minimiza o erro:

$$N = \frac{250 \text{ ms}}{1\ \mu\text{s}} = 250.000 \text{ (ms)}$$

A que corresponde o erro

$$\varepsilon_{\pm1} = 4\times10^{-6}$$

Erro devido à histerese:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta V_1}{S_1} + \frac{\Delta V_2}{S_2}, \text{ com } \Delta V_1 = 10 \text{ mV}, \Delta V_2 = 20 \text{ mV e } S_1 = S_2 = 45 \text{ V/s}$$

donde resulta $\Delta t_1 = 0{,}667$ ms e $\varepsilon_{t1} = \dfrac{0{,}667}{250} = 2{,}67\times10^{-3}$

Erro devido ao ruído:

$$\Delta t_2 = \frac{E_n}{S_1} + \frac{E_n}{S_2} \quad \text{com } E_n \leq 45 \text{ mV (correspondente aos 40 dB)}$$

donde resulta $\Delta t_2 = 2$ ms e $\varepsilon_{t2} = \dfrac{0{,}667}{2{,}50} = 8\times10^{-3}$

Erro total:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{\pm1} + \varepsilon_{bt} + \varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2} = 10{,}67\ \%$$