



Universidade Federal de Santa Maria

Departamento de Eletrônica e Computação

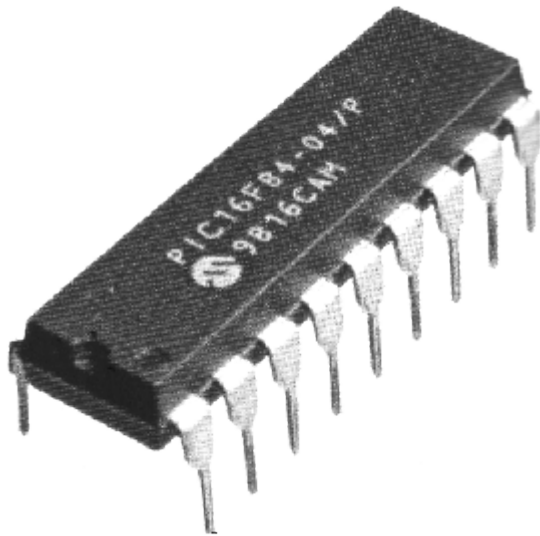
PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS

Acesso ao hardware em
microcontroladores

Prof. Carlos Henrique Barriquello
barriquello@gmail.com

Objetivos

- Compreender como é feita a interface entre microcontrolador e o mundo externo

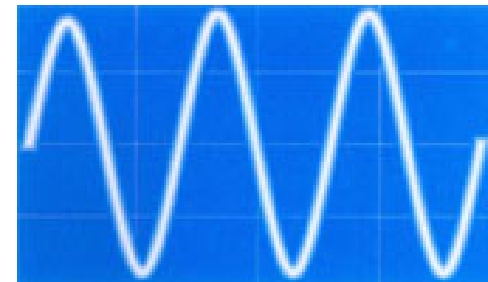


Tema e conteúdo

- Dispositivos periféricos
- ADC: Conversor analógico-digital.
- Interrupções.

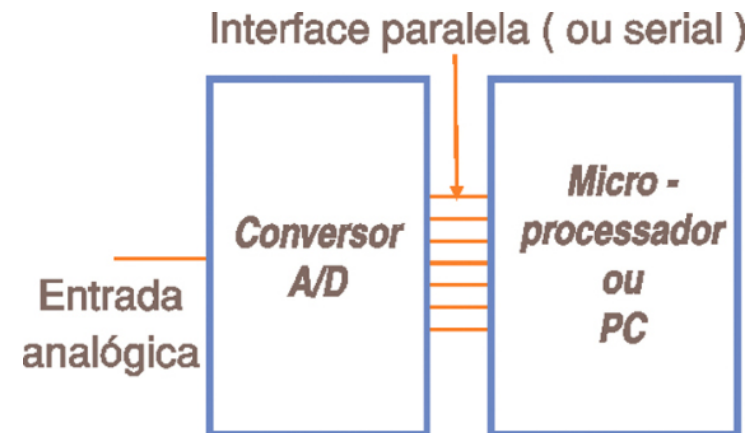
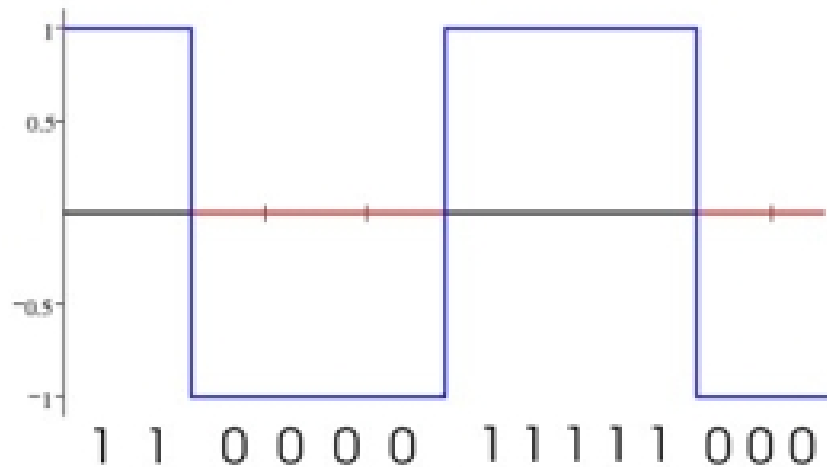
Conversor analógico-digital (A/D)

- Os sinais encontrados no mundo real são contínuos (ou analógicos, pois variam no tempo de forma contínua), como, por exemplo: a intensidade luminosa de um ambiente que se modifica com a distância, a aceleração de um carro de corrida, a temperatura em um ambiente, etc.



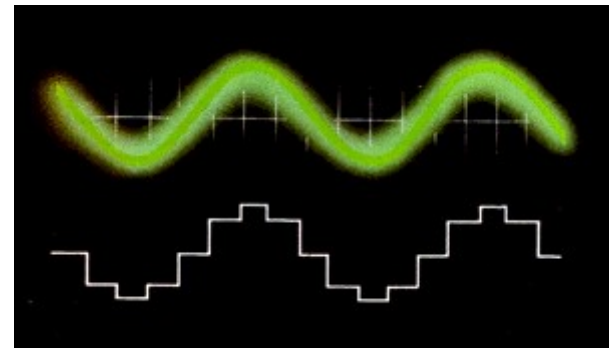
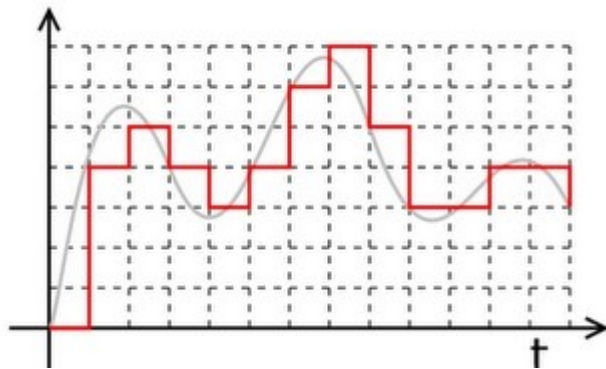
Conversor analógico-digital (A/D)

- Entretanto, os processadores manipulam dados no formato digital (numérico), os quais devem ser representados por um número finito de *bits*.

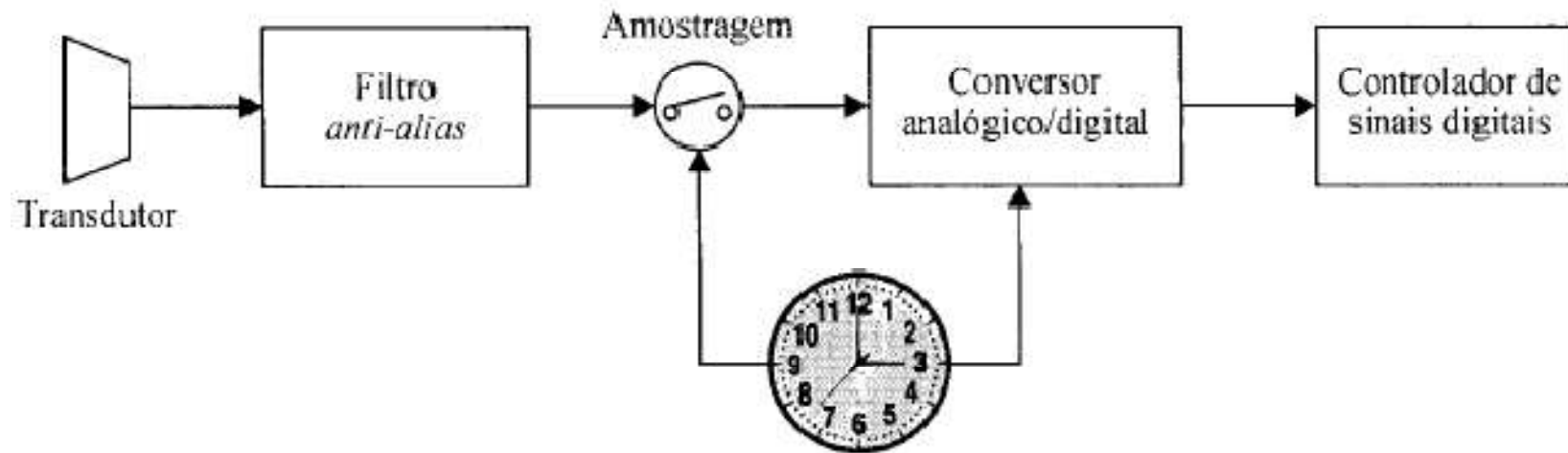


Conversor analógico-digital (A/D)

- A conversão analógico-digital (A/D) é o processo que possibilita a representação de sinais analógicos no mundo digital. Desta forma é possível utilizar os dados extraídos do mundo real para cálculos ou operar seus valores.



Conversor analógico-digital (A/D)



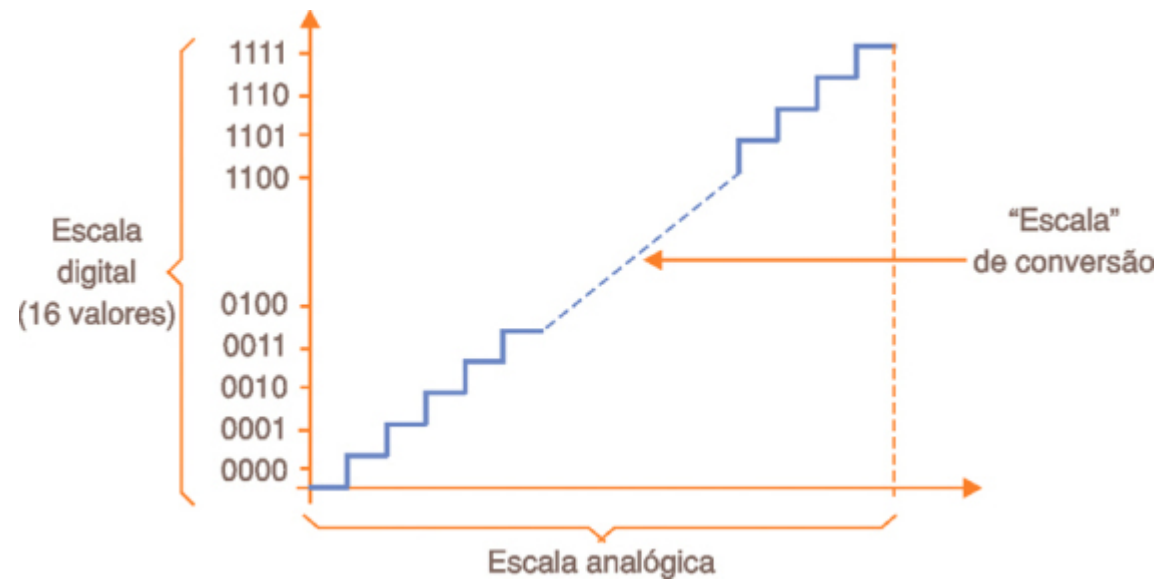
- Em um conversor A/D, entra um sinal analógico e sai um sinal digital, a cada intervalo fixo de tempo.

Conversor analógico-digital (A/D)

A informação digital é diferente de sua forma original contínua em dois aspectos fundamentais:

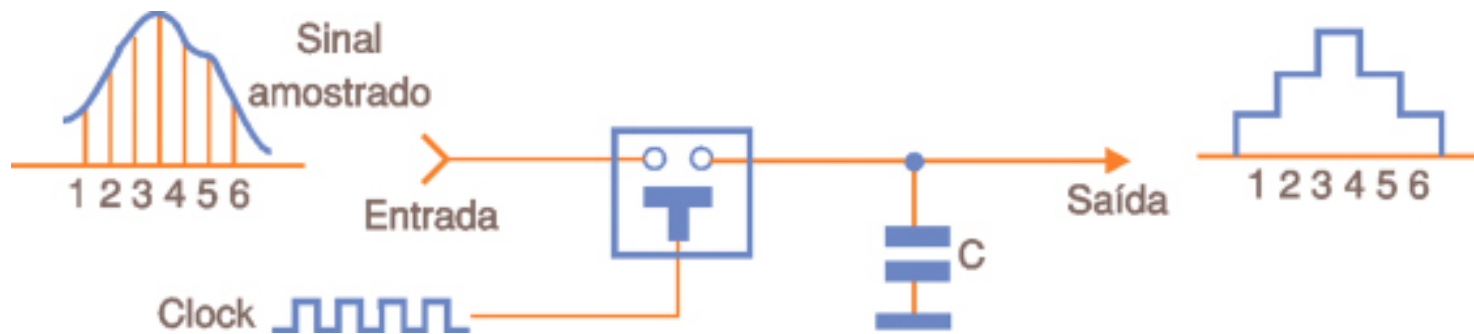
- É amostrada porque é baseada em amostragens, ou seja, são realizadas leituras em um intervalo fixo de tempo no sinal contínuo;
- É quantizada porque é atribuído um valor proporcional a cada amostra com base em um **conjunto finito** de valores possíveis.

Conversor analógico-digital (A/D)



Para cada faixa de valores do sinal analógico corresponde um valor digital

Conversor analógico-digital (A/D)



A um intervalo fixo "mede-se" o valor do sinal analógico.

Conversor analógico-digital (A/D)

- Características importantes de um conversor A/D:
 - Frequência de amostragem (*Hertz - Hz*)
 - Define o intervalo de tempo entre amostras consecutivas
 - Resolução (número de *bits*)
 - Define a capacidade de representação do valor quantizado em um valor numérico.

Conversor analógico-digital (A/D)

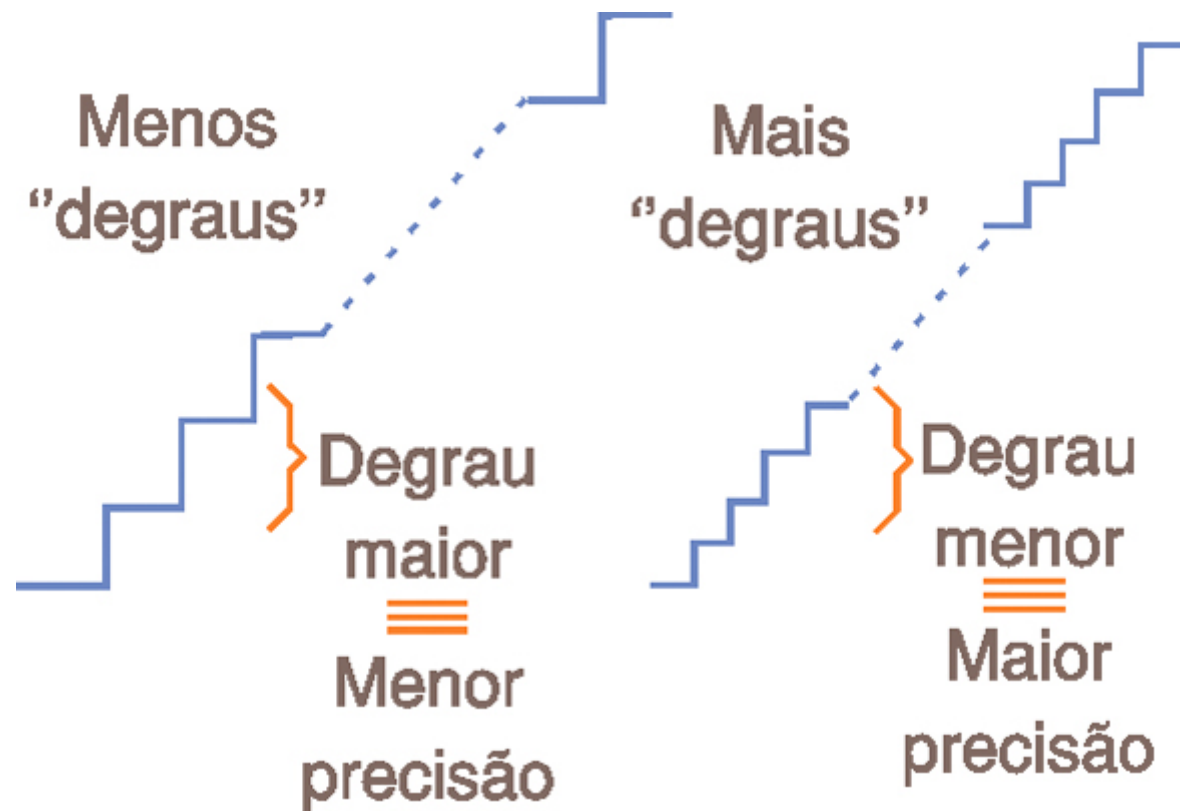


Conversor analógico-digital (A/D)

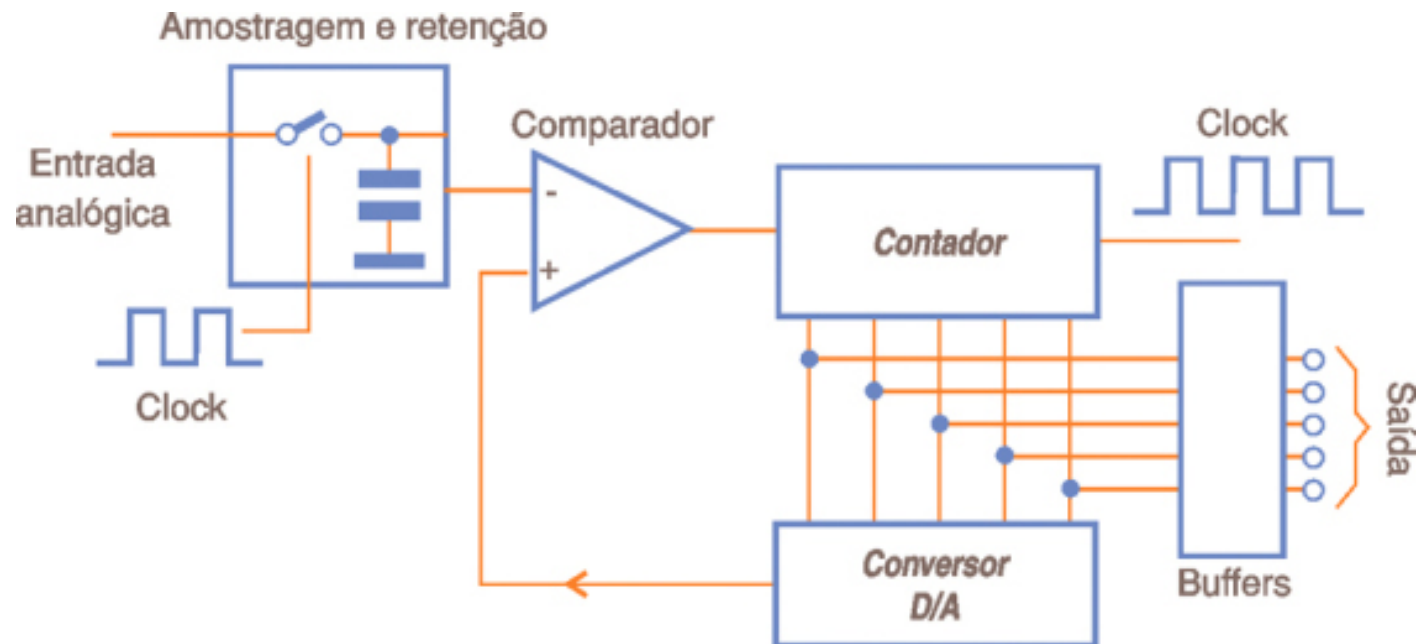
11
10 } 25% de
01 } erro
00

1111
... } 6,3% de
0000 } erro

Conversor analógico-digital (A/D)



Conversor analógico-digital (A/D)



Método de aproximação sucessiva

Conversor A/D

- Cada microcontrolador normalmente possui um conversor A/D (pode ter mais).
- Este conversor é compartilhado por diversas entradas analógicas (canais)
- Porém apenas um canal pode ser convertido de cada vez (usa-se um MUX).

Conversor A/D – Atmega328P

(PCINT14/ $\overline{\text{RESET}}$) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)	Canais A/D
(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)	
(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)	
(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)	
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)	
(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)	
VCC	7	22	GND	Referência
GND	8	21	AREF	
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC	
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)	
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)	
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)	
(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 ($\overline{\text{SS}}$ /OC1B/PCINT2)	
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (OC1A/PCINT1)	

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

- Características do módulo A/D:
 - Algoritmo de aproximação linear sucessiva com resolução de 10 bits
 - até 8 entradas analógicas (canais)
 - Referência de tensão interna de 1,1V.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

- Características do módulo A/D:
 - Conversão simples ou contínua.
 - Tempo de amostragem configurável.
 - Modo de baixo consumo de energia.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

- Características do módulo A/D:
 - Interrupção associada ao final de uma conversão.
 - Operação com baixo nível de ruído.
 - Sensor de temperatura integrado.

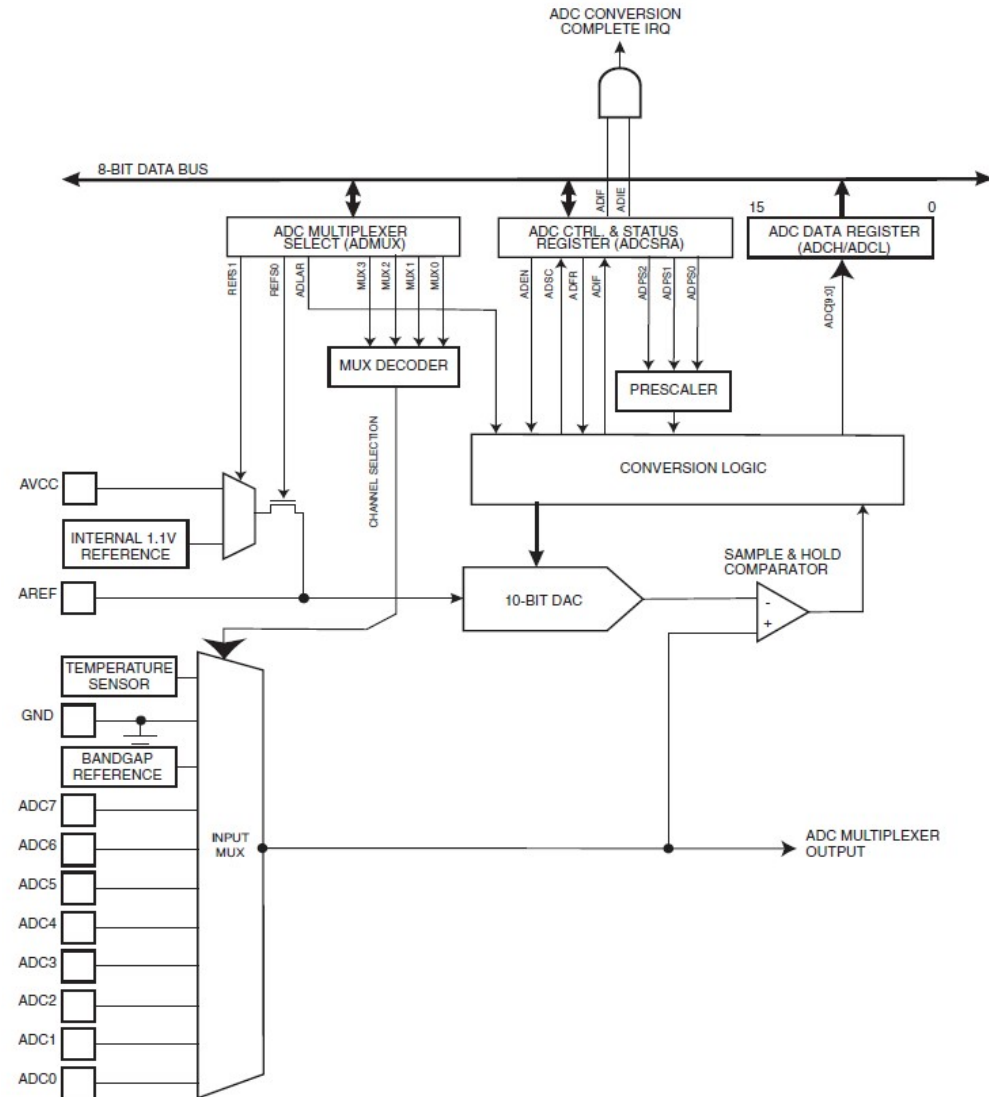
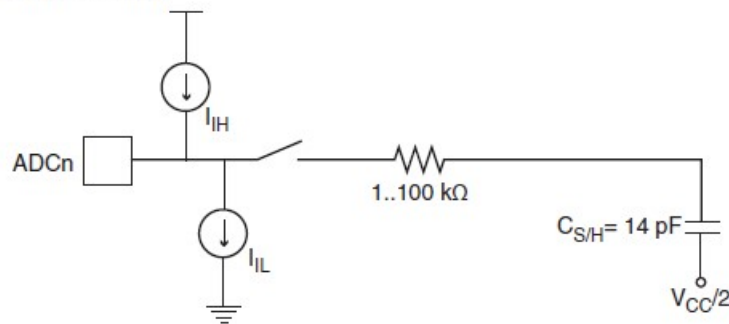
!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

$$ADC = \frac{V_{IN} \cdot 1024}{V_{REF}}$$

Analog Input Circuitry



Conversor A/D – Atmega328P

ADMUX – ADC Multiplexer Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7C)	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 24-3. Voltage Reference Selections for ADC

REFS1	REFS0	Voltage Reference Selection
0	0	AREF, Internal V_{ref} turned off
0	1	AV_{CC} with external capacitor at AREF pin
1	0	Reserved
1	1	Internal 1.1V Voltage Reference with external capacitor at AREF pin

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

Table 24-4. Input Channel Selections

MUX3...0	Single Ended Input
0000	ADC0
0001	ADC1
0010	ADC2
0011	ADC3
0100	ADC4
0101	ADC5
0110	ADC6
0111	ADC7
1000	ADC8 ⁽¹⁾
1001	(reserved)
1010	(reserved)
1011	(reserved)
1100	(reserved)
1101	(reserved)
1110	1.1V (V _{BG})
1111	0V (GND)

Note: 1. For Temperature Sensor.

Registradores

- Status and control register, ADCSRA
- Status and control register, ADCSRB
- Data result registers, ADCH and ADCL
- Digital input disable register, DIDR0

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

ADCSRA – ADC Control and Status Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7A)	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

ADEN (ADC Enable)

ADSC (ADC Start Conversion)

ADIF (ADC Interrupt Flag)

ADIE (ADC Interrupt Enable)

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

ADCSRA – ADC Control and Status Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7A)	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 24-5. ADC Prescaler Selections

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

ADCSRB – ADC Control and Status Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7B)	–	ACME	–	–	–	ADTS2	ADTS1	ADTS0	ADCSRB
Read/Write	R	R/W	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Table 24-6. ADC Auto Trigger Source Selections

ADTS2	ADTS1	ADTS0	Trigger Source
0	0	0	Free Running mode
0	0	1	Analog Comparator
0	1	0	External Interrupt Request 0
0	1	1	Timer/Counter0 Compare Match A
1	0	0	Timer/Counter0 Overflow
1	0	1	Timer/Counter1 Compare Match B
1	1	0	Timer/Counter1 Overflow
1	1	1	Timer/Counter1 Capture Event

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Conversor A/D – Atmega328P

DIDR0 – Digital Input Disable Register 0

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7E)	–	–	ADC5D	ADC4D	ADC3D	ADC2D	ADC1D	ADC0D	DIDR0
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Sensor de temperatura integrado (canal 8)

Table 24-2. Temperature vs. Sensor Output Voltage (Typical Case)

Temperature / °C	-45°C	+25°C	+85°C
Voltage / mV	242mV	314mV	380mV

$$T = \{ [(ADCH \ll 8) | ADCL] - T_{OS} \} / k$$

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Programando o Conversor A/D

Modo de amostra única

```
void adc_init(void)
{
    ADMUX = 0x0F;           // usa o canal em 0V
    ADMUX |= (1 << REFS0);   // usa AVcc como referencia
    ADMUX &= ~(1 << ADLAR);  // resolução de 10 bits, com alinhamento à direita
    ADCSRA |= (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); // ajusta clock do ADC para 125 kHz (1MHz com prescala de 8)
}

uint16_t adc_read(uint8_t canal)
{
    uint16_t ADC_res;
    ADMUX |= (canal & 0x0F); // define o canal
    ADCSRA |= (1 << ADEN);   // habilita o ADC

    ADCSRA |= (1 << ADSC);   // Inicia conversao do ADC

    while(ADCSRA & (1 << ADSC)); // aguarda fim da conversao

    ADC_res = ADCL;
    ADC_res = (ADCH << 8) + ADC_res; // leitura do resultado

    ADMUX &= ~0x0F; // retorna para o canal 0V
    return ADC_res;
}
```

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Programando o Conversor A/D

Modo de amostragem contínua

```
void adc_init(void)
{
    ADMUX = 0x0F;           // usa o canal em 0V
    ADMUX |= (1 << REFS0);   // usa AVcc como referencia
    ADMUX &= ~(1 << ADLAR);  // resolução de 10 bits, com alinhamento à direita
    ADCSRA |= (1 << ADPS1) | (1 << ADPS0); // ajusta clock do ADC para 125 kHz (1MHz com prescala de 8)
}

uint16_t adc_read(uint8_t canal)
{
    uint16_t ADC_res;
    ADMUX |= (canal & 0x0F); // define o canal
    ADCSRA |= (1 << ADEN);   // habilita o ADC

    ADCSRA |= (1 << ADSC);   // Inicia conversao do ADC

    while(ADCSRA & (1 << ADSC)); // aguarda fim da conversao

    ADC_res = ADCL;
    ADC_res = (ADCH << 8) + ADC_res; // leitura do resultado

    ADMUX &= ~0x0F; // retorna para o canal 0V
    return ADC_res;
}
```

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Bibliografia e sugestões de leitura

- ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH DATASHEET