

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CALLEBE SOARES BARBSOA

RAFAEL DA COSTA BONOTTO

RAPHAEL HENRIQUE SOARES MACHADO

VICTOR EMANUEL SOARES BARBOSA

**RELATÓRIOS, EXERCÍCIOS E FUNDAMENTAÇÃO
TEÓRICA RELACIONADOS A DISCIPLINA DE CONTROLE
DIGITAL**

PATO BRANCO

2016

CONTEÚDO

1	Introdução	3
2	Implementação da convolução	4
2.1	Objetivos	4
2.2	Fundamentação Teórica	4
2.2.1	Integral de convolução	4
2.2.2	Soma de convolução	5
2.3	Procedimentos	5
2.3.1	Exercício 1	5
2.3.2	Exercício 2	5
2.4	Resultados e discussões	6
2.4.1	Exercício 1	6
2.4.1.1	C)	6
2.4.2	Exercício 2	7
3	Simulação de um sistema discreto com equações diferenças	15
3.1	Objetivos	15
3.2	Fundamentação Teórica	15
3.3	Procedimentos	15
3.4	Resultados e discussões	15
4	Modulador PWM e Sist.Cond. Sinais e ADC	20
4.1	Objetivos	20
4.2	Fundamentação Teórica	20
4.3	Procedimentos	20
4.4	Resultados e discussões	20
5	Amostragem de sinais e análise em frequência de sinais amostrados	21
5.1	Objetivos	21

5.2	Fundamentação Teórica	21
5.3	Procedimentos	21
5.4	Resultados e discursões	21
6	Controlador PID	22
6.1	Objetivos	22
6.2	Fundamentação Teórica	22
6.3	Procedimentos	22
6.4	Resultados e discursões	22
7	Controlador Repetitivo	23
7.1	Objetivos	23
7.2	Fundamentação Teórica	23
7.3	Procedimentos	23
7.4	Resultados e discursões	23
8	Transformada Z	24
8.1	Objetivos	24
8.2	Fundamentação Teórica	24
8.3	Procedimentos	24
8.4	Resultados e discursões	24
9	Transformada Z inversa	25
9.1	Objetivos	25
9.2	Fundamentação Teórica	25
9.3	Procedimentos	25
9.4	Resultados e discursões	25
10	Conclusão	26

1 INTRODUÇÃO

2 IMPLEMENTAÇÃO DA CONVOLUÇÃO

2.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta prática é a implementação da convolução como ferramenta matemática para obtenção da saída de um sistema dada uma entrada qualquer e a resposta ao impulso.

2.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A convolução, pode-se assim dizer, é o equivalente entre sinais da multiplicação. Ela pode ser descrita em tempo contínuo, sendo chamada de integral de convolução e em tempo discreto de soma de convolução.

2.2.1 Integral de convolução

A resposta $y(t)$ a uma entrada $x(t)$ aplicada a um sistema T, sendo este linear e invariante no tempo, pode ser dado pela Equação 2, onde $h(t)$ é a resposta do sistema ao impulso. Esta dedução partiu da propriedade da função impulso dada na Equação 1.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\delta(t - \tau)d\tau \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y(t) &= Tx(t) \\ y(t) &= T \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)\delta(t - \tau)d\tau \\ y(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)T\delta(t - \tau)d\tau \\ y(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(\tau)h(t - \tau)d\tau \\ y(t) &= x(t) * h(t) \end{aligned} \quad (2)$$

2.2.2 Soma de convolução

A resposta em tempo discreto, $y[n]$, a uma entrada $x[t]$ aplicada a um sistema T, sendo este linear e invariante no tempo, pode ser dado pela Equação 4, onde $h[n]$ é a resposta do sistema ao impulso. Esta dedução partiu da propriedade da função impulso dada na Equação 3.

$$x[n] = \sum_{-\infty}^{\infty} x[k] \delta(n - k) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} y[n] &= Tx[n] \\ y[n] &= T \sum_{-\infty}^{\infty} x[k] \delta[n - k] \\ y[n] &= \sum_{-\infty}^{\infty} x[k] T \delta[n - k] \\ y[n] &= \sum_{-\infty}^{\infty} x[k] h[n - k] \\ y[n] &= x[n] * h[n] \end{aligned} \quad (4)$$

2.3 PROCEDIMENTOS

Foram resolvidos os exercícios 1 2 da apresentação de slides referente a transformada Z, com código implementado em Matlab.

2.3.1 Exercício 1

Determine a saída do sistema com resposta ao impulso $h[n]$ e para um sinal de entrada $x[n]$, ambos sinais estão mostrados na Figura 1:

- A) análise gráfica por impulsos
- B) cálculo/tabela de convolução
- C) convolução utilizando ferramenta computacional: *script* Matlab

2.3.2 Exercício 2

Considere um sistema que possui resposta ao impulso $h[n] = 2^{-nT}$ e o sinal de entrada é uma onda retangular (razão cíclica 40%, $D=0,4$) com período 10s e amplitude 3,3V.

- A) Determine a resposta (sinal de saída) do sistema para 3 períodos do sinal de entrada consi-

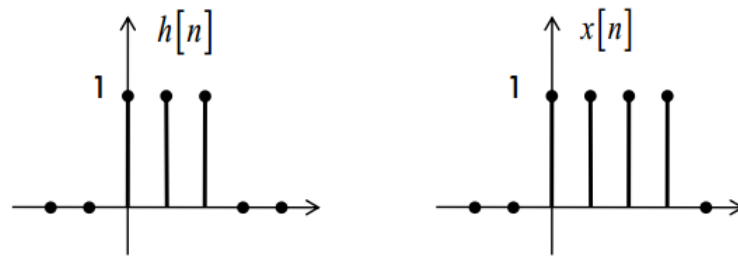


Figura 1: Sinais do Exercício 1, prática 1.

derando que o período de amostragem é $T=0.2s$.

B) Considere um ruído de 10% no sinal de entrada e repita o item A.

C) Considere um sinal de entrada senoidal com mesmo período, amplitude e ruído dados acima.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

2.4.1 Exercício 1

2.4.1.1 C)

O código implementado em Matlab para a resolução da letra C do exercício 1 está logo abaixo:

```

1 %% -----
2 %   Universidade Tecnológica Federal do Paraná
3 %   Engenharia Elétrica
4 %   Controle Digital
5 %
6 %   Aluno: Victor Emanuel Soares Barbosa
7 %
8 %   Aula 3: Transformada Z
9 %   Exercício 1:
10 %   Determine a saída do sistema com
11 %   resposta ao impulso  $h[n]$  e para um sinal de entrada
12 %    $x[n]$ :
13 %   C) convolução utilizando ferramenta
14 %   computacional: script Matlab
15 % -----
16 %% Inicialização do programa
17 clc;
18 clear all;
19 close all;
```

```
20
21 %% Variaveis gerais
22 numero_pontos = 8; % Numero de pontos simulados
23 h = [1 1 1 zeros(1,numero_pontos-3)]; % resposta ao impulso
24 x = [1 1 1 1 zeros(1,numero_pontos-4)]; % sinal de entrada
25 y = [zeros(1,numero_pontos)]; % resposta do sistema a entrada x
26 amostras = zeros(1,numero_pontos); % valor de amostras
27
28 %% Letra c)
29
30 % Execucao
31 for n=0:(numero_pontos-1)
32     for k = 0:3
33         if (n-k)>0
34             y(n+1) = y(n+1) + x(k+1)*h(n-k);
35         end
36     end
37     amostras(n+1) = n-1;
38 end
39
40 % Graficos
41 figure
42 stem(amostras,y)
43 title('Aula 2 - Exercicio 2 - Letra c');
44 legend('Sinal y[n]');
45 ylabel('Amplitude');
46 xlabel('n');
```

Obtendo como saída o gráfico da Figura 2

2.4.2 Exercício 2

O código implementado em Matlab para a resolução do exercício 2 está logo abaixo:

```
1 %% -----
2 %   Universidade Tecnológica Federal do Parana
3 %   Engenharia Eletrica
4 %   Controle Digital
5 %
6 %   Aluno: Victor Emanuel Soares Barbosa
```

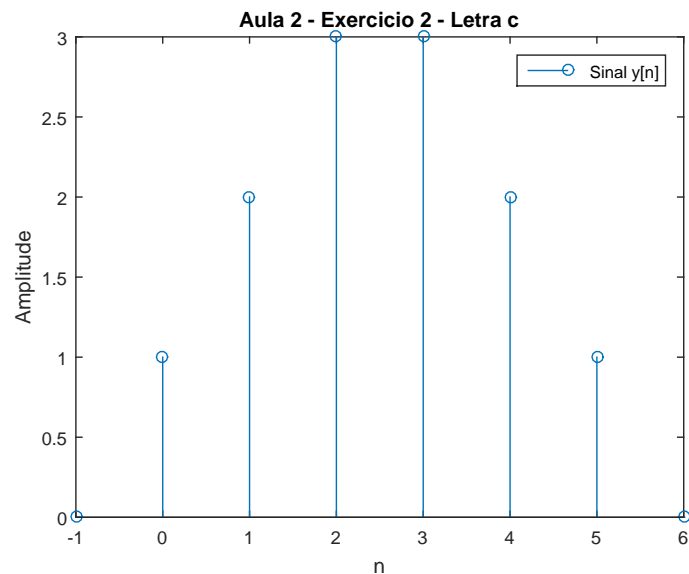



Figura 2: Gráfico de saída do código do Exercício 1, letra C, prática 1.

```

7 %
8 %   Aula 3: Transformada Z
9 %   Exercício 2:
10 %   Considere um sistema que possui resposta
11 %   ao impulso  $h[n]=2-nT$  e o sinal de entrada he uma onda
12 %   retangular (razao ciclica 40%,  $D=0,4$ ) com periodo
13 %   10s e amplitude 3,3V.
14 %   A) Determine a resposta (sinal de saída) do sistema para
15 %   3 periodos do sinal de entrada considerando que o
16 %   periodo de amostragem he  $T=0.2s$ .
17 %   B) Considere um ruido de 10% no sinal de entrada e
18 %   repita o item A.
19 %   C) Considere um sinal de entrada senoidal com mesmo
20 %   periodo , amplitude e ruido dados acima.
21 % _____
22 %% Inicializacao do programa
23 clc;
24 clear all;
25 close all;
26
27 %% Variaveis gerais
28 periodos = 3; % Quantidade de periodos
29 R = 0.1; % Nivel de ruido
30 T = 0.2; % Periodo de amostragem
31 T_entrada = 10; % Periodo do sinal de entrada
32 A_entrada = 3.3; % Amplitude do sinal de entrada

```

```
33 D = 0.4; % Razao ciclica do sinal de entrada
34 total_pontos = periodos*T_entrada/T; % Total de pontos simulados
35 pontos_periodo = T_entrada/T; % Total de pontos por periodo
36 amostras = zeros(1,total_pontos); % Vetor de pontos de simulacao
37 h = zeros(1,total_pontos); % vetor da resposta ao impulso
38 x = zeros(1,total_pontos); % Vetor do sinal de entrada
39 y = zeros(1,total_pontos); % Vetor do sinal de saida
40 cont = 0;
41
42 %% Letra a)
43
44 % Execucao
45 for n = 0:total_pontos-1
46
47     if cont < (pontos_periodo*D)
48         x(n+1) = A_entrada;
49     else
50         x(n+1) = 0;
51     end
52
53     if cont == pontos_periodo
54         cont = 0;
55     end
56
57     cont = cont + 1;
58
59     for k = 0:pontos_periodo*3
60         h(n+1) = 2^(-n*T);
61
62         if (n-k)> 0
63             y(n+1) = y(n+1) + x(k+1)*h(n-k)*T;
64         end
65     end
66
67     amostras(n+1) = (n)*T;
68 end
69
70 % Graficos
71 figure
72 stem(amostras,y)
73 hold
```

```
74 stem(amostras,x)
75 stem(amostras,h)
76 title('Aula 2 - Exercicio 2 - Letra a');
77 legend('Sinal y[n]', 'Sinal x[n]', 'Sinal h[n]');
78 ylabel('Amplitude');
79 xlabel('Tempo (s)');
80
81 %% Letra b)
82
83 % Execucao
84 for n = 0:total_pontos-1
85
86     if cont < (pontos_perodo*D)
87         x(n+1) = A_entrada*(1+0.1*rand);
88     else
89         x(n+1) = 0.1*rand;
90     end
91
92     if cont == pontos_perodo
93         cont = 0;
94     end
95
96     cont = cont + 1;
97
98     for k = 0:pontos_perodo*3
99         h(n+1) = 2^(-n*T);
100
101         if (n-k)> 0
102             y(n+1) = y(n+1) + x(k+1)*h(n-k)*T;
103         end
104     end
105
106     amostras(n+1) = (n)*T;
107 end
108
109 % Graficos
110 figure
111 stem(amostras,y)
112 hold
113 stem(amostras,x)
114 stem(amostras,h)
```

```
115 title('Aula 2 - Exercício 2 - Letra b');
116 legend('Sinal y[n]', 'Sinal x[n]', 'Sinal h[n]');
117 ylabel('Amplitude');
118 xlabel('Tempo (s)');
119
120 %% Letra c)
121
122 % Execucao
123 for n = 0:total_pontos-1
124
125     x(n+1) = A_entrada*sin(2*pi*n/(T_entrada/T))*(1+0.1*rand);
126
127     if cont == pontos_periodo
128         cont = 0;
129     end
130
131     cont = cont + 1;
132
133     for k = 0:pontos_periodo*3
134         h(n+1) = 2^(-n*T);
135
136         if (n-k)> 0
137             y(n+1) = y(n+1) + x(k+1)*h(n-k)*T;
138         end
139     end
140
141     amostras(n+1) = (n)*T;
142 end
143
144 % Graficos
145 figure
146 stem(amostras,y)
147 hold
148 stem(amostras,x)
149 stem(amostras,h)
150 title('Aula 2 - Exercício 2 - Letra c');
151 legend('Sinal y[n]', 'Sinal x[n]', 'Sinal h[n]');
152 ylabel('Amplitude');
153 xlabel('Tempo (s)');
```

Obtendo como saída os gráficos das Figuras 3, 4 e 5.

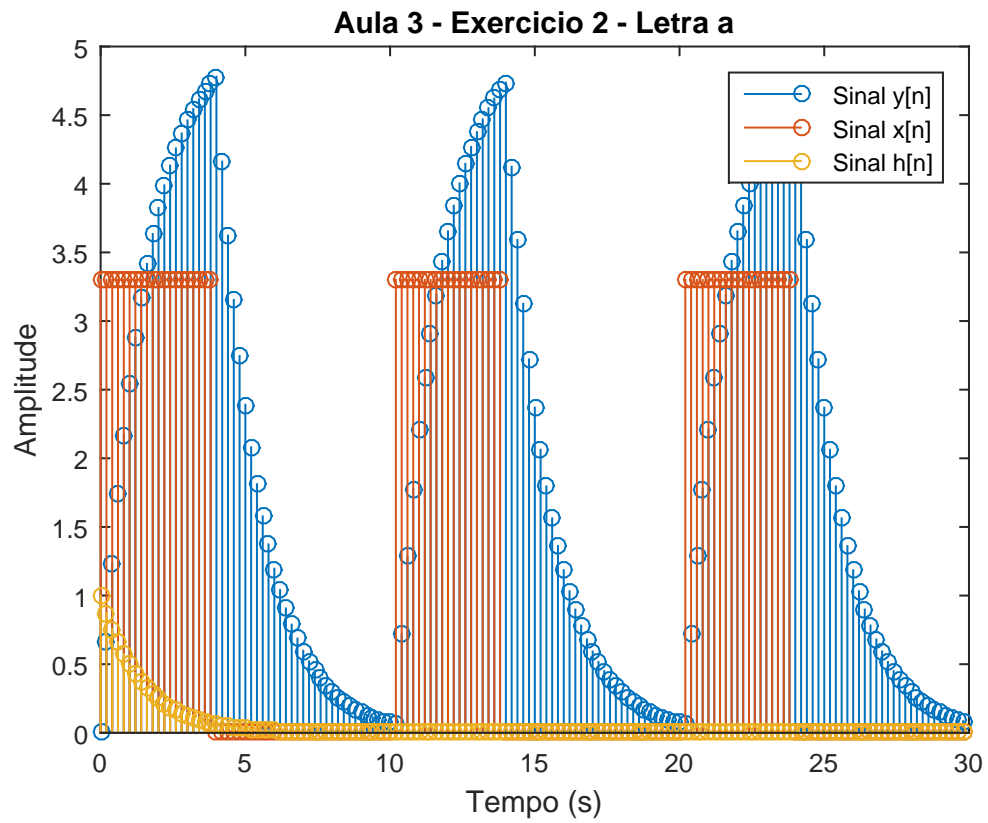


Figura 3: Gráfico de saída do código do Exercício 2, letra A, prática 1.

COMENTAR E DISCUTIR RESULTADOS

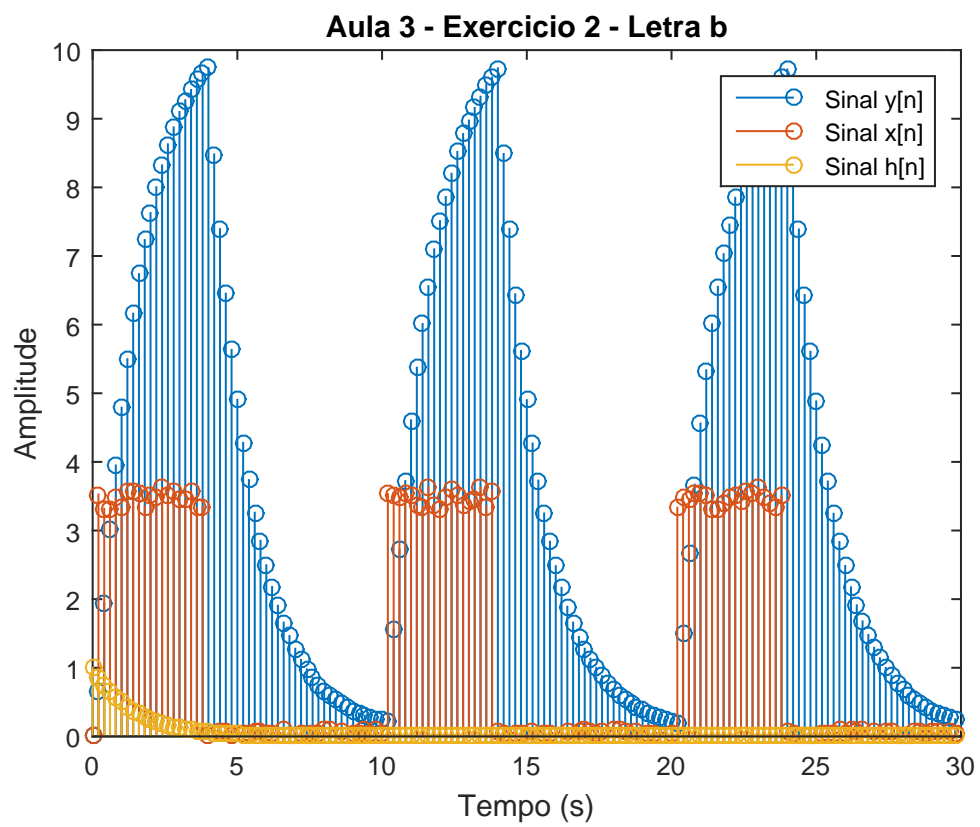


Figura 4: Gráfico de saída do código do Exercício 2, letra B, prática 1.

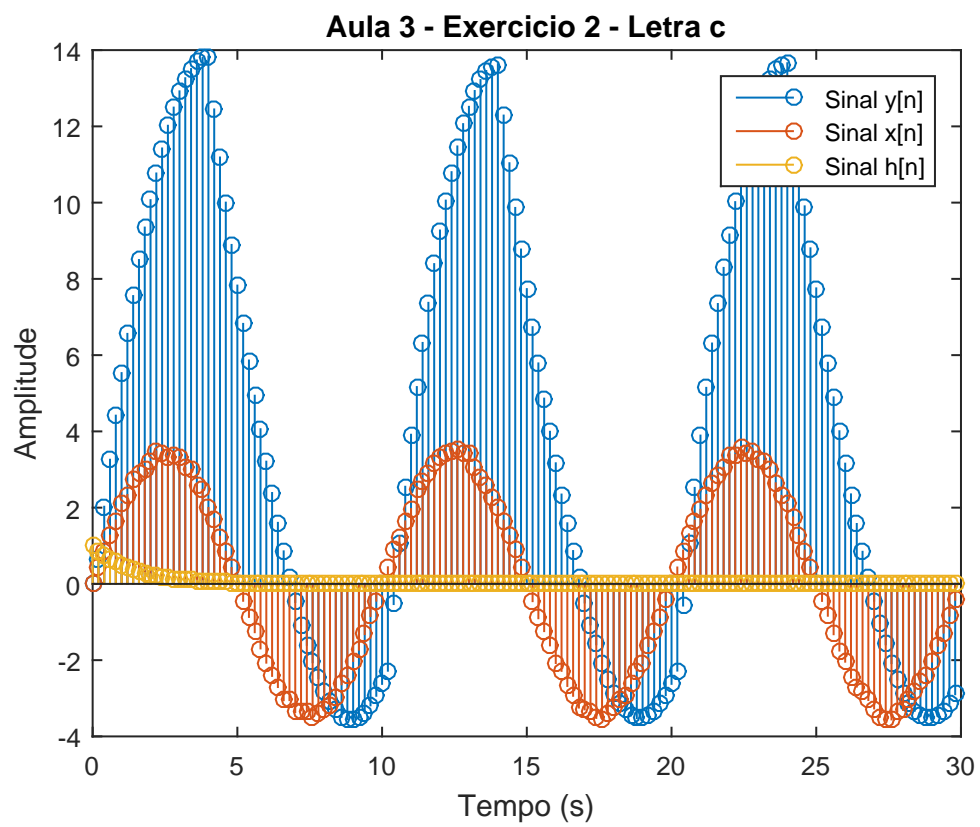


Figura 5: Gráfico de saída do código do Exercício 2, letra C, prática 1.

3 SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA DISCRETO COM EQUAÇÕES DIFERENÇAS

3.1 OBJETIVOS

O objetivo principal desta prática é a simulação em Matlab de um sistema de controle digital completo dado as equações em Z que descrevem os blocos constituintes do sistema em malha fechada.

3.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para realização desta prática se utilizou a teoria da transformada Z inversa, em específico o método das equações de diferenças

DESCREVER O MÉTODO

3.3 PROCEDIMENTOS

O exercício consistiu em simular um sistema de tempo discreto para período de amostragem de 0,1 s para sinal de entrada uma onda quadrada de amplitude 0 - 5 V, com período de 10s e 2% de ruído randômico. O sistema está mostrado na Figura 6, bem como as equações dos blocos estão descritas abaixo:

$$C(z) = 0,9 * \frac{z - 0,8}{z - 1} \quad (1)$$

$$G(z) = \frac{0,3z}{(z - 0,5)(z - 0,2)} \quad (2)$$

$$S(z) = \frac{0,2}{z - 0,8} \quad (3)$$

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

COLOCAR A DEDUÇÃO DA EQUAÇÃO DE DIFERENÇA DO PROBLEMA

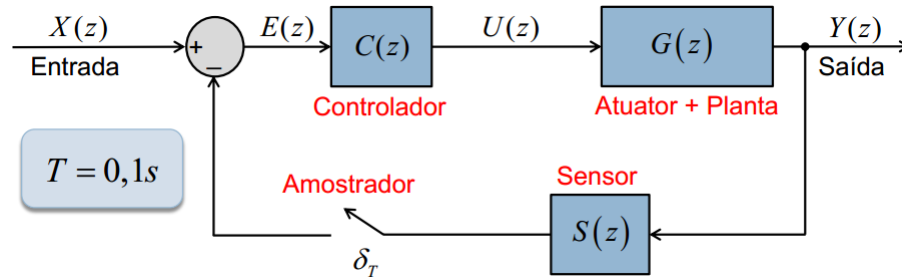


Figura 6: Diagrama de blocos da prática 2.

O código implementado em Matlab está mostrado abaixo:

```

1 %% -----
2 %   Universidade Tecnológica Federal do Parana
3 %   Engenharia Eletrica
4 %   Controle Digital
5 %
6 %   Aluno: Victor Emanuel Soares Barbosa
7 %
8 %   Aula 5: Transformada Z Inversa
9 %   Exercício 2:
10 %   Considere o diagrama de controle em tempo discreto.
11 %   Determinar o grafico da saída considerando:
12 % -----
13 %% Inicializacao do programa
14 clc;
15 clear all;
16 close all;
17
18 %% Variaveis gerais
19 ciclos = 4; % Quantidade de ciclos da onda de entrada
20 T_entrada = 10; % Período da onda de entrada
21 Ta = 0.1; % Período de amostragem
22 total_pontos = T_entrada/Ta*ciclos; % Total de pontos de simulacao
23 A_entrada = 5; % Amplitude de entrada
24 x = zeros(1,total_pontos); % Vetor da entrada
25 y = zeros(1,total_pontos); % Vetor de saída
26 tempo = zeros(1,total_pontos); % Vetor de tempo
27 cont = 0; % contador para auxiliar
28
29 for n = 1:total_pontos
30     if cont < ((T_entrada/Ta)/2)

```

```
31         x(n) = A_entrada*(1+0.02*rand);
32     else
33         x(n) = 0.02*rand*A_entrada;
34     end
35
36     if n > 3
37         y(n) = 0.27*x(n-1) - 0.216*x(n-2) + 1.7*y(n-1) - 0.854*y(n-2) ...
            + 0.1*y(n-3);
38     end
39
40     tempo(n) = n*Ta;
41     cont = cont + 1;
42
43     if cont > T_entrada/Ta
44         cont = 0;
45     end
46 end
47
48 % Grafico
49 figure
50 stem(tempo,y)
51 hold
52 stem(tempo,x)
53 title('Aula 5 - Exercício 2');
54 legend('Saída y[n]', 'Entrada x[n]');
55 ylabel('Amplitude');
56 xlabel('Amostras');
```

Obtendo como saída o gráfico da Figura 7.

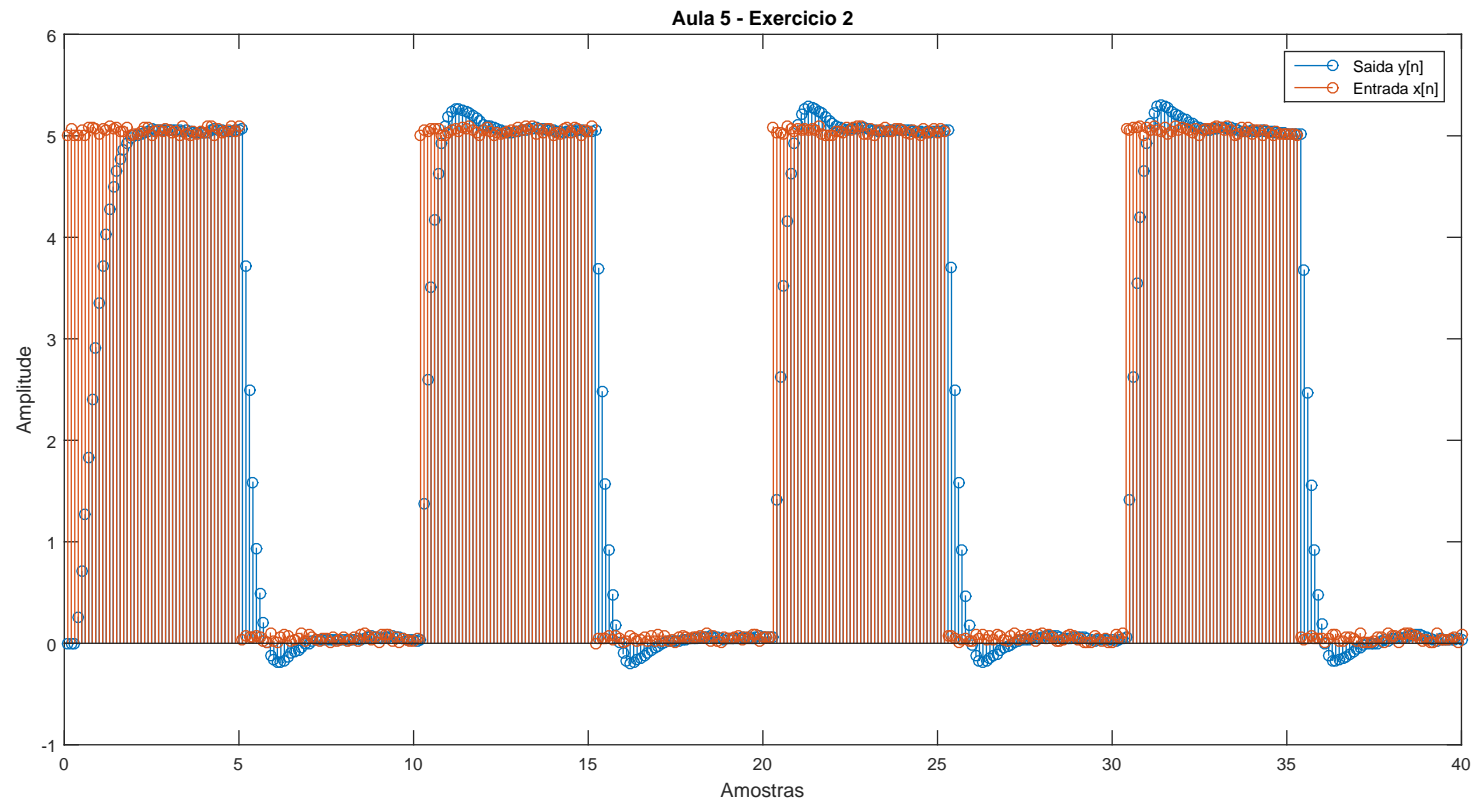


Figura 7: Gráfico de saída do código do exercício da prática 2.

COMENTAR E DISCUTIR RESULTADOS

4 MODULADOR PWM E SIST.COND. SINAIS E ADC

4.1 OBJETIVOS

4.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.3 PROCEDIMENTOS

4.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

5 AMOSTRAGEM DE SINAIS E ANÁLISE EM FREQUENCIA DE SINAIS AMOSTRADOS

5.1 OBJETIVOS

5.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.3 PROCEDIMENTOS

5.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

6 CONTROLADOR PID

6.1 OBJETIVOS

6.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

6.3 PROCEDIMENTOS

6.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

7 CONTROLADOR REPETITIVO

7.1 OBJETIVOS

7.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

7.3 PROCEDIMENTOS

7.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

8 TRANSFORMADA Z

8.1 OBJETIVOS

8.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

8.3 PROCEDIMENTOS

8.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

9 TRANSFORMADA Z INVERSA

9.1 OBJETIVOS

9.2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

9.3 PROCEDIMENTOS

9.4 RESULTADOS E DISCURSÕES

10 CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS