

# 14 - Conversor Digital Analógico ADC

Rafael Corsi Ferrão  
corsiferrao@gmail.com

18 de maio de 2016



*Entregar na próxima aula em formato PDF via github.*

## 1 ADC

Conversores digitais analógicos são componentes eletrônicos capazes de transformar um sinal contínuo no tempo (normalmente tensão) em um número digital.

Conversores desse tipo são utilizados nos mais diversos tipos de equipamentos eletrônicos, sendo uma ferramenta importante para projetos que demandam algum tipo de sensoriamento. Alguns exemplos de sinais digitalizáveis :

- Áudio
- Temperatura
- Imagem
- Corrente/Tensão
- Campo magnético (bussola) ...

Os valores convertidos de analógico para digital sofrem da problemática da quantização (resolução), que é a associação a um finito valor ( $2^n - 1$ ,  $n$  = quantidade de bits) um sinal analógico que pode assumir infinitos valores entre um ponto e outro.

A Fig. a seguir ilustra duas codificações distintas para o mesmo sinal, porém a primeira é utilizado 4 níveis possíveis de codificação enquanto a segunda utiliza 16 níveis.

### Questão. 1.1: Quantização áudio

Qual é a quantidade de bits utilizadas comumente na conversão de sinais de áudio ?

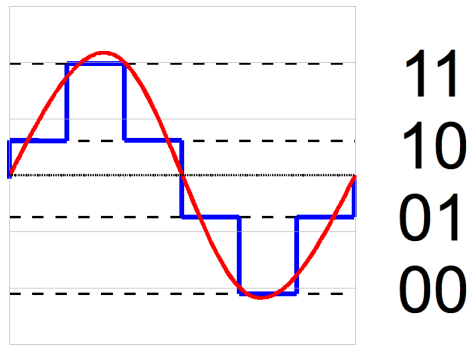


Figura 1: 2 bits encoding

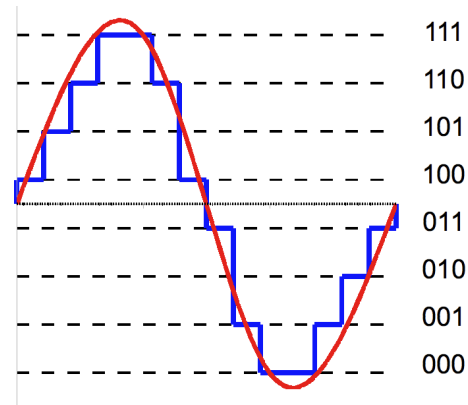


Figura 2: 3 bits encoding

A segunda questão importante a ser tratada na digitalização de um sinal é a frequência de amostragem, que indica quantas amostragens periódicas será realizada em um determinado intervalo de tempo. Ou seja, o espaçamento entre uma amostra e outra.

A taxa de amostragem ( $F_s$ ) deve respeitar a princípio o teorema de Nyquist (se desejamos recuperar um sinal amostrado no tempo), que indica que um sinal deve ser amostrado no mínimo duas vezes a largura de banda desse sinal:

$$B < \frac{f_s}{2}$$

### Questão. 1.2: Aliasing

O que é aliasing e anti-aliasing ?

Com isso em mente, definimos dois fatores importantes de um ADC :

- Quantização
- Taxa de amostragem

Porém outros fatores são importantes na análise da utilização de um ADC, entre eles podemos listar :

- **Acurácia** : Proximidade entre o valor obtido na conversão e o valor verdadeiro.
- **Não linearidades** : Imperfeições no conversor que causam que o sinal amostrado deriva de uma reta.
- **Jitter** : A utilização de um clock que oscila pode atrasar ou adiantar o tempo entre uma amostra e outra.

### Questão. 1.3: SNR

O que é *signal-to-noise ratio* (SNR) e como isso afeta os conversores ?

### Questão. 1.4: ENOB

*Effective Number of Bits* é um parâmetro importante em um ADC, o que ele significa ?

Leitura Indicada :

! [https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital\\_converter](https://en.wikipedia.org/wiki/Analog-to-digital_converter),  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization\\_\(signal\\_processing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantization_(signal_processing))  
[http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/46-11/RAQ\\_87.html](http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/46-11/RAQ_87.html)

## 1.1 Tipos de conversores

Existem atualmente no mercado diversos tipos de conversores analógico digitais, cada um com sua especificidade. Os principais tipos encontrados no mercado são : Conversão direta (Flash ADC); Aproximação sucessiva.

Na conversão direta, utiliza-se diversos comparadores com tensões de referência distintas o resultado dessas comparações é então utilizada para criar o sinal digital.

A aproximação sucessiva utiliza de um comparador porém sua referência é proveniente de um sinal analógico gerado pelo próprio sistema (conversor digital analógico, DAC). Uma técnica de otimização de busca é aplicada para encontrar o valor correto do sinal amostrado de forma rápida. Essa técnica possui aproximação com outro tipo de conversores, chamados de *delta-encoded ADC* que também faz uso de um DAC porém de forma menos otimizada.

### Questão. 1.5: Tipos de conversores

Explique de forma mais detalhada o conversor de aproximação sucessiva.

## 2 SAM4S

O conversor ADC do microcontrolador SAM4S possui 12 bits de resolução integrado a um mux de 16 canais com uma taxa de conversão de 1MHz, o que possibilita ao mesmo ADC fazer a leitura de 16 entradas distintas (não simultaneamente). As conversões de cada canal são armazenadas em um registrador exclusivo por canal.

## Questão. 2.1: 1Mhz

Qual a maior frequência que podemos amostrar com essa taxa de amostragem ?

A Fig. a seguir ilustra a arquitetura interna do periférico :

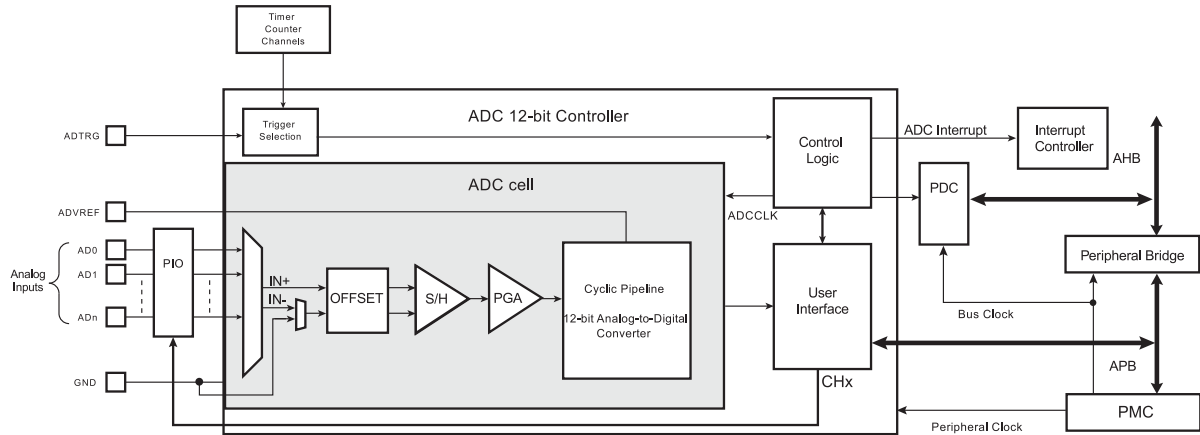


Figura 3: ADC diagrama de blocos  
(SAM4S datasheet, pg. 1085)

## 2.1 Entrada analógica

Para o ADC operar, os pinos referentes a aquisição de dados são configurados automaticamente como entrada, o padrão do periférico é ativar também o pull-up no pino.

Existem dois componentes passivos na entrada do conversor que podem afetar a forma com a qual a leitura do sinal é realizada.  $R_{on}$  é uma resistência interna do mux e  $C_i$  a capacitância equivalente do sample e hold.

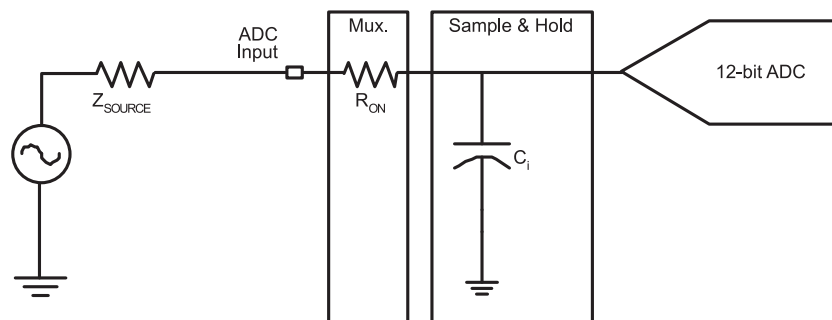


Figura 4

## 2.2 MUX

O mux interno ao ADC possibilita que o mesmo periférico realize medições em até 16 diferentes entradas, essa característica é encontrada em diversos chips. Casos mais específicos em que sinais devem ser amostrados de forma simultânea, deve-se utilizar conversores externos ao microcontrolador.

O Mux recebe sinais de diferentes PIOs

### Questão. 2.2: Pinos

Indique o PIO e o PINO referente a cada uma das 16 entradas do mux.

### 2.2.1 Sensor de temperatura

A entrada número 15 do mux desse periférico pode ser mapeada para a leitura de um sensor de temperatura interno ao chip. Que fornece uma saída ( $V_{OTS}$ ) proporcional a temperatura absoluta (PTAT).

$V_{OTS}$  sofre uma variação linear com a temperatura, para cada  $1^\circ$ , a tensão varia de 4.7mV, ou seja :

$$\delta V_{OTS} / \delta t = 4.7mv/^\circ C$$

$\delta V_{OTS}$  é igual a 1.44V a uma temperatura de  $27^\circ C$  porém com uma precisão de  $\pm 60mV$ .

### Questão. 2.3: Consumo

Qual a corrente consumida pelo sensor de temperatura ?

## 2.3 Tensão de referência

Todo conversor analógico digital deve operar com uma tensão de referência, essa tensão é utilizado como máximo valor que o sinal sendo amostrado pode assumir. Alguns CIs comerciais possuem sistemas de referência interno, porém essa escolha reduz a flexibilidade do hardware.

Por exemplo, se o sinal a ser amostrado possui valor máximo de 1.0V e é utilizado uma referência de 3.3V para a conversão, o delta mínimo entre uma quantização e outra é de :

$$\Delta V = \frac{3.3}{2^{12}} = 730 \mu A$$

Mas se a referência utilizada fosse de 1.0 (máximo valor que o sinal assume), obtemos uma resolução três vezes maior que a anterior :

$$\Delta V = \frac{1.0}{2^{12}} = 240 \mu$$

A flexibilidade na escolha da tensão de referência é um fator importante para o bom condicionamento do sinal, há também a necessidade de se conhecer o que está sendo medido e suas características.

#### Questão. 2.4: Tensão de referência

- Qual o pino do uC referente a tensão de referência
- Qual o valor máximo e mínimo que essa tensão pode assumir
- Qual o valor conectado nesse pino para o kit SAM4S-EK2

## 2.4 Ganho programado (PGA) e Offset

O ganho programado (*programmable gain amplifier*, PGA) é uma alternativa ao condicionamento do sinal sem a necessidade de se mexer na tensão de referência, utilizado quando para diferentes entradas existem sinais com diferentes valores máximos. O ganho multiplica o valor amostrado por : 1, 1/2 e 1/4.

O offset é uma configuração que desloca em y o valor amostrado, esse offset é configurado entre 0 e  $(G - 1)V_{ADVREF}/2$ .

#### Questão. 2.5: Diagrama de blocos

Localize no diagrama de blocos os componentes comentados anteriormente (MUX, Ganho, DMA, Trigger)

## 2.5 Modos de operação

Diversas configurações podem ser realizadas a fim de otimizar a aquisição de dados e minimização da necessidade do CORE ter que agir sobre o periférico.

Para início da conversão de um dado o ADC necessita de um sinal de sincronismo/trigger, que é responsável por indicar a inicialização da amostragem de um sinal. O trigger pode ser gerado via Timer Counter (TC), pela a operação em modo Waveform, que pode gerar um sinal periódico no tempo. Esse sinal então é utilizado pelo ADC para aquisição de dados.

Outra otimização possível de se utilizar nesse periférico é a transferência automática

de dados via DMA. Uma vez configurado o DMA se encarrega de ler os novos dados amostrados pelo periférico e salvar esse dados em um endereço definido de memória. Poupar o esforço computacional do CORE, que não necessita mais em buscar o dado no periférico mas somente na memória RAM.

## 2.6 Tempos de conversão e chaveamento

Existem três tempos que devem ser levados em consideração nesse periférico :

- *Start-UP time*: Tempo necessário após a inicialização do periférico que deve ser respeitada antes de inicializar uma conversão.
- *Tracking time*: Tempo necessário entre o chaveamento das entradas do mux, para garantir que o sinal seja amostrado corretamente (carregamento do capacitor).
- *Conversion time* : Tempo que cada conversão leva para ocorrer.

### Questão. 2.6: ADC timings

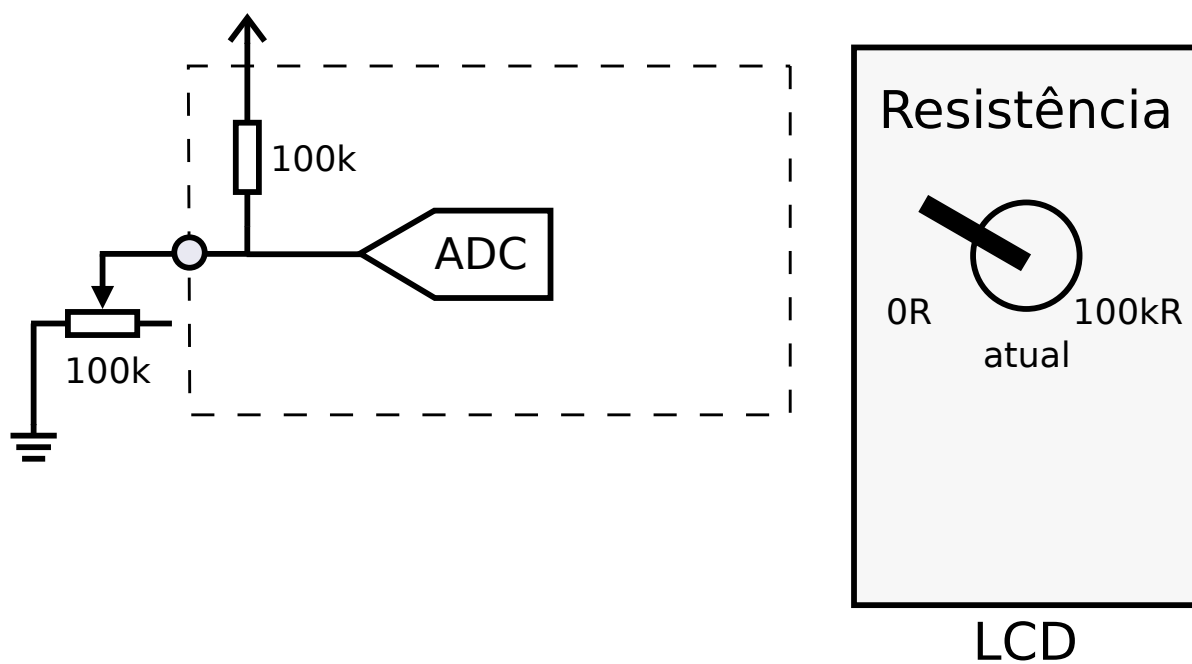
No datasheet, localize os tempos :

- ADC Startup time
- Tracking Time
- Conversion Time

## 3 Programação

Com base no exemplo fornecido por 14-ADC, desenvolveremos um projeto que lê o valor de um potenciômetro e exiba a sua resistência elétrica em dois formatos: Graficamente e numericamente, conforme diagrama a baixo :

1. Defina o pino a ser utilizado
2. Configure o sistema para operar com um timer de 1 segundo (para ser utilizado como taxa de amostragem)
3. Leia um sinal analógico referente a tensão no pino
4. Realize o condicionamento do sinal para transformar a tensão lida em resistência elétrica.
5. Atualize o LCD com o valor lido (ambas formas de visualização)



### 3.1 Periféricos utilizados

PIO : Selecionado em modo entrada (ADC)  
 TC : Dispara leitura periódica do ADC  
 ADC : Faz leitura do sinal externo