

1 - 5	6	7	Total

Nome: \_\_\_\_\_ Cartão: \_\_\_\_\_

Regras Gerais:

- Não é permitido o uso de calculadoras, telefones ou qualquer outro recurso computacional ou de comunicação.
- Trabalhe individualmente e sem uso de material de consulta além do fornecido.
- Devolva o caderno de questões preenchido ao final da prova.

Regras para as questões abertas:

- Seja sucinto, completo e claro.
- Justifique todo procedimento usado.
- Indique identidades matemáticas usadas, em especial, itens da tabela.
- Use notação matemática consistente.

Identidades:

$\sin(x) = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$	$\cos(x) = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2}$
$\sinh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{2}$	$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$
$(a+b)^n = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} a^{n-j} b^j, \quad \binom{n}{j} = \frac{n!}{j!(n-j)!}$	
$\sin(x+y) = \sin(x)\cos(y) + \cos(x)\sin(y)$	
$\cos(x+y) = \cos(x)\cos(y) - \sin(x)\sin(y)$	

Propriedades:

1	Linearidade	$\mathcal{L}\{\alpha f(t) + \beta g(t)\} = \alpha \mathcal{L}\{f(t)\} + \beta \mathcal{L}\{g(t)\}$
2	Transformada da derivada	$\mathcal{L}\{f'(t)\} = s\mathcal{L}\{f(t)\} - f(0)$ $\mathcal{L}\{f''(t)\} = s^2\mathcal{L}\{f(t)\} - sf(0) - f'(0)$
3	Deslocamento no eixo $s$	$\mathcal{L}\{e^{at}f(t)\} = F(s-a)$
4	Deslocamento no eixo $t$	$\mathcal{L}\{u(t-a)f(t-a)\} = e^{-as}F(s)$ $\mathcal{L}\{u(t-a)\} = \frac{e^{-as}}{s}$
5	Transformada da integral	$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(\tau)d\tau\right\} = \frac{F(s)}{s}$
6	Filtragem da Delta de Dirac	$\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\delta(t-a)dt = f(a)$
7	Transformada da Delta de Dirac	$\mathcal{L}\{\delta(t-a)\} = e^{-as}$
8	Teorema da Convolução	$\mathcal{L}\{(f * g)(t)\} = F(s)G(s)$ , onde $(f * g)(t) = \int_0^t f(\tau)g(t-\tau)d\tau$
9	Transformada de funções periódicas	$\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{1}{1-e^{-sT}} \int_0^T e^{-s\tau}f(\tau)d\tau$
10	Derivada da transformada	$\mathcal{L}\{tf(t)\} = -\frac{dF(s)}{ds}$
11	Integral da transformada	$\mathcal{L}\left\{\frac{f(t)}{t}\right\} = \int_s^{\infty} F(\hat{s})\hat{s}d\hat{s}$

Séries:

$\frac{1}{1-x} = \sum_{n=0}^{\infty} x^n = 1 + x + x^2 + x^3 + \dots, \quad -1 < x < 1$
$\frac{x}{(1-x)^2} = \sum_{n=1}^{\infty} nx^{n-1} = x + 2x^2 + 3x^3 + \dots, \quad -1 < x < 1$
$e^x = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^n}{n!} = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots, \quad -\infty < x < \infty$
$\ln(1+x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{n+1}}{n+1}, \quad -1 < x < 1$
$\arctan(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{2n+1}, \quad -1 < x < 1$
$\sin(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}, \quad -\infty < x < \infty$
$\cos(x) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{(2n)!}, \quad -\infty < x < \infty$
$\sinh(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n+1}}{(2n+1)!}, \quad -\infty < x < \infty$
$\cosh(x) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{x^{2n}}{(2n)!}, \quad -\infty < x < \infty$
$(1+x)^m = 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{m(m-1)\dots(m-n+1)}{n!} x^n, \quad -1 < x < 1, m \neq 0, 1, 2, \dots$

Funções especiais:

Função Gamma	$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} x^{k-1} e^{-x} dx$
Propriedade da Função Gamma	$\Gamma(k+1) = k\Gamma(k), \quad k > 0$ $\Gamma(n+1) = n!, \quad n \in \mathbb{N}$
Função de Bessel modificada de ordem $\nu$	$I_{\nu}(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{m!\Gamma(m+\nu+1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+\nu}$
Função de Bessel de ordem 0	$J_0(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m!^2} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m}$
Integral seno	$\text{Si}(t) = \int_0^t \frac{\sin(x)}{x} dx$

Integrais:

$\int x e^{\lambda x} dx = \frac{e^{\lambda x}}{\lambda^2} (\lambda x - 1) + C$
$\int x^2 e^{\lambda x} dx = e^{\lambda x} \left( \frac{x^2}{\lambda} - \frac{2x}{\lambda^2} + \frac{2}{\lambda^3} \right) + C$
$\int x^n e^{\lambda x} dx = \frac{1}{\lambda} x^n e^{\lambda x} - \frac{n}{\lambda} \int x^{n-1} e^{\lambda x} dx + C$
$\int x \cos(\lambda x) dx = \frac{\cos(\lambda x) + \lambda x \sin(\lambda x)}{\lambda^2} + C$
$\int x \sin(\lambda x) dx = \frac{\sin(\lambda x) - \lambda x \cos(\lambda x)}{\lambda^2} + C$

Tabela de transformadas de Laplace:

	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$	$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\{F(s)\}$
1	$\frac{1}{s}$	1
2	$\frac{1}{s^2}$	$t$
3	$\frac{1}{s^n}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{t^{n-1}}{(n-1)!}$
4	$\frac{1}{\sqrt{s}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}}$
5	$\frac{1}{s^{\frac{3}{2}}}$	$2\sqrt{\frac{t}{\pi}}$
6	$\frac{1}{s^k}, \quad (k > 0)$	$\frac{t^{k-1}}{\Gamma(k)}$
7	$\frac{1}{s-a}$	$e^{at}$
8	$\frac{1}{(s-a)^2}$	$te^{at}$
9	$\frac{1}{(s-a)^n}, \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$	$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1} e^{at}$
10	$\frac{1}{(s-a)^k}, \quad (k > 0)$	$\frac{1}{\Gamma(k)} t^{k-1} e^{at}$
11	$\frac{1}{(s-a)(s-b)}, \quad (a \neq b)$	$\frac{1}{a-b} (e^{at} - e^{bt})$
12	$\frac{s}{(s-a)(s-b)}, \quad (a \neq b)$	$\frac{1}{a-b} (ae^{at} - be^{bt})$
13	$\frac{1}{s^2 + w^2}$	$\frac{1}{w} \sin(wt)$
14	$\frac{s}{s^2 + w^2}$	$\cos(wt)$
15	$\frac{1}{s^2 - a^2}$	$\frac{1}{a} \sinh(at)$
16	$\frac{s}{s^2 - a^2}$	$\cosh(at)$
17	$\frac{1}{(s-a)^2 + w^2}$	$\frac{1}{w} e^{at} \sin(wt)$
18	$\frac{s-a}{(s-a)^2 + w^2}$	$e^{at} \cos(wt)$
19	$\frac{1}{s(s^2 + w^2)}$	$\frac{1}{w^2} (1 - \cos(wt))$
20	$\frac{1}{s^2(s^2 + w^2)}$	$\frac{1}{w^3} (wt - \sin(wt))$
21	$\frac{1}{(s^2 + w^2)^2}$	$\frac{1}{2w^3} (\sin(wt) - wt \cos(wt))$
22	$\frac{s}{(s^2 + w^2)^2}$	$\frac{t}{2w} \sin(wt)$
23	$\frac{s^2}{(s^2 + w^2)^2}$	$\frac{1}{2w} (\sin(wt) + wt \cos(wt))$
24	$\frac{s}{(s^2 + a^2)(s^2 + b^2)}, \quad (a^2 \neq b^2)$	$\frac{1}{b^2 - a^2} (\cos(at) - \cos(bt))$
25	$\frac{1}{(s^4 + 4a^4)}$	$\frac{1}{4a^3} [\sin(at) \cosh(at) - \cos(at) \sinh(at)]$
26	$\frac{s}{(s^4 + 4a^4)}$	$\frac{1}{2a^2} \sin(at) \sinh(at)$
27	$\frac{1}{(s^4 - a^2)}$	$\frac{1}{2a^3} (\sinh(at) - \sin(at))$
28	$\frac{s}{(s^4 - a^4)}$	$\frac{1}{2a^2} (\cosh(at) - \cos(at))$

	$F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}$	$f(t) = \mathcal{L}^{-1}\{F(s)\}$
29	$\sqrt{s-a} - \sqrt{s-b}$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi t^3}} (e^{bt} - e^{at})$
30	$\frac{1}{\sqrt{s+a}\sqrt{s+b}}$	$e^{\frac{-(a+b)t}{2}} I_0\left(\frac{a-b}{2}t\right)$
31	$\frac{1}{\sqrt{s^2 + a^2}}$	$J_0(at)$
32	$\frac{s}{(s-a)^{\frac{3}{2}}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} e^{at} (1 + 2at)$
33	$\frac{1}{(s^2 - a^2)^k}, \quad (k > 0)$	$\frac{\sqrt{\pi}}{\Gamma(k)} \left(\frac{t}{2a}\right)^{k-\frac{1}{2}} I_{k-\frac{1}{2}}(at)$
34	$\frac{1}{s} e^{-\frac{k}{s}}, \quad (k > 0)$	$J_0(2\sqrt{kt})$
35	$\frac{1}{\sqrt{s}} e^{-\frac{k}{s}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \cos(2\sqrt{kt})$
36	$\frac{1}{s^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{k}{s}}$	$\frac{1}{\sqrt{\pi t}} \sinh(2\sqrt{kt})$
37	$e^{-k\sqrt{s}}, \quad (k > 0)$	$\frac{k}{2\sqrt{\pi t^3}} e^{-\frac{k^2}{4t}}$
38	$\frac{1}{s} \ln(s)$	$-\ln(t) - \gamma, \quad (\gamma \approx 0,5772)$
39	$\ln\left(\frac{s-a}{s-b}\right)$	$\frac{1}{t} (e^{bt} - e^{at})$
40	$\ln\left(\frac{s^2 + w^2}{s^2}\right)$	$\frac{2}{t} (1 - \cos(wt))$
41	$\ln\left(\frac{s^2 - a^2}{s^2}\right)$	$\frac{2}{t} (1 - \cosh(at))$
42	$\tan^{-1}\left(\frac{w}{s}\right)$	$\frac{1}{t} \sin(wt)$
43	$\frac{1}{s} \cot^{-1}(s)$	$\text{Si}(t)$
44	$\frac{1}{s} \tanh\left(\frac{as}{2}\right)$	<p>Onda quadrada</p> $f(t) = \begin{cases} 1, & 0 < t < a \\ -1, & a < t < 2a \end{cases}$ $f(t+2a) = f(t), \quad t > 0$
45	$\frac{1}{as^2} \tanh\left(\frac{as}{2}\right)$	<p>Onda triangular</p> $f(t) = \begin{cases} \frac{t}{a}, & 0 < t < a \\ -\frac{t}{a} + 2, & a < t < 2a \end{cases}$ $f(t+2a) = f(t), \quad t > 0$
46	$\frac{w}{(s^2 + w^2) \left(1 - e^{-\frac{\pi}{w}s}\right)}$	<p>Retificador de meia onda</p> $f(t) = \begin{cases} \sin(wt), & 0 < t < \frac{\pi}{w} \\ 0, & \frac{\pi}{w} < t < \frac{2\pi}{w} \end{cases}$ $f\left(t + \frac{2\pi}{w}\right) = f(t), \quad t > 0$
47	$\frac{w}{s^2 + w^2} \coth\left(\frac{\pi s}{2w}\right)$	<p>Retificador de onda completa</p> $f(t) =  \sin(wt) $
48	$\frac{1}{as^2} - \frac{e^{-as}}{s(1 - e^{-as})}$	<p>Onda dente de serra</p> $f(t) = \frac{t}{a}, \quad 0 < t < a$ $f(t) = f(t-a), \quad t > a$

• **Questão 1** (1.0 ponto) Assinale as alternativas que indicam, respectivamente,  $\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{1}{\pi^2 + s^2}\right\}$  e

$$\mathcal{L}^{-1}\left\{\frac{e^{-s}}{\pi^2 + s^2}\right\}$$

( )  $\frac{\cos(\pi t)}{\pi},$

( )  $\sin(\pi t),$

( )  $\cos(\pi t),$

(X)  $\frac{\sin(\pi t)}{\pi},$

( )  $e^{-\pi t} + e^{\pi t},$

( ) n.d.a.

( )  $u(t-1)\frac{\cos(\pi t)}{\pi},$

(X)  $-u(t-1)\frac{\sin(\pi t)}{\pi},$

( )  $u(t-1)\sin(\pi(t-1)),$

( )  $u(t-1)\cos(\pi(t-1)),$

( )  $u(t-1)[e^{-\pi(t-1)} + e^{\pi(t-1)}],$

( ) n.d.a.

• **Questão 2** (1.0 ponto) Considere a função  $f(t)$  definida como

$$f(t) = \begin{cases} t, & 0 < t \leq 1, \\ 2-t, & 1 < t \leq 2, \\ 0, & t > 2. \end{cases}$$

Assinale as alternativas que indicam, respectivamente, uma representação para  $f(t)$  e  $\mathcal{L}\{f(t)\}$ :

( )  $\frac{1}{s}[1 + 2e^{-s}]$

(X)  $f(t) = tu(t) + 2(1-t)u(t-1) + (t-2)u(t-2)$

( )  $f(t) = tu(t) + (2-t)u(t-1)$

( )  $f(t) = tu(t) + (2-2t)u(t-1) + (2-t)u(t-2)$

( )  $f(t) = tu(t) + (2-t)u(t-1)$

( )  $f(t) = tu(t) + (2-t)u(t-1) + (t-2)u(t-2)$

( ) n.d.a.

( )  $\frac{1}{s} + 2\frac{e^{-s}}{s} + \frac{2e^{-s}}{s^2} - \frac{2e^{-2s}}{s^2}$

(X)  $\frac{1}{s^2}[1 - 2e^{-s} + e^{-2s}]$

( )  $\frac{1}{s^2} - \frac{e^{-s}}{s^2} + \frac{e^{-2s}}{s^2}$

( )  $\frac{1}{s^2} + 2\frac{e^{-2}}{s} - \frac{e^{-s}}{s^2} + \frac{e^{-2s}}{s^2}$

( )  $\frac{1}{s^2} - \frac{2e^{-s}}{s^2}$

( ) n.d.a.

• **Questão 3** (1.0) Considere a função  $F(s) = \frac{s^2 - 6s + 4}{s^3 - 3s^2 + 2s}$ . Assinale as alternativas que indicam, respectivamente,  $\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\}$  e  $\mathcal{L}^{-1}\{F(s-3)\}$ .

( )  $1 + e^t + e^{2t},$

( )  $2 + \sinh(t) - \sinh(\sqrt{2}t),$

( )  $1 + \sin(t) - \sin(\sqrt{2}t),$

( )  $2u(t) + e^{-t} - 2e^{-2t},$

(X)  $2 + e^t - 2e^{2t},$

( ) n.d.a.

( )  $u(t-3)(2 + e^t - 2e^{2t}),$

( )  $u(t-3)(2 + e^{-t+3} - 2e^{2(-t+3)}),$

( )  $(2 + e^{t-3} - 2e^{2(t-3)}),$

( )  $(2 + e^{-t+3} - 2e^{2(-t+3)}),$

( )  $u(t-3)(2 + \sinh(t-3) - \sinh(2(t-3))),$

( )  $u(t-3)(2 + e^{t-3} - 2e^{2(t-3)}),$

(X) n.d.a.

- **Questão 4** (1.0) Considere a equação de coeficientes variáveis

$$ty''(t) + y' + 4ty = 0$$

Seja  $Y(s)$  a transformada de Laplace de  $y(t)$ . Assinale as alternativas que indicam, respectivamente, uma equação diferencial de primeira ordem para  $Y(s)$  e sua solução.

( )  $\frac{Y'(s)}{Y(s)} = -\frac{s}{\sqrt{s^2 + 4}}$

(X)  $\frac{Y'(s)}{Y(s)} = -\frac{s}{s^2 + 4}$

( )  $\frac{Y'(s)}{Y(s)} = -\frac{1}{s^2 + 4}$

( )  $\frac{Y'(s)}{Y(s)} = -\frac{s}{s + 4}$

( )  $\frac{Y'(s)}{Y(s)} = -\frac{1}{s + 4}$

( ) n.d.a.

( )  $Y(s) = -Ce^{-4s}$ ,  $C$  uma constante.

( )  $Y(s) = -Cs - 4\log(s + 4)$ ,  $C$  uma constante.

( )  $Y(s) = C + 4\log(s + 4)$ ,  $C$  uma constante.

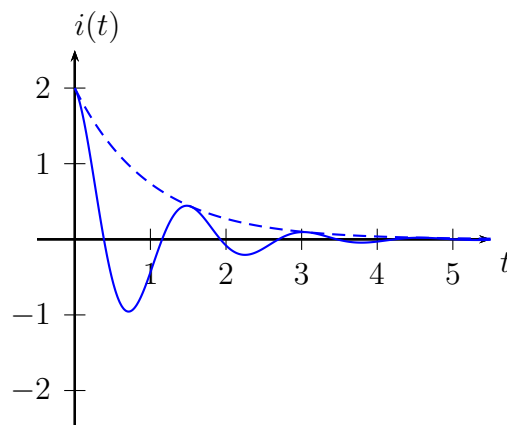
( )  $Y(s) = -\arctan(s)$ ,  $C$  uma constante.

(X)  $Y(s) = -\frac{C}{\sqrt{s^2 + 4}}$ ,  $C$  uma constante.

( ) n.d.a.

- **Questão 5** (1.0) Considere um sistema RLC modelado pelo problema de segunda ordem abaixo e o gráfico da corrente esboçado ao lado.

$$\begin{aligned} Li''(t) + Ri'(t) + \frac{i(t)}{C} &= f(t) \\ i(0) &= i_0 \\ i'(0) &= i'_0 \end{aligned}$$



A equação da envoltória, esboçada com uma linha pontilhada, é  $2e^{-t}$ . Assinale as alternativas que indicam, respectivamente, o tipo de amortecimento e a solução  $i(t)$ .

( )  $e^{-t} \cos\left(\frac{4\pi}{3}t\right)$

( ) Superamortecido

( )  $2e^{-t} \cos\left(\frac{2\pi}{3}t\right)$

(X) Subamortecido

(X)  $2e^{-t} \cos\left(\frac{4\pi}{3}t\right)$

( ) Criticamente amortecido

( ) Não amortecido (Livre)

( )  $2e^{-t} \cos\left(\frac{2}{3}t\right)$

( ) Ressonante

( ) Nenhuma das alternativas anteriores

( )  $2e^{-2t} \cos\left(\frac{4\pi}{3}t\right)$

( )  $2e^{-2t} \cos\left(\frac{2}{3}t\right)$

• **Questão 6** (2.5) Considere o seguinte problema de valor inicial:

$$\begin{aligned}x'(t) &= -x(t) - 2y(t) + \delta(t) \\ y'(t) &= x(t) - y(t) + \delta(t),\end{aligned}$$

com  $x(0) = 0$  e  $y(0) = 0$ .

a) (0.9) Aplique o método de transformada de Laplace e escreva  $X(s) = \mathcal{L}\{x(t)\}$  e  $Y(s) = \mathcal{L}\{y(t)\}$  nos espaços abaixo.

b) (0.9) Calcule as transformadas inversas e escreva  $x(t)$  e  $y(t)$  abaixo.

c) (0.7) Aplique sua solução do item b) nas condições iniciais e justifique o resultado encontrado.

**Solução: a)** Aplicamos a transformada de Laplace e usamos as propriedades 1 e 2 para obter

$$\begin{aligned}sX &= -X - 2Y + 1 \\ sY &= X - Y + 1,\end{aligned}$$

isto é,

$$\begin{aligned}(s+1)X + 2Y &= 1 \\ -X + (s+1)Y &= 1,\end{aligned}$$

Multiplicamos a segunda linha por  $(s+1)$  e somamos a primeira para obter

$$((s+1)^2 + 2)Y = s+2$$

e multiplicamos a primeira por  $(s+1)/2$  e diminuimos a segunda para obter

$$\left(\frac{(s+1)^2}{2} + 1\right)X = \frac{s+1}{2} - 1.$$

A solução do sistema é

$$\begin{aligned}X(s) &= \frac{s-1}{((s+1)^2 + 2)} \\ Y(s) &= \frac{s+2}{((s+1)^2 + 2)}\end{aligned}$$

**Solução: b)** Escrevemos  $X(s)$  e  $Y(s)$  da forma

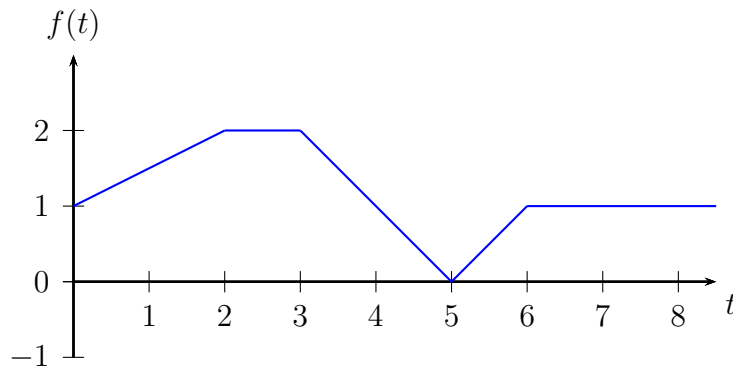
$$\begin{aligned}X(s) &= \frac{s+1}{((s+1)^2 + 2)} - \frac{2}{((s+1)^2 + 2)} \\ Y(s) &= \frac{s+1}{((s+1)^2 + 2)} + \frac{1}{((s+1)^2 + 2)}\end{aligned}$$

e usamos os itens 17 e 18 para calcular a transformada inversa:

$$\begin{aligned}x(t) &= e^{-t} \left( \cos(\sqrt{2}t) - \sqrt{2} \sin(\sqrt{2}t) \right) \\ y(t) &= e^{-t} \left( \cos(\sqrt{2}t) + \frac{\sqrt{2}}{2} \sin(\sqrt{2}t) \right)\end{aligned}$$

**Solução: c)** Observamos que a expressão do item b) produz  $x(0) = 1$  e  $y(0) = 1$ , que não satisfaz a condição inicial. Isso acontece porque o delta de Dirac na origem provoca uma descontinuidade na solução.

- **Questão 7** (2.5) Considere a função dada no gráfico abaixo



- a) (0.8 ponto) Escreva em termos de Delta de Dirac e Heaviside as funções  $f$ ,  $f'$  e  $f''$ .  
b) (0.8 ponto) Esboce o gráfico de  $f'$  e  $f''$  indicando eixos e valores notáveis.  
c) (0.9 ponto) Calcule as transformadas de Laplace das funções  $f$ ,  $f'$  e  $f''$ .

**Solução:**

$$f(t) = \frac{t}{2}u(t) + u(t) - \frac{1}{2}(t-2)u(t-2) - (t-3)u(t-3) + 2(t-5)u(t-5) - (t-6)u(t-6)$$

$$f'(t) = \frac{1}{2}u(t) - \frac{1}{2}u(t-2) - u(t-3) + 2u(t-5) - u(t-6)$$

$$f''(t) = -\frac{1}{2}\delta(t-2) - \delta(t-3) + 2\delta(t-5) - \delta(t-6)$$

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \frac{1}{2s^2} + \frac{1}{s} - \frac{1}{2s^2}e^{-2s} - \frac{1}{s^2}e^{-3s} + \frac{2}{s^2}e^{-5s} - \frac{1}{s^2}e^{-6s}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{L}\{f'(t)\} = s\mathcal{L}\{f(t)\} - f(0) &= \frac{1}{2s} + 1 - \frac{1}{2s}e^{-2s} - \frac{1}{s}e^{-3s} + \frac{1}{s}e^{-5s} - \frac{1}{s}e^{-6s} - 1 \\ &= \frac{1}{2s} - \frac{1}{2s}e^{-2s} - \frac{1}{s}e^{-3s} + \frac{1}{s}e^{-5s} - \frac{1}{s}e^{-6s}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mathcal{L}\{f''(t)\} = s\mathcal{L}\{f'(t)\} - f'(0) &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-2s} - e^{-3s} + e^{-5s} - e^{-6s} - \frac{1}{2} \\ &= -\frac{1}{2}e^{-2s} - e^{-3s} + e^{-5s} - e^{-6s}\end{aligned}$$

