

**PFUNDAÇÃO ESCOLA TÉCNICA LIBERATO SALZANO VIEIRA DA CUNHA**  
**CURSO TÉCNICO DE ELETRÔNICA**

**RELATÓRIO DAS PRÁTICAS COM MEMÓRIAS EPROM E CONVERSÃO**  
**DIGITAL-ANALÓGICO.**

**GABRIEL GOSMANN**  
**ROBERT BUSS KAUFMANN**  
**4311**

**Professor: Marcos Zuccolotto**  
**Disciplina: Sistema Microprocessados**

**Novo Hamburgo**  
**2016.**

## 1 INTRODUÇÃO

A proposta da atividade prática relatada a seguir é utilizar memórias EPROM e uma placa SMD conversora digital-analógico de 8 bits para gerar 4 sinais com 256 palavras de 8 bits de comprimento. Detalhes com relação ao desenho da placa e do processo de gravação dos arquivos na placa serão abordados com profundidade a seguir. A seleção entre esses quatro sinais é feita alterando-se os dois bits mais significativos dos endereços da memória, desta forma, a EPROM deveria ter no mínimo 10 entradas de endereços e 8 saídas, uma memória de 8-kb.

A segunda proposta da atividade é gravar um arquivo de áudio em uma memória de maior armazenamento (nesse caso 1-Mb) e projetar um circuito que converta o sinal gravado na memória em ondas sonoras. Sendo assim, quando o circuito for acionado com a frequência correta de clock e a saída amplificada e conectada a um alto falante será possível ouvir (com uma certa distorção devido às conversões) o sinal gravado.

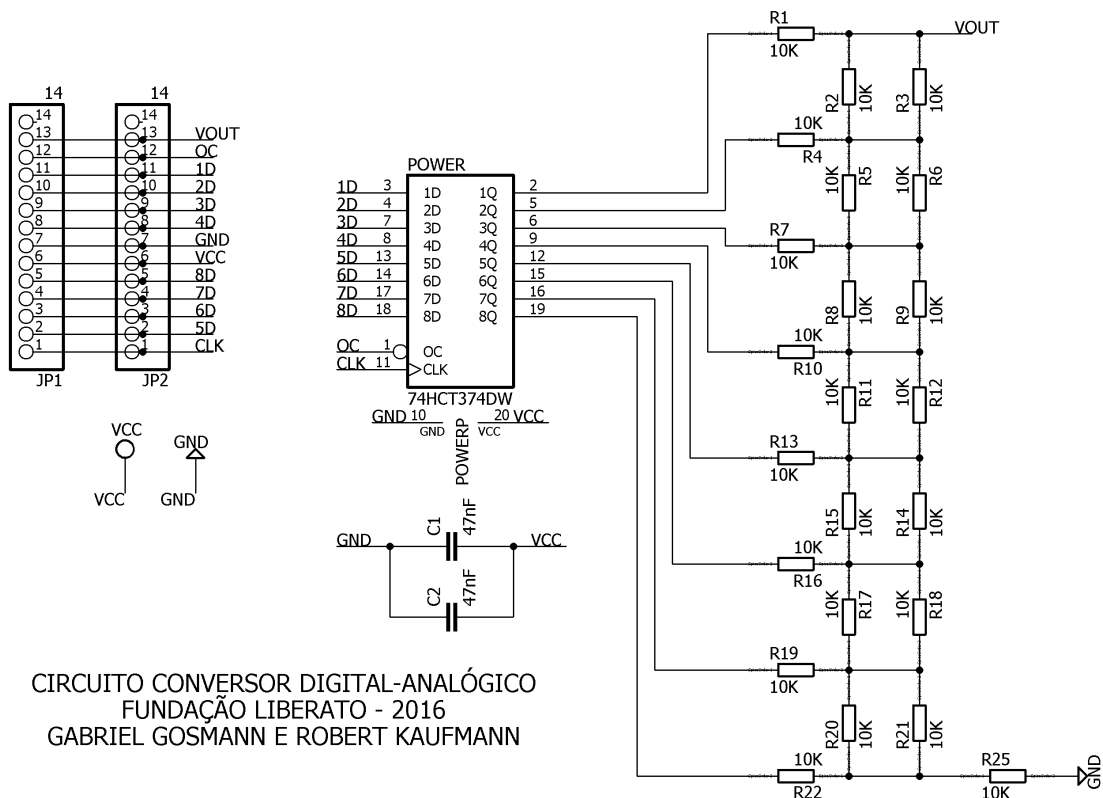
## 2 CONVERSOR DIGITAL-ANALÓGICO

A placa foi desenvolvida utilizando o software EAGLE da CadSoft. O esquemático foi entregue em aula pelo professor Marcos Zuccolotto e pode ser observado abaixo. A placa tem como base o circuito integrado SMD 74HCT374 (um conjunto de 8 flip-flops tipo D) ligado a uma Rede R-2R de 8 bits de resistores SMD 0805. A placa apresenta 8 pinos para entrada de dados digitais e uma saída com seu equivalente analógico. Também apresenta um pino de controle de saída (que deve estar em nível lógico baixo para habilitar as saídas) e um pino de clock (que, quando na borda de subida, habilita a leitura dos valores de entrada). Pelo fato da família do CI ser HCMOS (*high speed CMOS*), o circuito deve ser alimentado com valores entre 4,5 e 5,5V.

Na borda de clock de subida as 8 entradas do conversor são lidas e expressas na saída. A partir disso, a malha R-2R hierarquiza os valores obtidos pelo circuito integrado de forma que a 1D seja a mais significativa e a 8D a menos significativa.

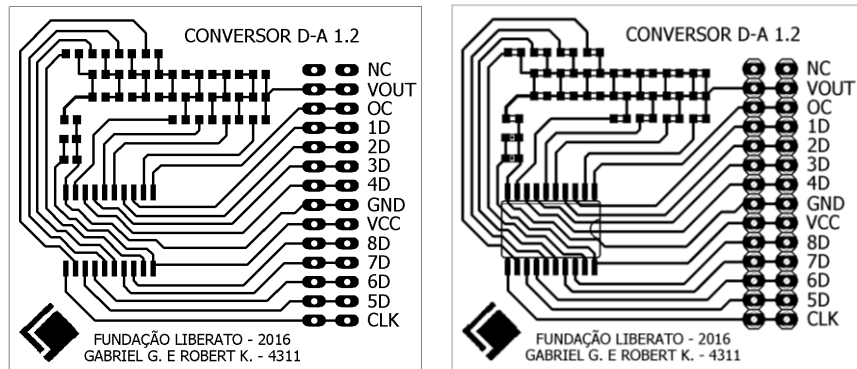
Dessa forma, se todas as entradas estiverem em nível lógico alto, quando o clock estiver na borda de subida a saída do circuito (pino VOUT) apresentará tensão igual à alimentação.

Imagem 1 – Esquemático do Conversor digital-analógico



Com relação ao desenho da placa em si, procuramos montar de forma que ela não apresentasse jumpers e fosse compacta e simples para realizar a soldagem. Adicionamos alguns dados identificativos como o ano, os autores e a instituição. Foi adicionado dois barramentos de pinos, de forma a maximizar as possibilidades de conexão. O método utilizado para confeccionar a placa foi o da transferência térmica com impressão em papel couchê, utilizado na aula de desenho técnico do segundo ano do Curso Técnico de Eletrônica da Fundação Liberato. Abaixo consta o layout da placa em tamanho real sem e com os componentes.

Imagem 2 – Layout da placa conversora Digital-Analógico sem e com os componentes



### 3 GERAR E GRAVAR OS ARQUIVOS DOS SINAIS

Conforme indicado pelo professor em aula, nós utilizamos o software HXD hexadecimal editor para gerar o arquivo.bin que o gravador de EPROM utiliza. No entanto, para gerar a sequência de valores hexadecimais para o HXD, nós utilizamos funções do Microsoft Excel, uma vez que facilita a visualização do resultado final através de gráficos e apresenta várias funções convenientes como conversão de bases e filtros.

A proposta exige a seleção entre quatro sinais diversos, sendo a senoide obrigatória mais três sinais de livre escolha. Foi gerado os seguintes arquivos:

- Sinal da onda senoidal;
- Sinal da função matemática tangente;
- Sinal aleatório (ruído);
- Sinal de senoide modulada.

O principal ponto que difere os quatro sinais é apenas uma função matemática específica, uma vez que todos os outros processos de conversão são idênticos. Como dito anteriormente, cada sinal tem 256 palavras de 8 bits de comprimento. O método utilizado para gerar a sequência de valores hexadecimais foi, portanto:

- Divisão dos períodos dos sinais ( $2\pi$ ) em intervalos de 256;
- Aplicação da função matemática correspondente ao valor (em radianos) em cada componente do intervalo;
- Conversão do valor obtido anteriormente para valores de tensão de 0 a 5 volts, no caso da função seno (que retorna valores entre -1 e 1), multiplica-se o sinal por 2,5 e soma-se 2,5;
- Conversão do valor obtido em decimais de 0 a 255 multiplicando-se por 51;
- Conversão do valor para binário usando a função “dec2bin(number; [places])”.
- Conversão do valor para hexadecimal usando a função “bin2hex(number; [places])”.
- O gráfico é gerado a partir do valor de tensão de 0 a 5V, porém, como todas as alterações a partir daí ocorrem de forma igual em todos os valores, as proporções se mantêm.
- A partir disso toda coluna hexadecimal é copiada e colada no HXD hexadecimal editor, alternando-se os sinais e atentando para cada um ocupar FFh endereços no software.

Mais detalhes desse processo estão no próximo item, com as especificidades de cada sinal.

### **3.1 Onda Senoidal**

Para ilustrar melhor o processo de conversão e desenvolvimento dos arquivos, abaixo consta a imagem das células utilizadas para gerar o arquivo da onda senoidal, bem como a interface do HXD quando os valores da coluna hexadecimal foram colados lá. Como esse processo se repete de forma idêntica nos demais itens, neles serão abordados as suas especificidades e os gráficos da tensão pelo endereço de 8 bits.

Imagem 3 – Células de desenvolvimento da onda senoidal

"=(2*pi/255)+A"	"=SIN(B)"	"=C*2.5+2.5"	"=D*51"	"=DEC2BIN(E;8)"	"=BIN2HEX(F;2)"
0	0	2.5	127.5	01111111	7F
0.0246399423810964	0.024637449	2.561593623	130.6412748	10000010	82
0.0492798847621928	0.049259941	2.623149853	133.7806425	10000101	85
0.0739198271432892	0.073852527	2.684631319	136.9161973	10001000	88
0.0985597695243857	0.098400278	2.746000696	140.0460355	10001100	8C
0.1231997119054820	0.122888291	2.807220727	143.1682571	10001111	8F
0.1478396542865780	0.147301698	2.868254245	146.2809665	10010010	92
0.1724795966676750	0.171625679	2.929064198	149.3822741	10010101	95
0.1971195390487710	0.195845467	2.989613668	152.470297	10011000	98
0.2217594814298680	0.219946358	3.049865895	155.5431606	10011011	9B
0.2463994238109640	0.24391372	3.1097843	158.5989993	10011110	9E
0.2710393661920610	0.267733003	3.169332508	161.6359579	10100001	A1
0.2956793085731570	0.291389747	3.228474367	164.6521927	10100100	A4
0.3203192509542530	0.314869589	3.287173972	167.6458726	10100111	A7

Imagem 4 – Interface do HXD após colagem da colagem da coluna hexadecimal

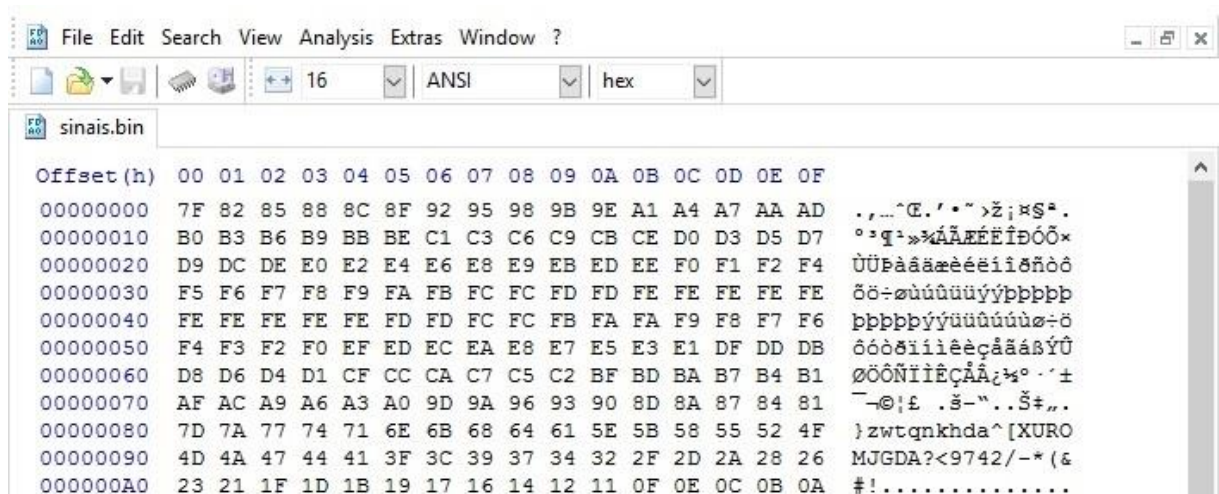
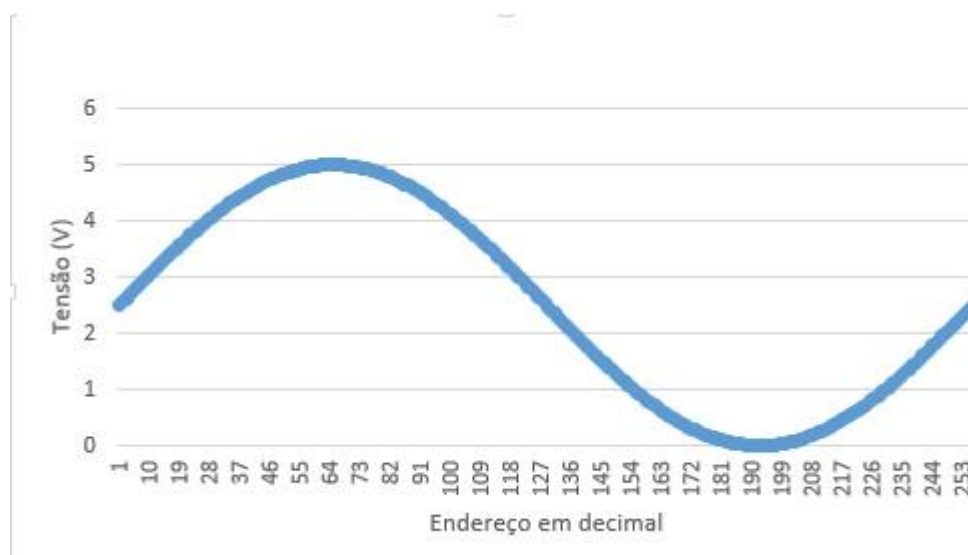


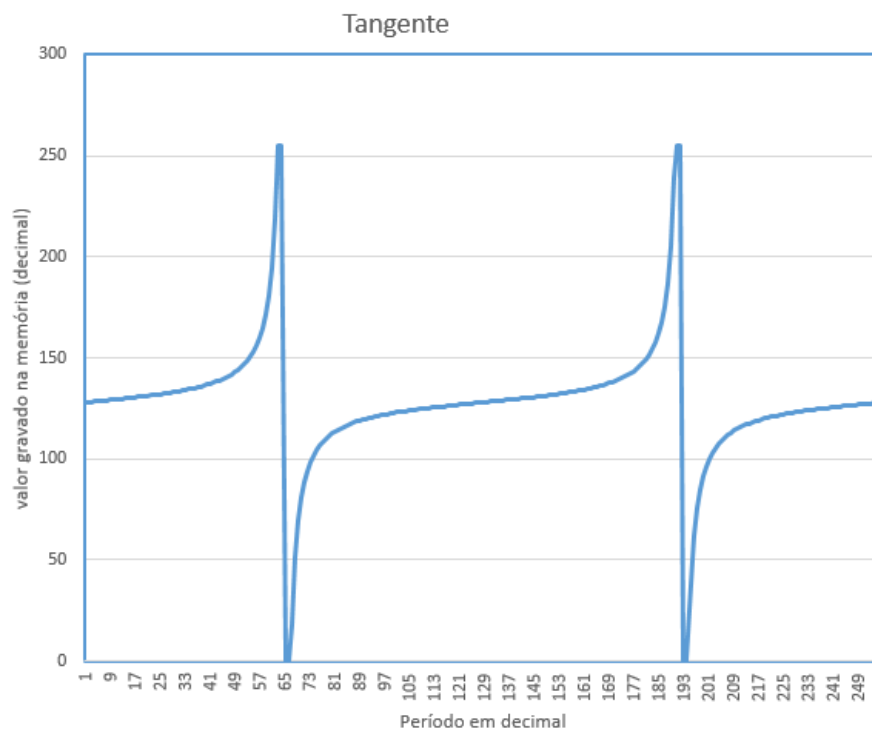
Imagem 5 – Gráfico tensão por endereço gerado no Excel



### 3.2 Onda tangente

A particularidade da onda tangente em relação à senoide é que a tangente atua no domínio do infinito, dessa forma, foi necessário, a fim de obter a forma de onda desejada, restringir os valores gerados entre 0 e 255. Para isso, os valores que seriam maiores que 255 são iguais a 255 e os menores são iguais a 0. Outra particularidade é que o período da tangente é metade do da senoide, então foi gravado dois períodos dentro dos 256 valores.

Imagem 6 – Gráfico do valor gravado na memória pelo período, gerado no Excel



### 3.3 Onda aleatória

A onda foi definida a partir de uma função randômica, que sorteava valores entre 0 e 5000(mV). Esses valores eram aplicados proporcionalmente em seus equivalentes hexadecimais nos endereços da memória.

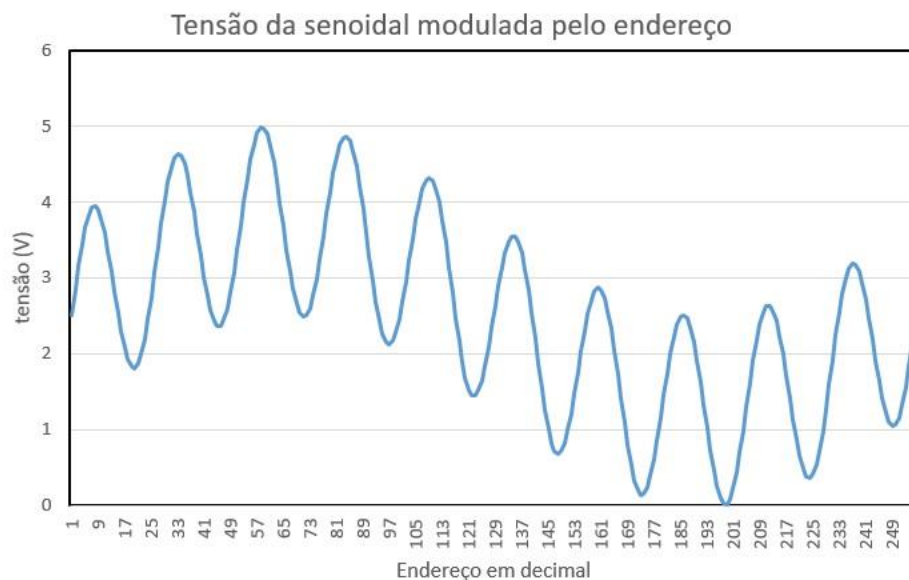
Imagem 7 – Gráfico da tensão pelo período da onda aleatória, gerado no Excel



### 3.4 Onda senoidal modulada

Para desenvolver o código da senoide modulada foram feitas duas funções senoidais com amplitude máxima de 128d, no entanto, uma com frequência 10 vezes maior que a outra. Então ambos sinais foram somados e obteve-se os valores do gráfico que pode ser observado abaixo.

Imagem 8 – Gráfico da tensão pelo período da onda modulada, gerado no Excel



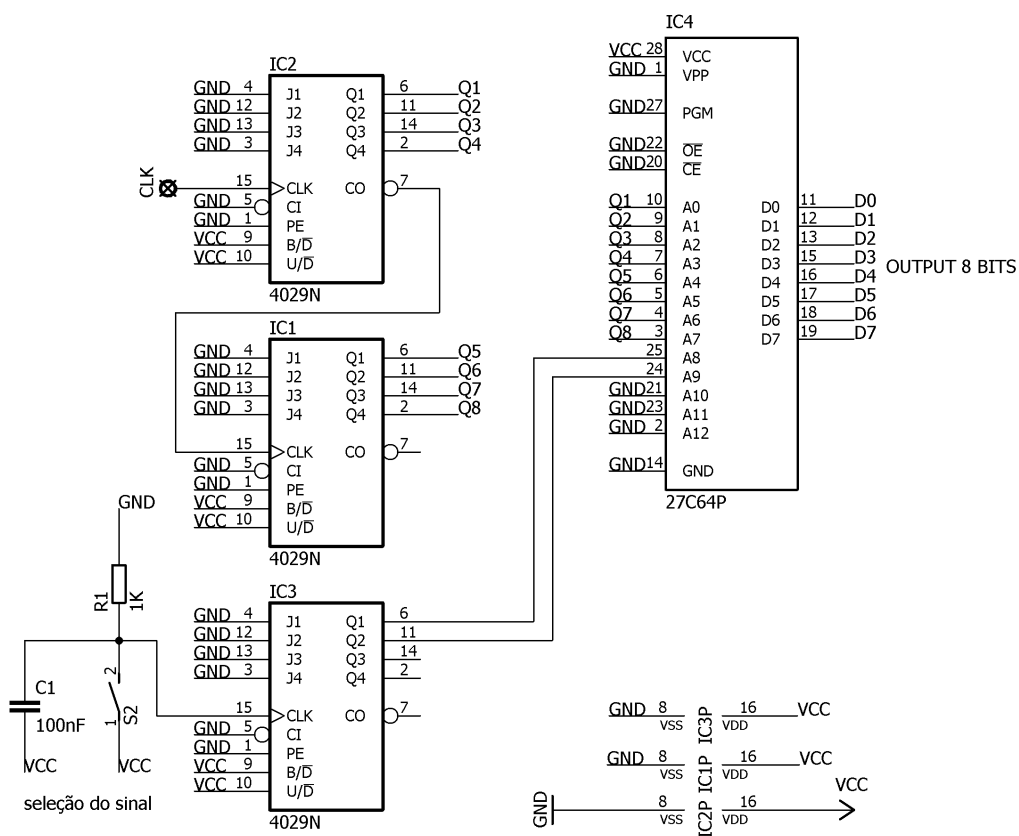


## 4 CIRCUITO PRÁTICO PARA VISUALIZAÇÃO DOS SINAIS

O circuito de implementação é deveras simples. É composto apenas de dois contadores assíncrono, um de 8 bits, outro de 2 bits e a memória conectada ao conversor digital-analógico de 8 bits. O contador 8 bits tem a função de alterar continuamente os endereços da memória, enquanto o de 2 bits tem a função de selecionar a onda que será obtida na saída, após a conversão para analógico.

Sendo um contador de 2 bits, as quatro ondas podem ser selecionadas pressionando-se uma chave tátil. Essa chave (com um capacitor de desacoplamento em paralelo) gera o clock para o contador que seleciona a onda que será visualizada. Desta forma, basta conectar o circuito abaixo ao conversor D-A e gerar um clock para que os sinais possam ser observados no osciloscópio.

Imagem 9 – Esquemático do circuito para visualização dos sinais gravados na EPROM

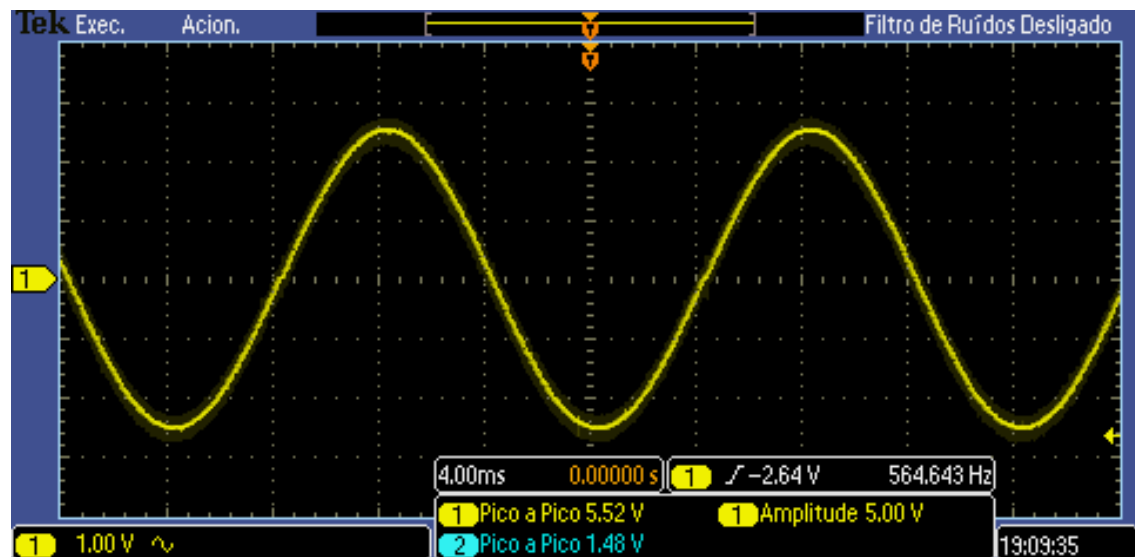


## 5 RESULTADOS PRÁTICOS DA VISUALIZAÇÃO DOS SINAIS

Abaixo consta os sinais obtidos pelo osciloscópio digital na saída do circuito anterior ligado ao conversor D-A. Como pode ser observado, os resultados foram muito similares à pré-visualização do Excel.

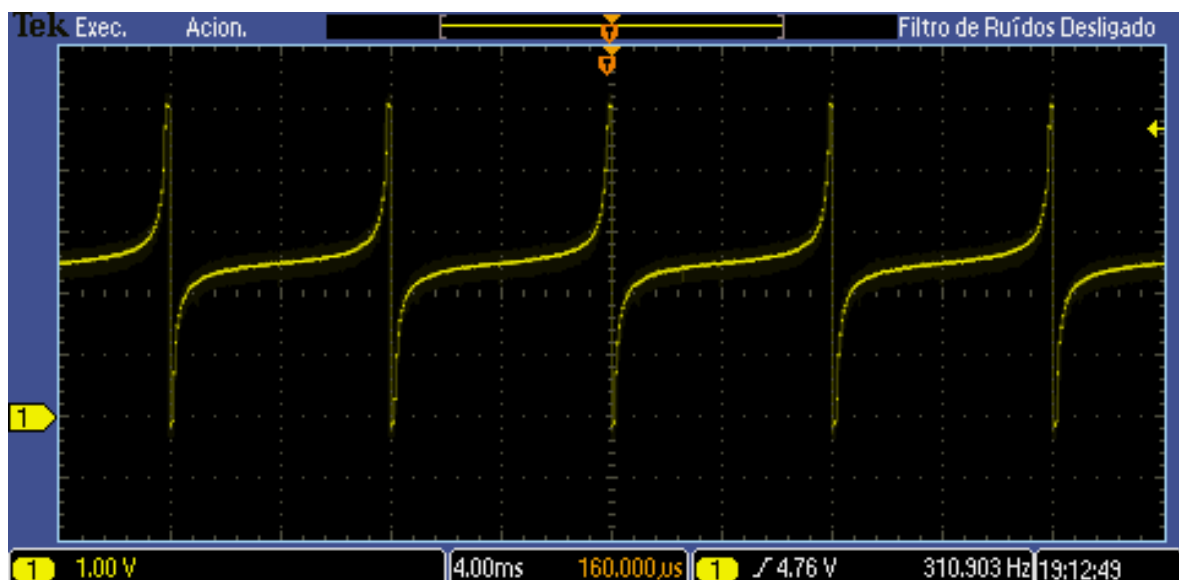
### 5.1 Onda Senoidal 8 bits

Imagem 9 – Visualização da saída do circuito com a onda senoidal selecionada



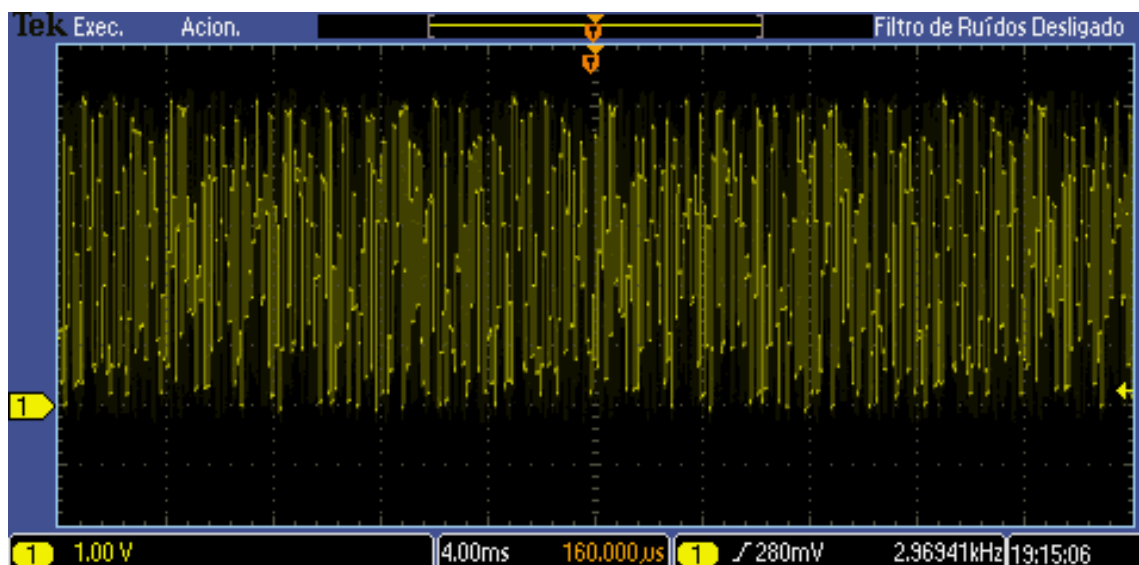
### 5.2 Onda tangente 8 bits

Imagem 10 – Visualização da saída do circuito com a onda tangente selecionada



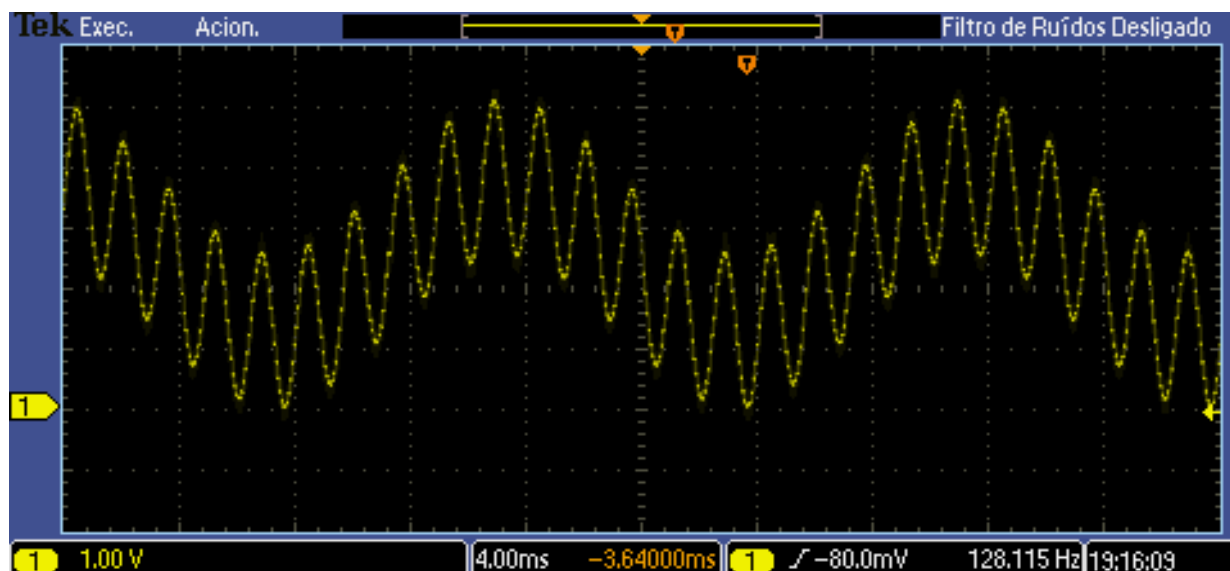
### 5.3 Onda aleatória 8 bits

Imagem 11 – Visualização da saída do circuito com a onda aleatória selecionada



### 5.4 Onda senoidal modulada

Imagem 12 – Visualização da saída do circuito com a onda senoidal modulada selecionada



## 6 ONDA DE ÁUDIO

O professor sugeriu como tarefa extra, o desenvolvimento de um circuito que tocasse um arquivo sonoro. Para tal, nós escolhemos a música Misirlou, de Dick Dale. Nós deveríamos utilizar uma memória de 1Mbit,  $2^{17} \times 8$  bits de saída. Sendo assim, apesar da qualidade ser claramente inferior, escolhemos utilizar uma faixa de frequência entre 0 e 4kHz, para que possamos gravar cerca de 30s.

$$2^{17} / 4 \times 10^3 = 32,768s$$

Tendo isso em mente, nós utilizamos o software Audacity para importar a música e editá-la, para cumprir com as exigências de frequência e duração. O software tem uma função de análise de música, que exporta um arquivo .txt com o valor do tempo e o equivalente linear que o sinal sonoro apresentava de amplitude naquele momento. Semelhantemente ao desenvolvimento do circuito anterior, utilizamos o software Microsoft Excel para editar os parâmetros e converter para hexadecimal.

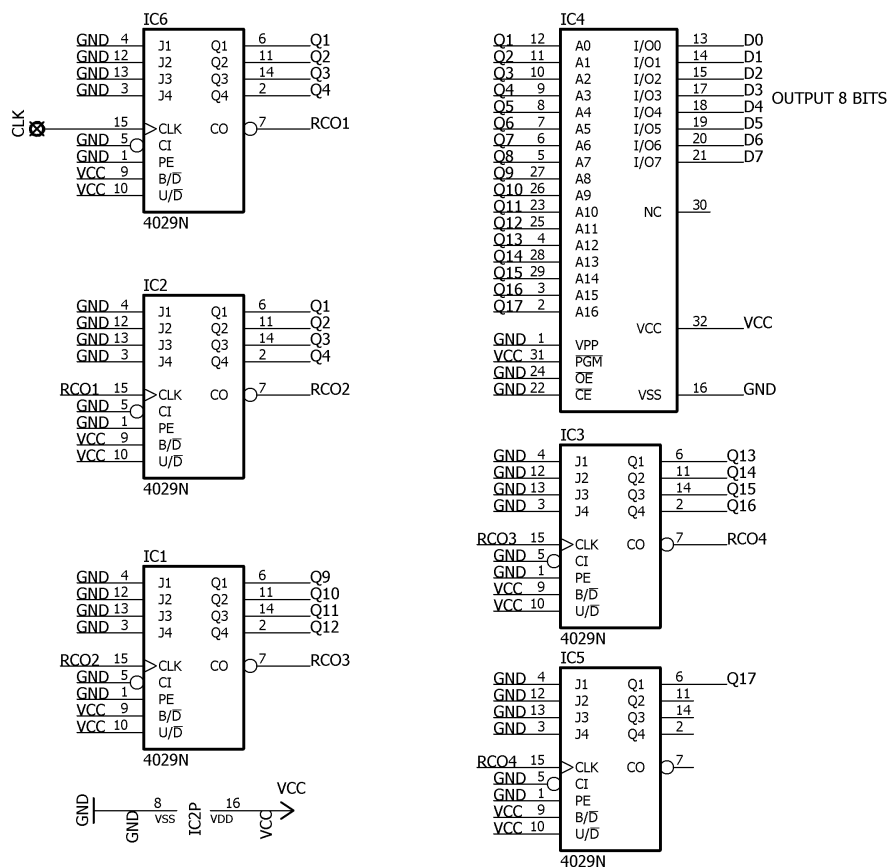
Como pode ser observado na imagem abaixo, algumas conversões foram feitas para gravar os arquivos da música na memória. Como o valor do Audacity não tem significado físico direto, foi utilizado o menor valor como correspondente a 0V e o maior como correspondente a 5V. Sendo essa lógica aplicada a todos os valores, eles foram convertidos para hexadecimal e então a memória gravada com os 131072 valores. Abaixo consta uma imagem geral das conversões feitas na própria tabela.

Tendo esses valores gravados na memória, o circuito se torna muito similar ao anterior, apenas sendo um contador único de 17 bits e frequência de 4 kHz. O esquemático do circuito também consta abaixo.

Imagem 13 – Tabela das conversões feitas no arquivo de áudio

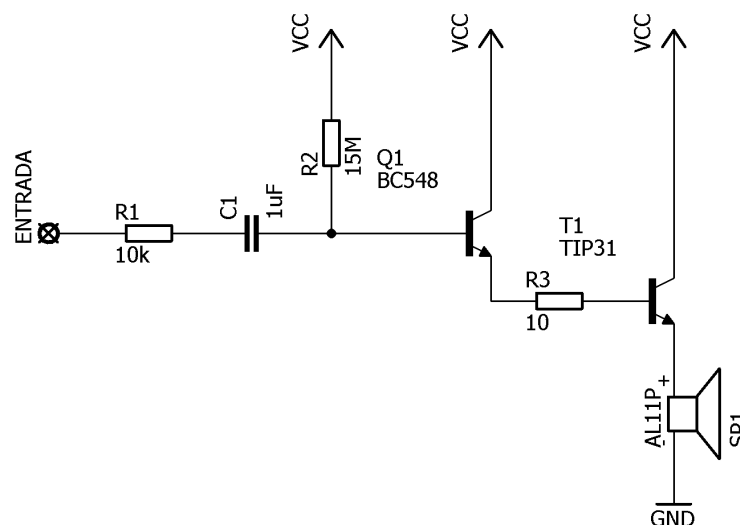
		máximo	0.89133	1.85849	5.000000001			
		mínimo	-0.96716	0	0			
		contador 17 bits	valor do audacity	"=(D9+0.96716)"	"=E10*2.69035615"	"=F9*51"	"=DEC2BIN(G9;8)"	"=BIN2HEX(H9;2)"
0	0	00000000000000000	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.00025	1	00000000000000001	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.0005	2	00000000000000010	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.00075	3	00000000000000011	-0.00003	0.96713	2.601924143	132.6981313	10000100	84
0.001	4	00000000000000100	0.00006	0.96722	2.602166275	132.71048	10000100	84
0.00125	5	00000000000000101	-0.00003	0.96713	2.601924143	132.6981313	10000100	84
0.0015	6	00000000000000110	-0.00003	0.96713	2.601924143	132.6981313	10000100	84
0.00175	7	00000000000000111	0.00009	0.96725	2.602246986	132.7145963	10000100	84
0.002	8	00000000000001000	-0.00018	0.96698	2.60152059	132.6775501	10000100	84
0.00225	9	00000000000001001	0.00021	0.96737	2.602569829	132.7310613	10000100	84
0.0025	10	00000000000001010	-0.00015	0.96701	2.601601301	132.6816663	10000100	84
0.00275	11	00000000000001011	0.00009	0.96725	2.602246986	132.7145963	10000100	84
0.003	12	00000000000001100	-0.00006	0.9671	2.601843433	132.6940151	10000100	84
0.00325	13	00000000000001101	0.00006	0.96722	2.602166275	132.71048	10000100	84
0.0035	14	00000000000001110	-0.00006	0.9671	2.601843433	132.6940151	10000100	84
0.00375	15	00000000000001111	0.00003	0.96719	2.602085565	132.7063638	10000100	84
0.004	16	00000000000010000	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.00425	17	00000000000010001	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.0045	18	00000000000010010	0	0.96716	2.602004854	132.7022476	10000100	84
0.00475	19	00000000000010011	0.00003	0.96719	2.602085565	132.7063638	10000100	84
0.005	20	00000000000010100	-0.00009	0.96707	2.601762722	132.6898988	10000100	84
0.00525	21	00000000000010101	0.00012	0.96728	2.602327697	132.7187125	10000100	84
0.0055	22	00000000000010110	-0.00012	0.96704	2.601682011	132.6857826	10000100	84
0.00575	23	00000000000010111	0.00009	0.96725	2.602246986	132.7145963	10000100	84
0.006	24	00000000000011000	-0.00003	0.96713	2.601924143	132.6981313	10000100	84
0.00625	25	00000000000011001	-0.00003	0.96713	2.601924143	132.6981313	10000100	84
0.0065	26	00000000000011010	0.00006	0.96722	2.602166275	132.71048	10000100	84

Imagem 14 – Esquemático do circuito para gerar os arquivos sonoros



No entanto, para que esses valores possam ser convertidos em ondas mecânicas, de fato, é necessário um circuito amplificador e que pudesse fornecer maior corrente para o alto-falante. Como o circuito produz ondas de baixas frequências e nós tínhamos disponível um alto-falante típico para essas aplicações, tendo 8 ohms e 10W, o utilizamos. O circuito utilizado como amplificador pode ser observado abaixo. Basicamente, ele propicia com que um sinal de baixíssima corrente na entrada possa controlar uma carga considerável através de uma associação darlington de transístores bipolares de junção.

Imagem 15 – Esquemático do circuito amplificador



Assim como os sinais da parte anterior, foi obtido um gráfico com o valor proposto através dos números gravado na memória e um gráfico medido no osciloscópio de fato. Abaixo constam ambos e, apesar da resolução ser baixa pelo fato de ser um sinal com período de mais de 30s, é possível notar a identidade entre os sinais.

Imagem 16 – Sinal de áudio gerado pelo Excel

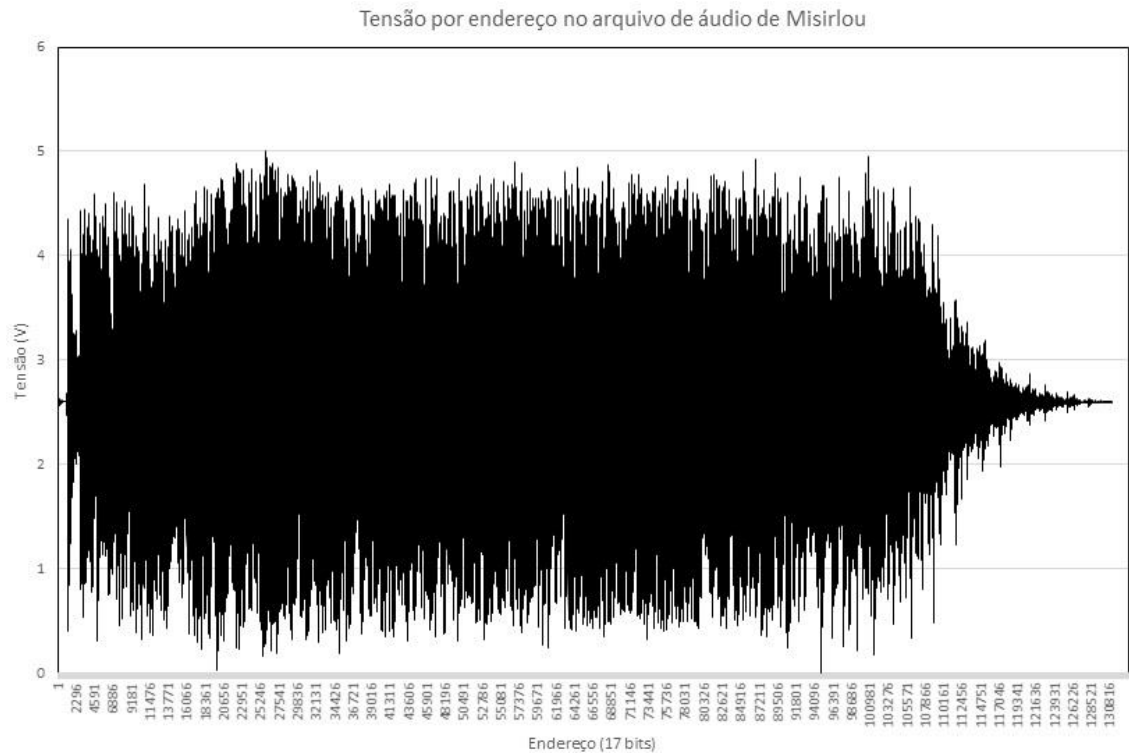


Imagem 17 – Sinal de áudio medido pelo osciloscópio

