

Controlo Automático - Projecto

```
% Inicialização do ambiente
clear ; close all; clc

% Importamos os dados dos pacientes
data = importdata('ROC_REAL_50.mat');

% Definimos uma seed estatica para o gerador de números aleatórios de forma
% a podermos repetir os experimentos com resultados determinísticos
rng(42);
```

Questão 1

a) Seleccionamos 10 pacientes da base de dados:

```
rndIDX = randperm(50);
sample_size = 10
```

```
sample_size = 10
```

```
sample = data(rndIDX(1:sample_size), :)
```

```
sample = 10x2
    0.0219    1.2746
    0.0528    2.5362
    0.0352    1.5503
    0.0293    1.4728
    0.0308    1.9499
    0.0330    2.4823
    0.0282    1.2615
    0.0295    1.2390
    0.0329    2.5669
    0.0394    2.0425
```

```
t_size = 600
```

```
t_size = 600
```

b) e c)

Temos que $(s + \alpha)(s + 4\alpha)(s + 10\alpha) = s^3 + 15\alpha s^2 + 54\alpha^2 s + 40\alpha^3$, o que nos dá os fatores $[1 \ 15a \ 54a^2 \ 40a^3]$.

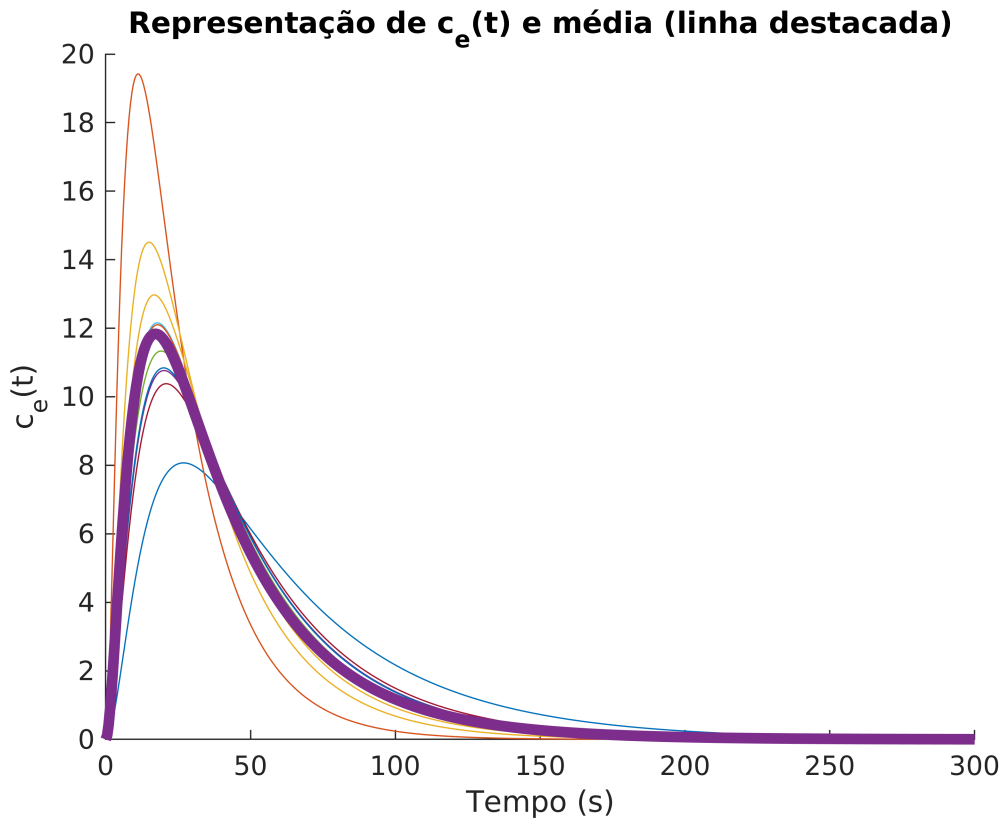
Cálculo de $c_e(t)$ e da respectiva média.

```
figure(1);
hold on
t = linspace(0, 300, t_size);
Ce = zeros(t_size, sample_size);
G = @(a) tf(40*a^3, [1 15*a 54*a^2 40*a^3]);
for idx = 1 : sample_size
    a = sample(idx, 1);
```

```

Ce(:, idx) = impulse(G(a) * 600, t);
end
plot(t, Ce);
mean_ce = mean(Ce, 2);
plot(t, mean_ce, 'LineWidth', 4);
%fplot(@(x) 1489.2*x);
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('c_{e}(t)')
title('Representação de c_{e}(t) e média (linha destacada)')
hold off

```



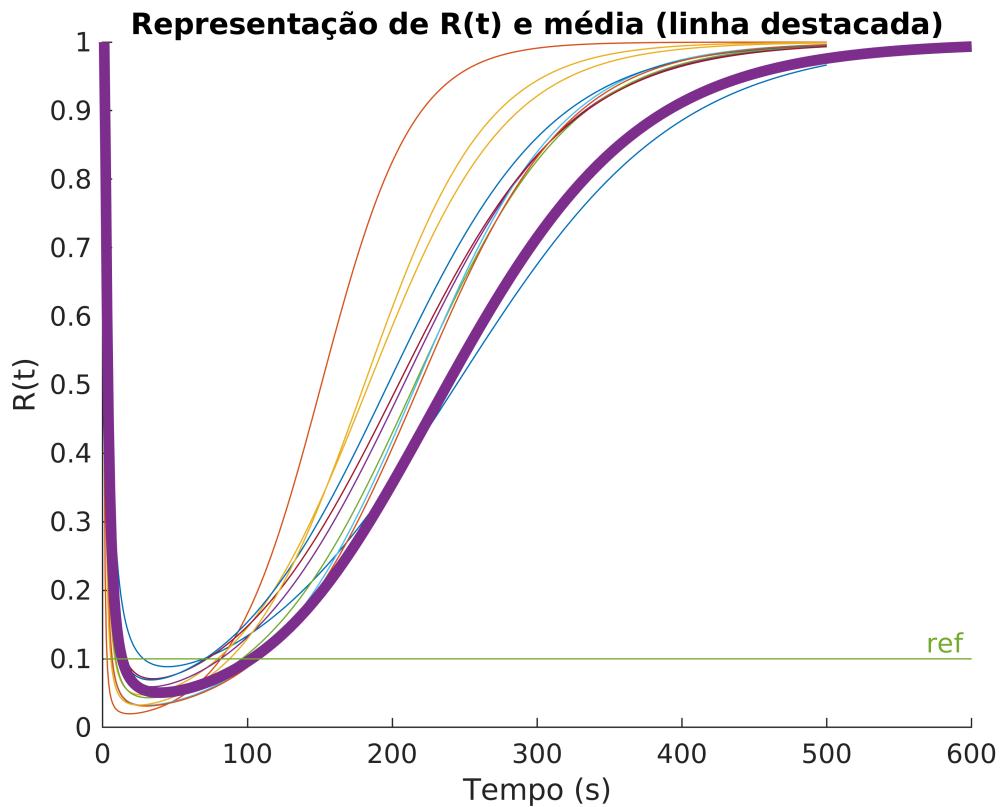
Cálculo de $R(t)$ e da respectiva média.

```

r0 = 1;
EC50 = 1;
figure(2);
hold on
t = linspace(0, 500, t_size);
% O transposto da segunda coluna de `sample` é repetido verticalmente
% `t_size` vezes e multiplicado elemento a elemento com `Ce`
Rt = @(Ce, gamma) r0 ./ (1 + (Ce / EC50) .* gamma);
R = Rt(Ce, repmat(sample(:, 2)', t_size, 1));
plot(t, R);
gamma = mean(R, 2);
plot(gamma, 'LineWidth', 4);
% Ver label.m
label(plot(ones(t_size, 1) * 0.1), 'ref', 'location', 'right');
xlabel('Tempo (s)')

```

```
ylabel('R(t)')
title('Representação de R(t) e média (linha destacada)')
hold off
```



Questão 2

a)

Pela condição de estabilidade necessária do critério de estabilidade de Routh-Hurwitz, facilmente vemos que α tem que ser não negativo, caso contrário pelo menos um dos coeficientes do polinómio do denominador seria negativo.

Aplicando o método de Routh-Hurwitz obtemos a seguinte tabela:

s^3	1	$54\alpha^2$
s^2	15α	$40\alpha^3$
s^1	$\frac{15\alpha^2}{3}$	0
s^0	$\frac{40\alpha^3}{3}$	0

Daqui, facilmente vemos que os valores da primeira coluna têm todos o mesmo sinal, se $15\alpha > 0$, $\frac{154\alpha^2}{3} > 0$ e $\frac{40\alpha^3}{3} > 0$, o que acontece para todos os $\alpha > 0$, ou seja, para todos os valores estritamente positivos de α , o sistema é estável.

b)

```
figure(3);
hold on;
alpha_mean = mean(sample(:, 1))
```

```
alpha_mean = 0.0333
```

```
sys = G(alpha_mean) * 6;
constant_infusion = step(sys);
step_info = stepinfo(constant_infusion)
```

```
step_info = struct with fields:
    RiseTime: 100.8415
    SettlingTime: 186.5193
    SettlingMin: 5.3991
    SettlingMax: 5.9958
    Overshoot: 0
    Undershoot: 0
    Peak: 5.9958
    PeakTime: 334
```

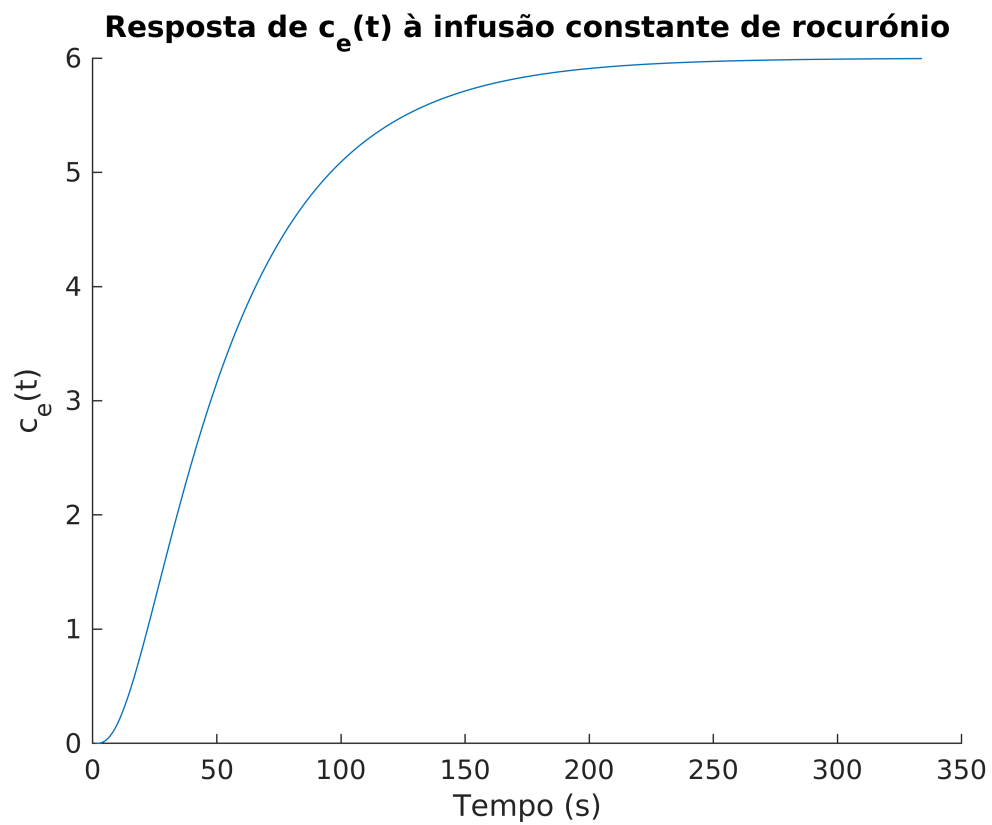
```
plot(constant_infusion);
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('c_{e}(t)');
title('Resposta de c_{e}(t) à infusão constante de rocurônio');
```

c)

```
[Z, gain] = zero(sys);
gain
```

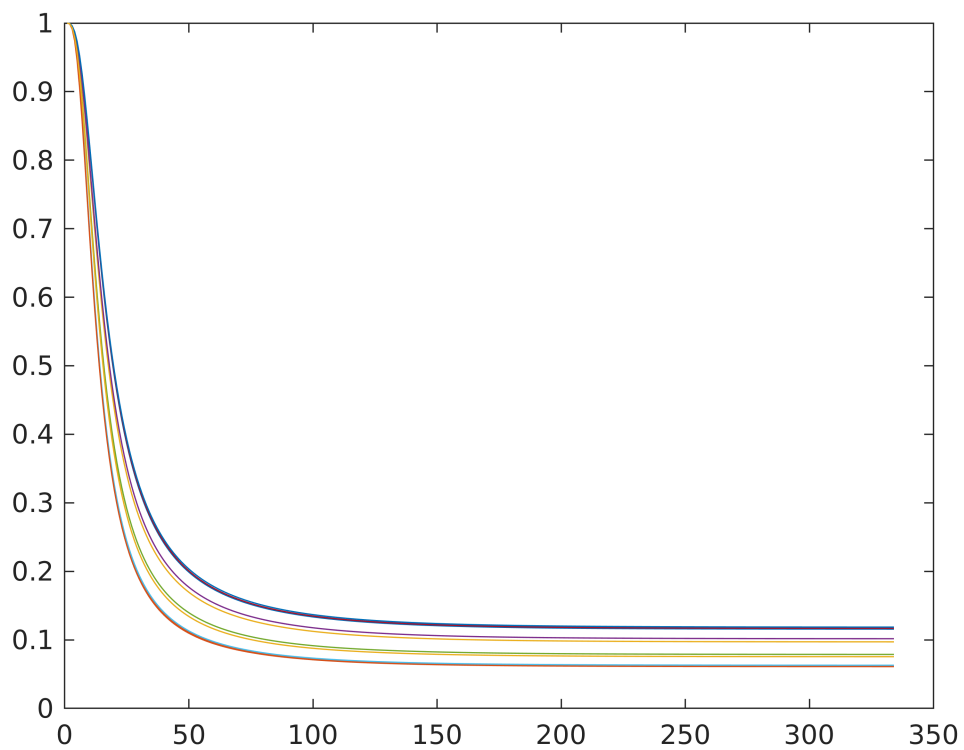
```
gain = 0.0089
```

```
hold off;
```



d)

```
figure(4);  
plot(Rt(constant_infusion, repmat(sample(:, 2)', length(constant_infusion), 1)));
```

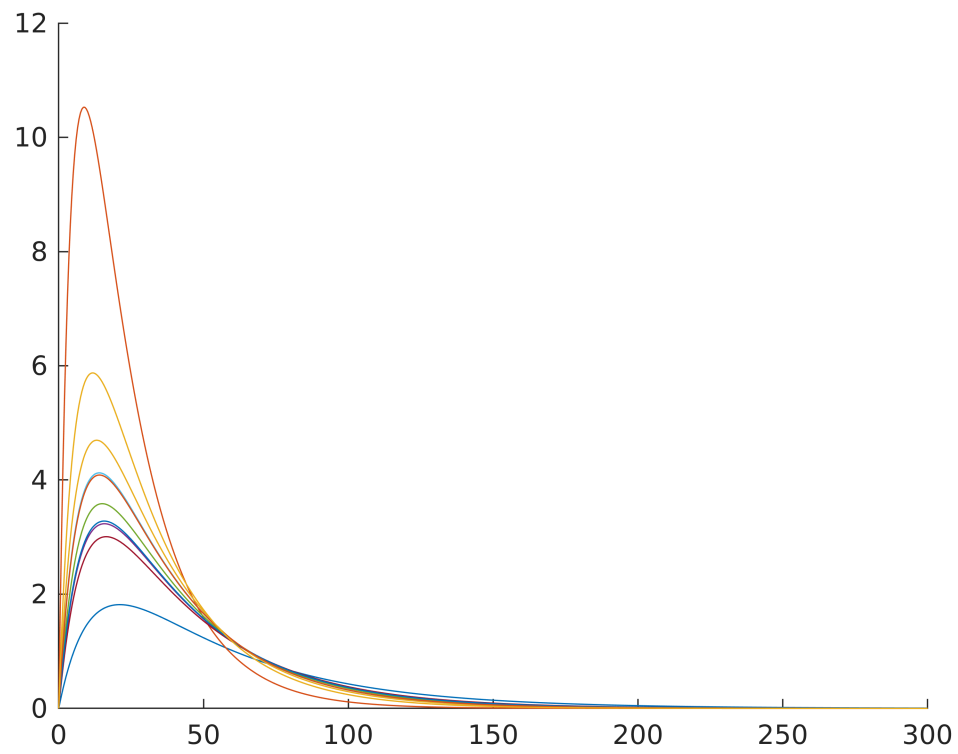


e)

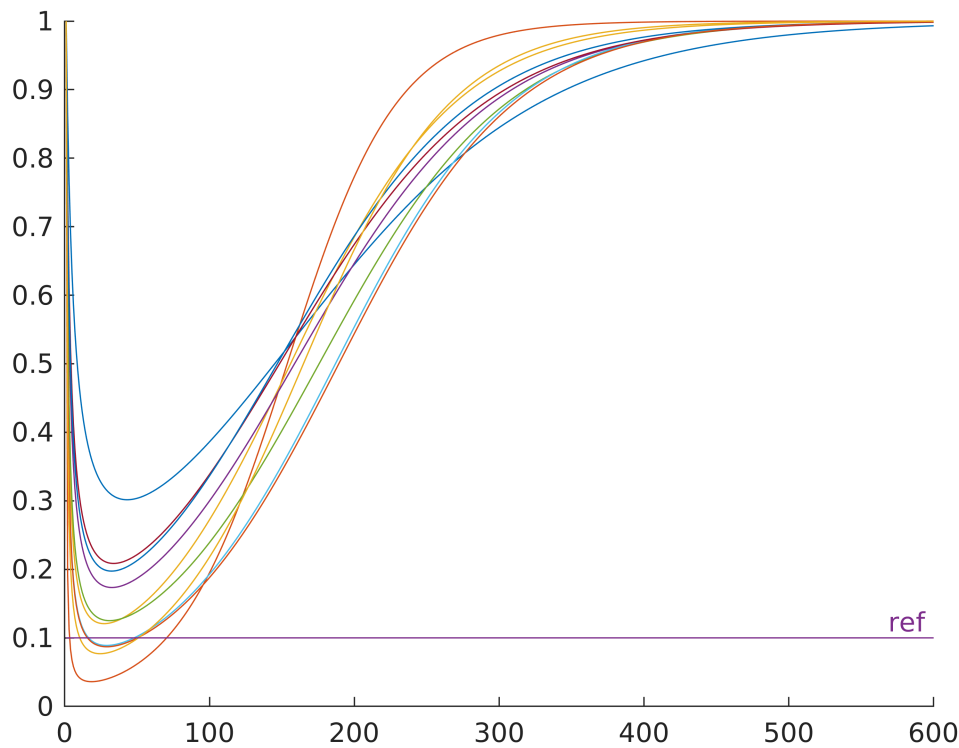
Os polos são $-\alpha$ e -4α .

$$40 * a^3 / ((s + a) * (s + 4 * a)) = 40 * a^3 / (s^2 + 5 * a * s + 4 * a^2)$$

```
figure(5);
hold on;
H = @(a) tf(40*a^3, [1 5*a 4*a^2]);
t = linspace(0, 300, t_size);
Ce_h = zeros(t_size, sample_size);
for idx = 1 : sample_size
    a = sample(idx, 1);
    Ce_h(:, idx) = impulse(H(a) * 600, t);
end
plot(t, Ce_h);
hold off;
```



```
figure(6);  
hold on;  
plot(Rt(Ce_h, repmat(sample(:, 2)', t_size, 1)));  
label(plot(ones(t_size, 1) * 0.1), 'ref', 'location', 'right');  
hold off;
```



f)

Como podemos observar pelos dois gráficos apresentados em cima, estes têm comportamentos semelhantes aos correspondentes à função de transferência exata, exceto que apresentam uma magnitude diferente. Verificamos que com esta aproximação, o modelo não tem o desempenho pretendido já que muito poucos pacientes atingem o nível de NBM de referência com a administração do bólus inicial.

Questão 3

a)

Obtenção do modelo (A,B,C,D) para o sistema input/output através da Função de Transferência.

$$G(s) = \frac{40 \alpha^3}{s^3 + 15 \alpha s^2 + 50 \alpha^2 s + 40 \alpha^3} \Leftrightarrow$$

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{40 \alpha^3}{s^3 + 15 \alpha s^2 + 50 \alpha^2 s + 40 \alpha^3} \Leftrightarrow$$

$$Y(s) \cdot (s^3 + 15 \alpha s^2 + 50 \alpha^2 s + 40 \alpha^3) = 40 \alpha U(s)$$

No domínio do tempo, pela \mathcal{L}^{-1} : $\ddot{y}(t) + 15\alpha\dot{y}(t) + 50\alpha^2 y(t) + 40\alpha^3 y(t) = 40\alpha u(t)$

Ora, temos que:

$$y(t) = y = x_1$$

$$\dot{y}(t) = x_2 = \dot{x}_1$$

$$\ddot{y}(t) = x_3 = \dot{x}_2$$

$$\dddot{y}(t) = \dot{x}_3$$

$$u(t) = u$$

Portanto,

$$\dot{x}_3 + 15\alpha x_3 + 50\alpha^2 x_2 + 40\alpha^3 x_1 = 40\alpha^3 u \iff$$

$$\dot{x}_3 = -40\alpha^3 x_1 - 50\alpha^2 x_2 - 15\alpha x_3 + 40\alpha^3 u$$

Chegamos assim ao seguinte modelo de espaço de estados na forma canonica controlável em representação matricial:

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & \overset{A}{1} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -40\alpha^3 & -50\alpha^2 & -15\alpha \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \overset{B}{0} \\ 0 \\ 40\alpha^3 \end{bmatrix} u$$

$$y = \begin{bmatrix} \overset{x_1}{1} & \overset{x_2}{0} & \overset{x_3}{0} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} u$$

b)

```
alpha_mean = mean(sample(:, 1));
%[num, den] = tfdata(G(alpha_mean), 'v');
%[A, B, C, D] = tf2ss(num, den)
A = [0 1 0; 0 0 1; -40*alpha_mean^3 -50*alpha_mean^2 -15*alpha_mean];
B = [0 0 40*alpha_mean^3]';
C = [1 0 0];
D = [0];
G_ss = ss(A, B, C, D)
```

G_ss =

A =

	x1	x2	x3
x1	0	1	0
x2	0	0	1
x3	-0.001477	-0.05545	-0.4995

B =

	u1
x1	0
x2	0
x3	0.001477

C =

	x1	x2	x3
y1	1	0	0

D =

	u1
y1	0

Continuous-time state-space model.

```
Co = ctrb(G_ss)
```

```
Co = 3×3
      0      0      0.0015
      0      0.0015 -0.0007
      0.0015 -0.0007      0.0003
```

Número de estados não controláveis:

```
unco = length(A) - rank(Co)
```

```
unco = 0
```

Concluimos assim, pelo teste de Kalman, que o sistema é controlável.

Por meio do MATLAB, conseguimos também testar a estabilidade do sistema da seguinte forma:

```
B = isstable(G_ss)
```

```
B = logical
     1
```

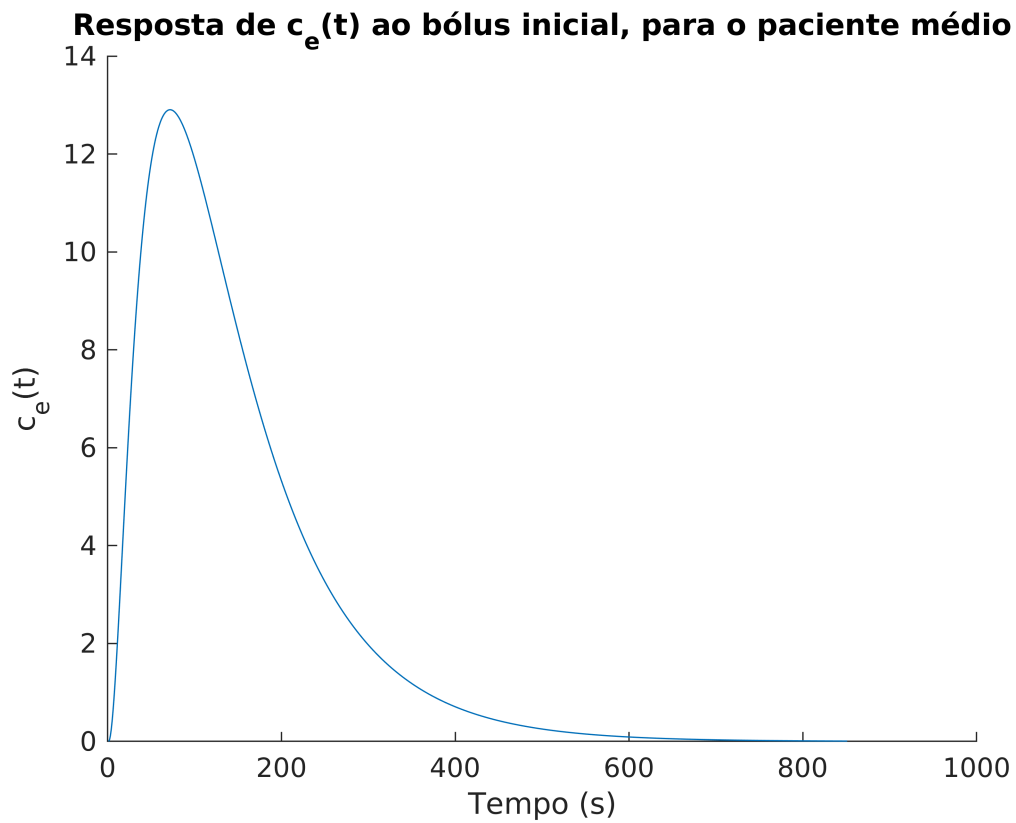
Sendo este um sistema de tempo contínuo, deduzimos que todos os polos se localizam na metade esquerda aberta do plano complexo.

c)

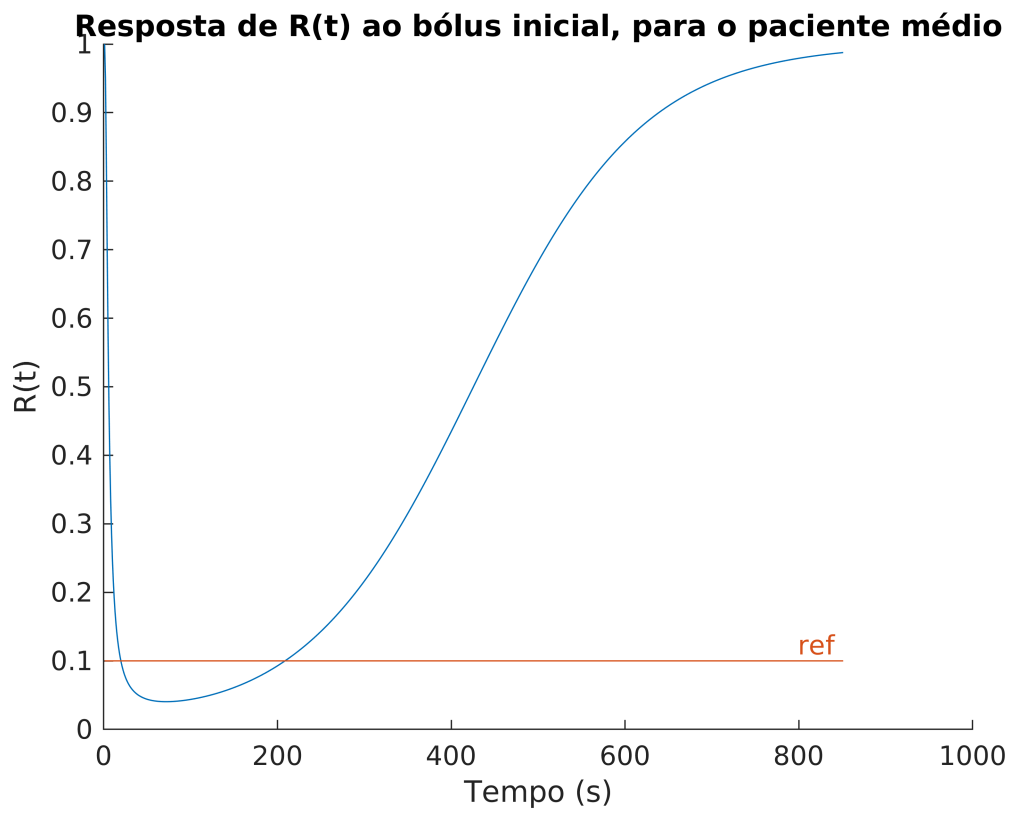
```
alpha_mean = mean(sample(:, 1));
gamma = mean(sample(:, 2))
```

```
gamma = 1.8376
```

```
figure(7);
hold on;
%ce = impulse(G(alpha_mean) * 600);
ce = impulse(G_ss*600);
plot(ce);
xlabel('Tempo (s)');
ylabel('c_{e}(t)');
title('Resposta de c_{e}(t) ao bólus inicial, para o paciente médio');
hold off;
```



```
figure(8);  
hold on;  
plot(Rt(ce, gamma));  
xlabel('Tempo (s)');  
ylabel('R(t)');  
title('Resposta de R(t) ao bólus inicial, para o paciente médio');  
label(plot(ones(length(ce), 1) * 0.1), 'ref', 'location', 'right');  
hold off;
```



Questão 4

a)

```
%u = impulse()
```