



Laboratório de Microprocessadores e Microcontroladores

Experimento 6: Conversor Analógico/Digital e Conversor Digital/Analógico

Alunos: _____ Matrícula: _____

Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys

Goiânia, 1º semestre de 2019

SUMÁRIO

1	<i>Conversores Digital/Analógico e Analógico/Digital</i>	3
1.1	Conversor Digital-Analógico	3
1.2	Conversor Analógico-Digital	7
2	<i>Atividades do Experimento 6</i>	9
2.1	Conversor DA – Onda dente de serra	9
2.2	Conversor DA – Onda triangular	10
2.3	Conversor DA – Onda senoidal	11
2.4	Conversor AD	12
2.5	Conversor AD – LEDs indicam faixa da tensão de entrada no kit real	14
2.6	Conversor AD – LEDs acendem gradativamente	15

1 Conversores Digital/Analógico e Analógico/Digital

Uma vez que os dados de um microprocessador estão na forma digital e os dados do mundo exterior estão na forma analógica (contínua), é necessário fazer a conversão entre esses dados. Assim, tem-se o Conversor Analógico-Digital (ADC), que faz a conversão de sinal analógico para sinal digital e o Conversor Digital-Analógico (DAC), que faz a conversão de sinal digital para sinal analógico (Fig. 1).

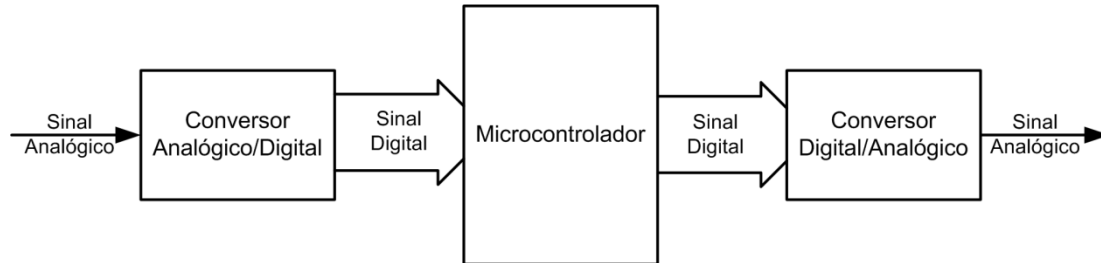


Fig. 1: Entrada e saída de dados analógicos do Microprocessador

1.1 Conversor Digital-Analógico

Um circuito somador com Amplificador Operacional pode ser usado para construir um conversor digital-analógico, bastando para isso escolher valores ponderados dos resistores, como na Fig. 2. A figura mostra um conversor DA de 4 bits.

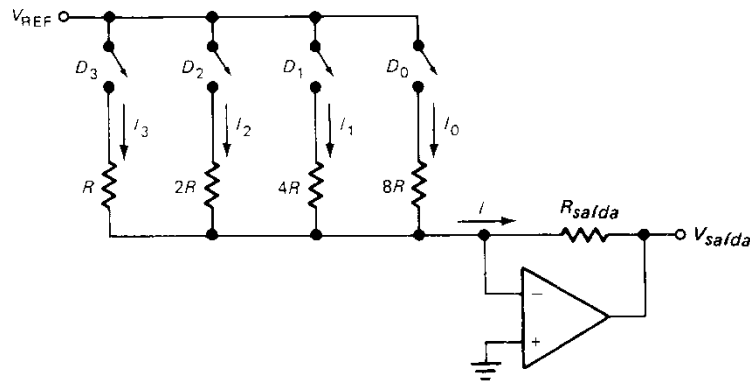


Fig. 2: Circuito Básico de um Conversor Analógico-Digital

As chaves da Fig. 2 podem ser substituídas por transistores que trabalharão na região de corte quando $D = 0$ ou na região de saturação quando $D = 1$.

Correntes nas resistências quando as chaves D_3 , D_2 , D_1 e D_0 estão ligadas:

$$I_3 = \frac{V_{REF}}{R} \quad I_2 = \frac{V_{REF}}{2R} \quad I_1 = \frac{V_{REF}}{4R} \quad I_0 = \frac{V_{REF}}{8R}$$

A corrente total na resistência de saída R_{saida} é $I = I_3 + I_2 + I_1 + I_0$, ou seja,

$$I = \frac{V_{REF}}{R} (1 * D_3 + 0.5 * D_2 + 0.25 * D_1 + 0.125 * D_0),$$

Os valores de D podem ser 0 para chave desligada e 1 para chave ligada. Assim, forma-se a Tabela 1, supondo $V_{REF}/R = 1$:

Tabela 1: Valores para o conversor de 4 bits

D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	Corrente de saída (mA)	Fração do Máximo
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0.125	1/15
0	0	1	0	0.250	2/15
0	0	1	1	0.375	3/15
0	1	0	0	0.500	4/15
0	1	0	1	0.625	5/15
0	1	1	0	0.750	6/15
0	1	1	1	0.875	7/15
1	0	0	0	1.000	8/15
1	0	0	1	1.125	9/15
1	0	1	0	1.250	10/15
1	0	1	1	1.375	11/15
1	1	0	0	1.500	12/15
1	1	0	1	1.625	13/15
1	1	1	0	1.750	14/15
1	1	1	1	1.875	15/15

Uma vez que o conversor tem apenas 4 bits, existem 2^4 (16) possíveis valores de saída, sendo 0 (zero) o menor valor e o valor máximo correspondente ao decimal 15, ou binário 1111 (hexadecimal F). A tensão de saída é dada por $V_{saída} = R_{saída} * I$. Os resistores ponderados são necessários para que a saída corresponda à fração indicada na última coluna da tabela.

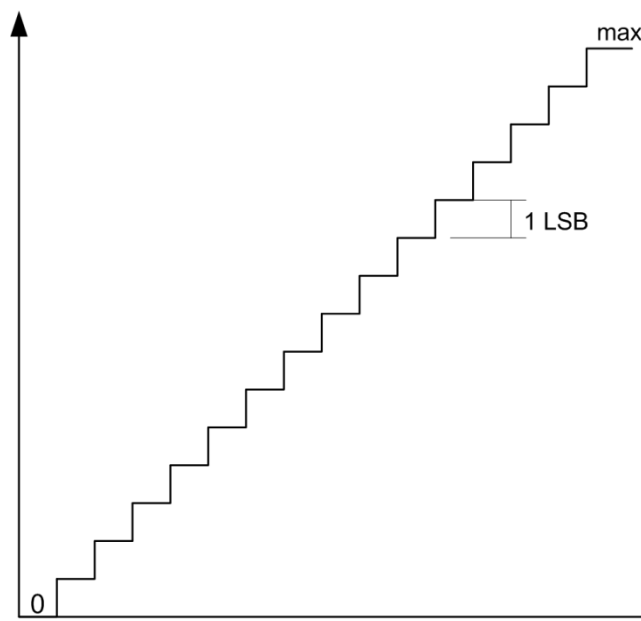


Fig. 3: Forma da corrente de saída para uma variação de corrente de 0 a 15

Características de um Conversor DA:

- (a) Cada degrau corresponde a 1 LSB (bit menos significativo)
- (b) Número de degraus de um conversor: $2^n - 1$, onde n é o número de bits. Para $n = 4 \Rightarrow 15$ degraus.

1. Resolução: É a relação entre o menor incremento possível, 1 LSB e a saída máxima.

$$\text{Resolução} = \frac{1}{2^n - 1}, \text{ n é número de bits. No caso de } n = 4 \Rightarrow \text{Resolução} = \frac{1}{15}$$

$$\text{Resolução Percentual} = \text{Resolução} \times 100\%$$

$$\text{No caso de 4 bits} \Rightarrow \text{Resolução Percentual} = 6.67\%$$

Tabela 2: Resolução do DA *versus* Número de bits

Número de bits	Resolução	Resolução Percentual (%)
4	1/15	6.67
8	1/255	0.392
10	1/1023	0,09775
12	1/4095	0.02442
16	1/65535	0.000381

2. **Precisão Absoluta:** Refere-se a quão próxima cada corrente de saída está de seu valor ideal. A precisão depende da tolerância dos resistores, do descasamento dos transistores e da tensão de referência.
3. **Precisão Relativa:** Refere-se a quão próximo cada nível de saída está de sua fração ideal de saída total. A precisão relativa depende principalmente da tolerância dos resistores ponderados. Se eles forem exatamente iguais a R , $2R$, $4R$ e $8R$ no caso do conversor de 4 bits, todos os degraus serão iguais a 1 incremento LSB. Se os resistores não estiverem corretos os degraus poderão ser maiores ou menores que 1 incremento LSB.
4. **Monotonicidade:** Um conversor DA monotônico é aquele que produz um aumento na corrente de saída para cada entrada digital sucessiva, ou seja, cada aumento no sinal de entrada produz um aumento no sinal de saída. Se os resistores ponderados não estiverem corretos, pode-se ter um conversor não monotônico. O erro máximo da saída do conversor deve ser de $\pm 1/2$ LSB para garantir que o conversor seja monotônico.
5. **Tempo de Resolução (ou de Posicionamento):** Tempo que a saída do conversor leva para se estabilizar dentro de $1/2$ LSB de seu valor final. Esse tempo depende, dentre outros fatores, das capacitâncias espúrias e do tempo de retardo de saturação dos transistores.

Para que o conversor seja monotônico a tolerância dos resistores ponderados deve ser inferior à resolução percentual. Assim, a tolerância dos resistores deve ser no máximo de 6.67% para o conversor de 4 bits e de 0.4% para o conversor de 8 bits. Portanto, quanto maior o número de bits do conversor, maior a dificuldade de construção usando o modelo de resistores ponderados, além da dificuldade com os diferentes valores. A solução encontrada foi o modelo da Escada R - $2R$, mostrado na Fig. 4. Nesse circuito a corrente permanece constante em cada ramo. O que muda é a posição do ponto de terra, onde o terra da corrente de saída é um terra virtual do amplificador operacional. Dessa forma, a corrente de saída varia de acordo com o fechamento das chaves D .

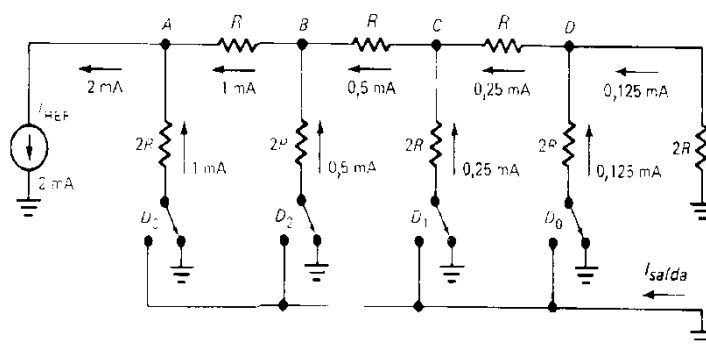


Fig. 4: Conversor Digital-Analógico em escada

A Fig. 5 mostra a conexão de um conversor Digital-Analógico (DAC0808) com um sistema mínimo formado pelo microprocessador 8085, memória ROM 8355 e memória RAM 8156.

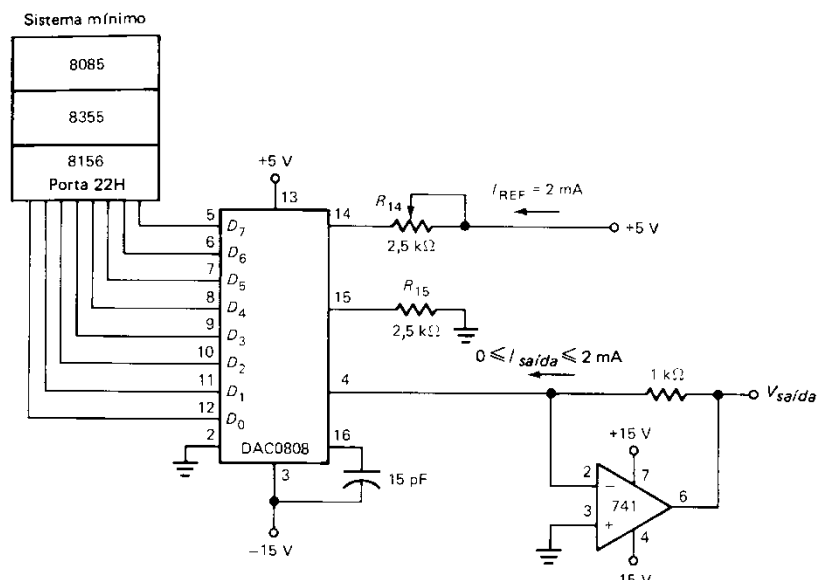


Fig. 5: Conexão do conversor DAC 0808 com um sistema mínimo

O conversor digital/analógico **DAC0800**, mostrado na Fig. 6, é um conversor de 8 bits com tempo de acomodação de 100 ns. Nesse circuito há uma variação de 20 V pico a pico. Várias configurações de saída são possíveis, tais como: 0 a $+V_0$, $+V_0$ a 0, $-V_0$ a 0, 0 a $-V_0$ e $-V_0$ a $+V_0$. A Fig. 7 mostra uma configuração possível. A tabela da Fig. 7 mostra alguns valores de entrada com suas respectivas saídas analógicas, para os parâmetros da Fig. 7.

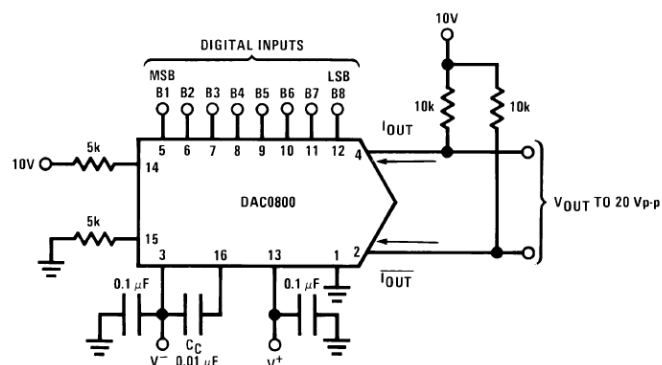
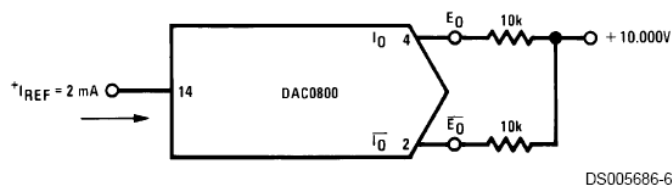


Fig. 6: Conversor DA



DS005686-6

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_o	\bar{E}_o
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale-LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.840	+9.920
Zero Scale+LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale-LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale+LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.840
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

Fig. 7: Configuração adotada no presente experimento e saídas analógicas

1.2 Conversor Analógico-Digital

A Fig. 8 mostra um circuito que converte um sinal analógico em digital. O processo de conversão usa um conversor digital-analógico e um contador. No início da conversão um sinal de controle zera a saída do contador. Como o valor digital inicial é zero, a saída do conversor DA é também zero, o que resulta um sinal alto na saída do amplificador operacional que compara o sinal analógico de entrada V_{ent} com o sinal analógico $V_{saída}$ de saída do conversor DA. Esse sinal alto dá início ao processo de conversão.

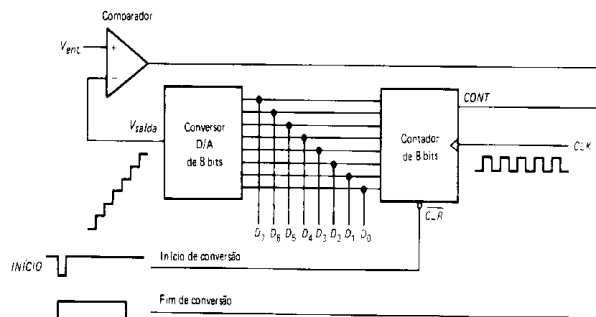


Fig. 8: Circuito básico de um Conversor Analógico-Digital

A conversão se encerra quando o sinal de saída do comparador estiver em nível baixo, ou seja, quando o sinal $V_{saída}$ for maior que o sinal que se deseja converter, V_{ent} . O resultado da conversão é obtido nas linhas de transferência de dados do contador para o conversor DA. Observe que o sinal na saída do comparador pode ser usado para indicar o fim da conversão. Durante a conversão esse sinal permanece em nível alto.

A desvantagem principal de um conversor do tipo mostrado na Fig. 8 é que o tempo de conversão pode durar até 255 períodos de clock para um conversor de 8 bits e até 65535 períodos de clock para um conversor de 16 bits. Uma solução para reduzir o tempo de conversão é o conversor mostrado na Fig. 9, do tipo aproximação sucessiva.

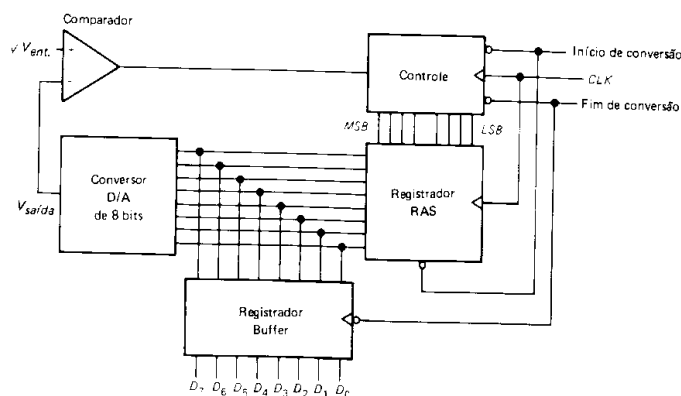


Fig. 9: Conversor AD por aproximação sucessiva

O processo de conversão desse tipo de conversor é diferente do anterior. Nesse conversor o número máximo de períodos de clock utilizados na conversão corresponde ao número de bits do conversor, ou seja, o conversor de 8 bits leva até 8 ciclos de clock para completar uma conversão e o de 16 bits leva até 16 ciclos de clock.

Um pulso alto de “início de conversão” enviado ao Registrador de Aproximação Sucessiva (RAS) dá início ao processo. O registrador RAS começa setando o bit mais significativo D_7 (MSB) que alimenta o conversor DA. Se a saída do DA for maior que o sinal a ser convertido V_{ent} , o bit MSB é zerado. Caso o bit D_7 não resulte em saída analógica $V_{saída}$ maior que o sinal a ser convertido, o bit D_7 é mantido. A seguir o segundo bit mais significativo, D_6 , e os demais bits restantes são testados seguindo o mesmo procedimento, até atingir o valor correto de conversão. Ao final da conversão, um sinal baixo é emitido

para o Registrador Buffer, liberando a saída digital e, ao mesmo tempo, conservando esse valor durante a próxima conversão.

O conversor analógico/digital ADC0804, mostrado na Fig. 10(a), é um conversor de 8 bits e com tempo de conversão de 100 μ s. A tensão de entrada, a ser convertida para digital, pode variar de 0 a 5 V e o sinal de clock pode ser obtido usando um circuito RC, como mostrado na Fig. 10(b). Se a tensão de referência for 5 V, uma variação do sinal de entrada de 0 a 5V resulta numa saída de 00H a FFH.

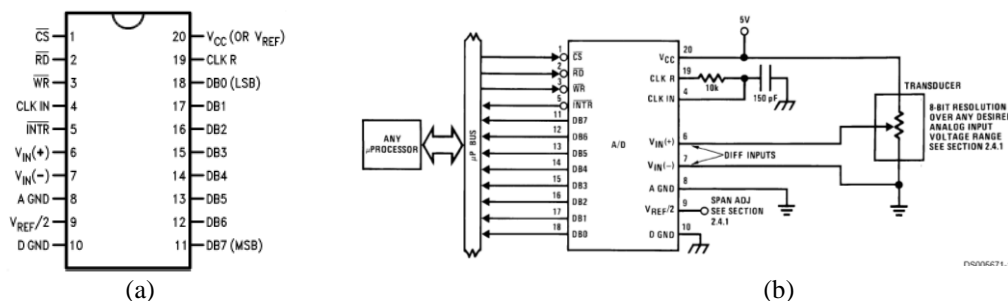
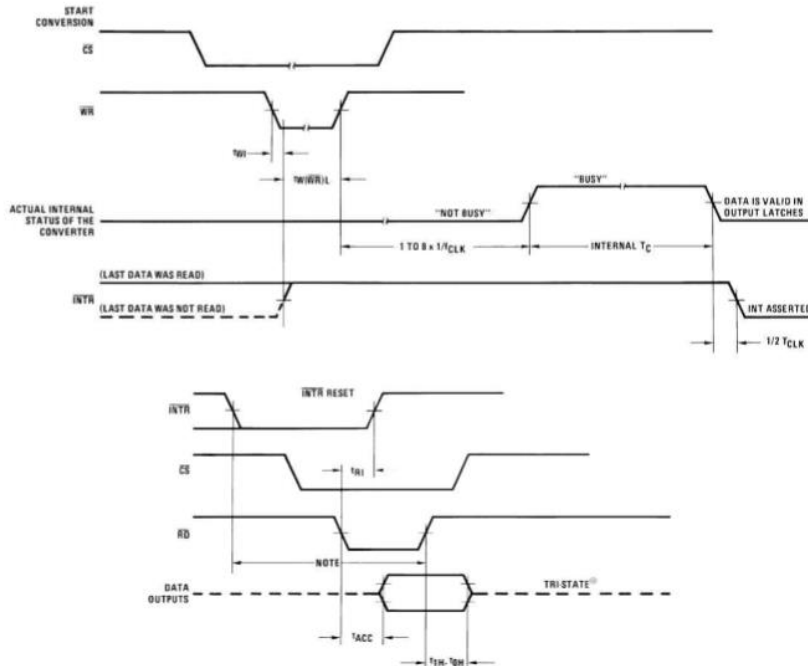


Fig. 10 – Conversor AD 0804 e uma aplicação típica

Os sinais principais do conversor são descritos na Tabela 3. O sinal INTR\ é o sinal de fim de conversão e pode ser usado para gerar uma interrupção no microcontrolador. Desejando-se um funcionamento contínuo do AD, o sinal INTR\ deve ser conectado ao WR\, enquanto o sinal CS\ é mantido baixo. Assim, ao final de cada processo o AD inicia uma nova conversão. A primeira conversão, no entanto, é iniciada através de uma transição de 0 para 1 do sinal WR\.

Tabela 3: Sinais de controle principais do conversor AD 0804

Sinal	Descrição
INTR\	Sinal de fim de conversão. Passa de nível lógico alto para baixo. Pode ser usado pelo microcontrolador para solicitar interrupção para leitura do sinal convertido.
CS\ e WR\	Quando CS\ e WR\ são levados ao nível lógico baixo, o conversor AD é ressetado e permanece nesse estado enquanto esses sinais permanecerem em nível baixo. A passagem de 0 para 1 de WR\ faz o AD iniciar uma nova conversão.
RD\	O sinal RD\ baixo habilita a saída do conversor AD. A saída do conversor pode ser mantida continuamente habilitada mantendo CS\ e RD\ em nível baixo.



Read strobe must occur 8 clock periods ($8/f_{CLK}$) after assertion of interrupt to specify reset of \overline{INTR} .

Fig. 11 – Diagrama de temporização do conversor ADC0804

2 Atividades do Experimento 6

Os programas das tarefas a seguir devem ser **digitados** e **compilados** em um simulador digital e **executados** no **simulador do kit didático** e, posteriormente, no **kit didático real** do microcontrolador 8051.

2.1 Conversor DA – Onda dente de serra

2.1.1 Onda dente de serra no simulador digital

O programa a seguir gera uma onda dente de serra na saída do conversor DA, que está conectado à porta P0.

Tabela 4: Programa que gera onda dente de serra

Rótulo	Mnemônico	Comentário sobre o Efeito da Operação
	ORG 00H	
	LJMP INICIO	
	ORG 30H	
INICIO:	MOV SP,#2FH	; Apontador de pilha SP = 2FH
	MOV A,#00H	; Valor inicial do acumulador
V1:	MOV P0,A	; Envia conteúdo do acumulador para o conversor DA
	LCALL ATRASO	; Chama subrotina de atraso de tempo
	INC A	; Incrementa A
	SJMP V1	; Volta para repetir operação
ATRASO:	MOV R7,#250	
	DJNZ R7,\$	
	RET	
	END	

Faça uma captura da onda observada no osciloscópio do simulador e anote o valor do período, frequência e valor pico a pico da onda na Tabela 5.

Fig. 11 - Onda dente de serra observada no osciloscópio do simulador

2.1.2 Onda dente de serra no kit real

Grave em um microcontrolador da família 8051 os programas desenvolvidos e anote na Tabela 5 os valores solicitados

Tabela 5: resultado da onda dente de serra

	Simulador	Kit real
Período		
Frequência		
Amplitude (pico a pico)		

2.2 Conversor DA – Onda triangular

2.2.1 Onda triangular no simulador digital

A partir do programa da onda dente de serra, faça um programa para gerar uma onda triangular como a mostrada na figura 12.

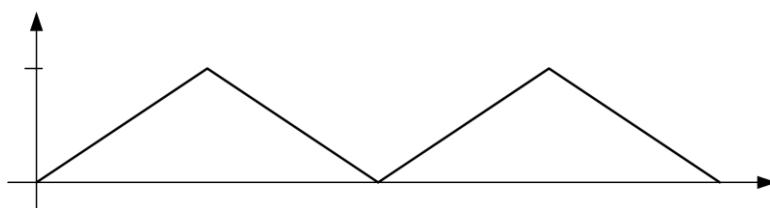


Fig. 12 - Onda triangular

Tabela 6: Programa que gera uma onda triangular na saída do conversor DA

Rótulo	Mnemônico	Rótulo	Mnemônico
	ORG 00H	DECRESCE:	
	LJMP INICIO		
	ORG 30H		
INICIO:	MOV SP,#2FH		
	MOV A,#00H		
CRESCE:			
		ATRASO:	MOV R7,#250
			DJNZ R7,\$
			RET
			END

Faça uma captura da tela do computador, com a onda observada no osciloscópio. Anote o valor do período, frequência e valor pico a pico da onda na Tabela 7.

Fig. 13 – Onda triangular do simulador digital

2.2.2 Onda triangular no kit real

Grave em um microcontrolador da família 8051 os programas desenvolvidos e anote na Tabela 7 os valores solicitados.

Tabela 7 - Resultados da onda triangular

	Simulador	Kit real
Período		
Frequência		
Amplitude (pico a pico)		

2.3 Conversor DA – Onda senoidal

2.3.1 Onda senoidal no simulador digital

O programa da Tabela 8 gera uma onda senoidal na saída do conversor DA. A tabela com os dados que geram a onda senoidal é composta por 256 valores e foi gerada com auxílio do software Excel.

Tabela 8: Programa que gera uma onda senoidal na saída do conversor DA

Rótulo	Mnemônico	Comentário sobre o Efeito da Operação
	ORG 00H	
	LJMP INICIO	
	ORG 30H	
INICIO:	MOV SP,#2FH	; Apontador de pilha SP = 2FH
	MOV R0,#00H	; Valor inicial do contador
	MOV DPTR,#SENO	; DPTR assume endereço da tabela SEN0
V1:	MOV A,R0	; Acumulador recebe valor atualizado do contador
	MOVC A,@A+DPTR	; Acumulador recebe conteúdo da tabela SEN0
	MOV P0,A	; Envia para o Conversor DA o valor lido da tabela SEN0
	LCALL ATRASO	; Chama subrotina de atraso de tempo
	INC R0	; Incrementa contador
	SJMP V1	; Volta para ler próximo valor da tabela
ATRASO:	MOV R7,#100	
	DJNZ R7,\$	
	RET	
SENO:	DB 127, 130, 133, 136, 139, 143, 146, 149, 152, 155, 158, 161, 164, 167, 170, 173	
	DB 176, 179, 181, 184, 187, 190, 193, 195, 198, 200, 203, 205, 208, 210, 213, 215	
	DB 217, 219, 221, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 235, 236, 238, 239, 241, 242, 243	
	DB 245, 246, 247, 248, 249, 250, 250, 251, 252, 252, 253, 253, 253, 254, 254, 254	
	DB 254, 254, 254, 254, 253, 253, 252, 252, 251, 251, 250, 249, 248, 247, 246, 245	
	DB 244, 243, 241, 240, 239, 237, 235, 234, 232, 230, 228, 226, 224, 222, 220, 218	
	DB 216, 214, 211, 209, 207, 204, 202, 199, 196, 194, 191, 188, 186, 183, 180, 177	
	DB 174, 171, 168, 166, 163, 159, 156, 153, 150, 147, 144, 141, 138, 135, 132, 129	
	DB 125, 122, 119, 116, 113, 110, 107, 104, 101, 98, 95, 91, 88, 86, 83, 80	
	DB 77, 74, 71, 68, 66, 63, 60, 58, 55, 52, 50, 47, 45, 43, 40, 38	
	DB 36, 34, 32, 30, 28, 26, 24, 22, 20, 19, 17, 15, 14, 13, 11, 10	
	DB 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 3, 2, 2, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 2, 2, 3, 4, 4, 5, 6, 7, 8, 9	
	DB 11, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37	
	DB 39, 41, 44, 46, 49, 51, 54, 56, 59, 61, 64, 67, 70, 73, 75, 78	
	DB 81, 84, 87, 90, 93, 96, 99, 102, 105, 108, 111, 115, 118, 121, 124, 127	
	END	

Faça uma captura da tela do computador, com a onda observada no osciloscópio do simulador. Anote o valor do período, frequência e valor pico a pico da onda na Tabela 9.

Fig. 14 – Onda senoidal do simulador digital

2.3.2 Onda senoidal no kit real

Grave em um microcontrolador da família 8051 os programas desenvolvidos e anote na Tabela 9 os valores solicitados.

Tabela 9: Resultados para a onda senoidal

	Simulador	Kit real
Período		
Frequência		
Amplitude (pico a pico)		

O que ocorre com a frequência da onda senoidal se o valor de R7, na subrotina ATRASO, for reduzido de 100 para 50?

2.4 Conversor AD

O conversor Analógico-Digital (conversor AD), no presente experimento, tem como entrada analógica um potenciômetro e sua saída digital é conectada à Porta P2 do microcontrolador.

Quanto ao controle do AD, são usadas duas estratégias: uma para a simulação e outra para a parte prática. Na simulação, utiliza-se o controle de início de conversão (através dos pinos CS e WR), fim de conversão (através do pino INT) e liberação dos dados para leitura (através do pino RD).

Na parte experimental o conversor AD opera de forma ininterrupta, onde o sinal de fim de conversão é usado para iniciar a próxima conversão e o sinal de leitura da saída do AD permanece habilitada.

Observar que, no programa executado no simulador, as seguintes definições de pinos são usadas:

CS_AD	EQU P3.5	; pino de habilitação do AD (Chip Select = CS)
START_AD	EQU P3.4	; pino de inicialização da conversão (WR)
READ	EQU P3.7	; pino de habilitação de leitura (RD)

2.4.1 Conversor AD no simulador digital

No programa da Tabela 10 os valores lidos do conversor AD são mostrados nos Leds da Porta P1.

Tabela 10: Programa que mostra nos Leds a saída do conversor AD

Linha	Rótulo	Mnemônico	Linha	Rótulo	Mnemônico
1	CS_AD	EQU P3.5	19		CLR START_AD
2	START_AD	EQU P3.4	20		NOP
3	READ	EQU P3.7	21		NOP
4			22		SETB START_AD
5		ORG 00H	23		NOP
6		LJMP INICIO	24		NOP
7			25		JB P3.2,\$
8		ORG 30H	26		NOP
9	INICIO:	MOV SP,#2FH	27		CLR CS_AD
10			28		NOP
11	V1:	MOV P1,A	29		NOP
12		SETB CS_AD	30		CLR READ
13		SETB START_AD	31		NOP
14		NOP	32		MOV A,P2
15		NOP	33		JNB P3.2,\$
16		CLR CS_AD	34		SETB READ
17		NOP	35		SJMP V1
18		NOP	36		END

Anote na Tabela 11 o valor da tensão de entrada e o seu correspondente digital mostrado nos Leds, para 4 valores diferentes. Valores aproximados da tensão de entrada: 1 V, 2,5 V, 4 V e 5 V

Tabela 11: Entrada analógica e saída digital

Valor analógico de entrada	Valor de saída (Binário)	Valor de saída (Hexadecimal)

Qual é a função da instrução **JB P3.2,\$** na linha 25?

2.4.2 Conversor AD no kit real

Grave em um microcontrolador o programa da tabela a seguir e execute no kit real.

Linha	Rótulo	Mnemônico
1		ORG 00H
2		LJMP INICIO
3		
4		ORG 30H
5	INICIO:	MOV SP,#2FH
6	V1:	MOV A,P2
7		MOV P1,A
8		SJMP V1
9		END

Anote na Tabela a seguir o valor da tensão de entrada e o seu correspondente digital mostrado nos Leds, para 4 valores diferentes. Valores aproximados da tensão de entrada (lida no pino central do potenciômetro): 1 V, 2,5 V, 4 V e 5 V

Valor analógico de entrada	Valor digital de saída (Binário)

Valor da tensão de referência do conversor AD (lido no pino 20): _____

2.5 Conversor AD – LEDs indicam faixa da tensão de entrada no kit real

A Tabela 12 mostra o valor que deve ser enviado para a porta P1, para ligar os Leds especificados na segunda coluna, para cada faixa de leitura do conversor AD. Esses valores são enviados para a porta P1, no programa da Tabela 13.

Tabela 12: Valores lidos do conversor AD e LEDs que devem acender

Valor lido do conversor AD	LED ligado	Valor enviado para P1
00H a 1FH	LED 0 (P1.0)	0000 0001 = 01H
20H a 3FH	LED 1 (P1.1)	0000 0010 = 02H
40H a 5FH	LED 2 (P1.2)	0000 0100 = 04H
60H a 7FH	LED 3 (P1.3)	0000 1000 = 08H
80H a 9FH	LED 4 (P1.4)	0001 0000 = 10H
A0H a BFH	LED 5 (P1.5)	0010 0000 = 20H
C0H a DFH	LED 6 (P1.6)	0100 0000 = 40H
E0H a FFH	LED 7 (P1.7)	1000 0000 = 80H

O programa da Tabela 13 deve ser gravado em um microcontrolador e executado no kit didático (não há necessidade de simulação digital).

Tabela 13: Programa que liga um LED para cada intervalo de tensão de entrada

Linha	Rótulo	Mnemônico	Linha	Rótulo	Mnemônico
1		ORG 00H	30	FAIXA4:	CLR CY
2		LJMP INICIO	31		MOV A,R0
3			32		SUBB A,#80H
4		ORG 30H	33		JNC FAIXA5
5	INICIO:	MOV SP,#2FH	34		MOV P1,#08H
6		MOV P1,#00H	35		SJMP V1
7			36		
8	V1:	MOV A,P2	37	FAIXA5:	CLR CY
9		MOV R0,A	38		MOV A,R0
10			39		SUBB A,#0A0H
11	FAIXA1:	CLR CY	40		JNC FAIXA6
12		SUBB A,#20H	41		MOV P1,#10H
13		JNC FAIXA2	42		SJMP V1
14		MOV P1,#01H	43		
15		SJMP V1	44	FAIXA6:	CLR CY
16			45		MOV A,R0
17	FAIXA2:	CLR CY	46		SUBB A,#0C0H
18		MOV A,R0	47		JNC FAIXA7
19		SUBB A,#40H	48		MOV P1,#20H
20		JNC FAIXA3	49		LJMP V1
21		MOV P1,#02H	50		
22		SJMP V1	51	FAIXA7:	CLR CY

23			52		MOV A,R0
24	FAIXA3:	CLR CY	53		SUBB A,#0E0H
25		MOV A,R0	54		JNC FAIXA8
26		SUBB A,#60H	55		MOV P1,#40H
27		JNC FAIXA4	56		LJMP V1
28		MOV P1,#04H	57		
29		SJMP V1	58	FAIXA8:	MOV P1,#80H
30			59		LJMP V1
			60		END

Questão 1: Explique o funcionamento do programa da linha 11 à linha 15.

Questão 2: Explique o funcionamento do programa completo. Qual é o efeito visual nos Leds da Porta P1?

2.6 Conversor AD – LEDs acendem gradativamente

A coluna 2 da Tabela 14 mostra os Leds que devem ser ligados de acordo com as faixas de valores da primeira coluna da Tabela, e lidos do conversor AD.

Complete a Tabela 15 (linhas 14, 21, 28, 35, 42, 49, 56 e 59) com o “Valor binário a ser enviado para a Porta P1”, para obter o efeito indicado na coluna “LEDs ligados”.

Tabela 14: Valores lidos do conversor AD e LEDs que devem acender

Valor lido do conversor AD	LEDs ligados	Valor binário a ser enviado para a Porta P1
00H a 1FH	Somente LED 0	
20H a 3FH	LEDs 0 e 1	
40H a 5FH	LEDs 0, 1 e 2	
60H a 7FH	LEDs 0 a 3	
80H a 9FH	LEDs 0 a 4	
A0H a BFH	LEDs 0 a 5	
C0H a DFH	LEDs 0 a 6	
E0H a FFH	Todos os LEDs	

O programa da Tabela 15 deve ser gravado em um microcontrolador e executado no kit didático (não há necessidade de simulação digital).

Tabela 15: Programa usado para acender os LEDs de acordo com o valor lido do AD

Linha	Rótulo	Mnemônico	Linha	Rótulo	Mnemônico
1		ORG 00H	31	FAIXA4:	CLR CY
2		LJMP INICIO	32		MOV A,R0
3			33		SUBB A,#80H
4		ORG 30H	34		JNC FAIXA5
5	INICIO:	MOV SP,#2FH	35		MOV P1,#
6		MOV P1,#00H	36		SJMP V1
7			37		
8	V1:	MOV A,P2	38	FAIXA5:	CLR CY
9		MOV R0,A	39		MOV A,R0
10			40		SUBB A,#0A0H
11	FAIXA1:	CLR CY	41		JNC FAIXA6
12		SUBB A,#20H	42		MOV P1,#
13		JNC FAIXA2	43		SJMP V1
14		MOV P1,#	44		
15		SJMP V1	45	FAIXA6:	CLR CY
16			46		MOV A,R0
17	FAIXA2:	CLR CY	47		SUBB A,#0C0H
18		MOV A,R0	48		JNC FAIXA7
19		SUBB A,#40H	49		MOV P1,#
20		JNC FAIXA3	50		LJMP V1
21		MOV P1,#	51		
22		SJMP V1	52	FAIXA7:	CLR CY
23			53		MOV A,R0
24	FAIXA3:	CLR CY	54		SUBB A,#0E0H
25		MOV A,R0	55		JNC FAIXA8
26		SUBB A,#60H	56		MOV P1,#
27		JNC FAIXA4	57		LJMP V1
28		MOV P1,#	58		
29		SJMP V1	59	FAIXA8:	MOV P1,#
30			60		LJMP V1
31			61		
32			62		END

Questão: Explique o funcionamento do programa completo. Qual é o efeito visual nos Leds da Porta P1?