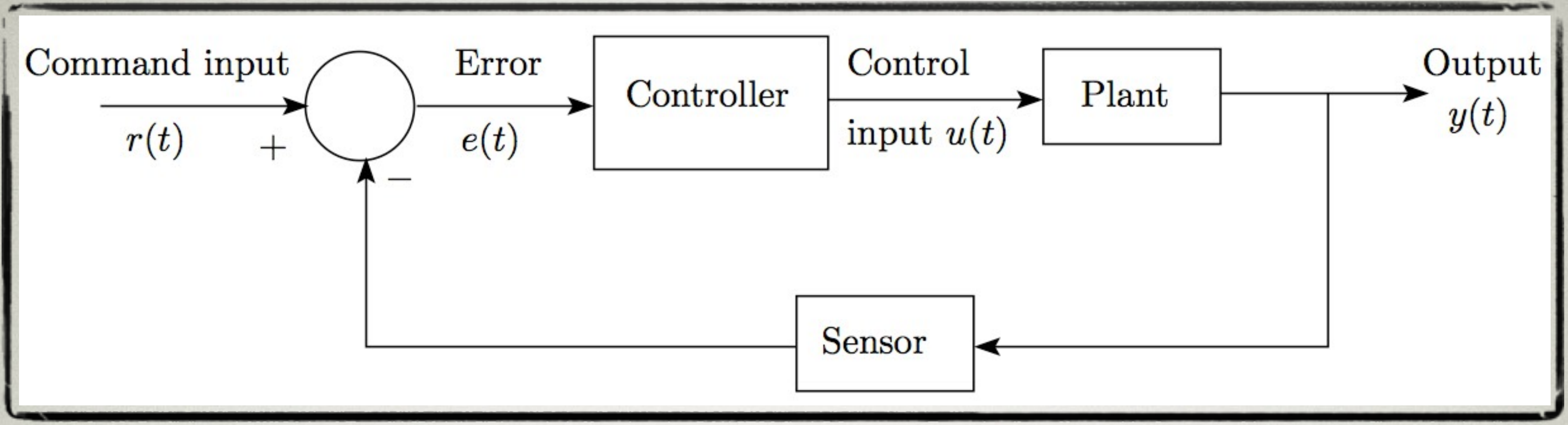
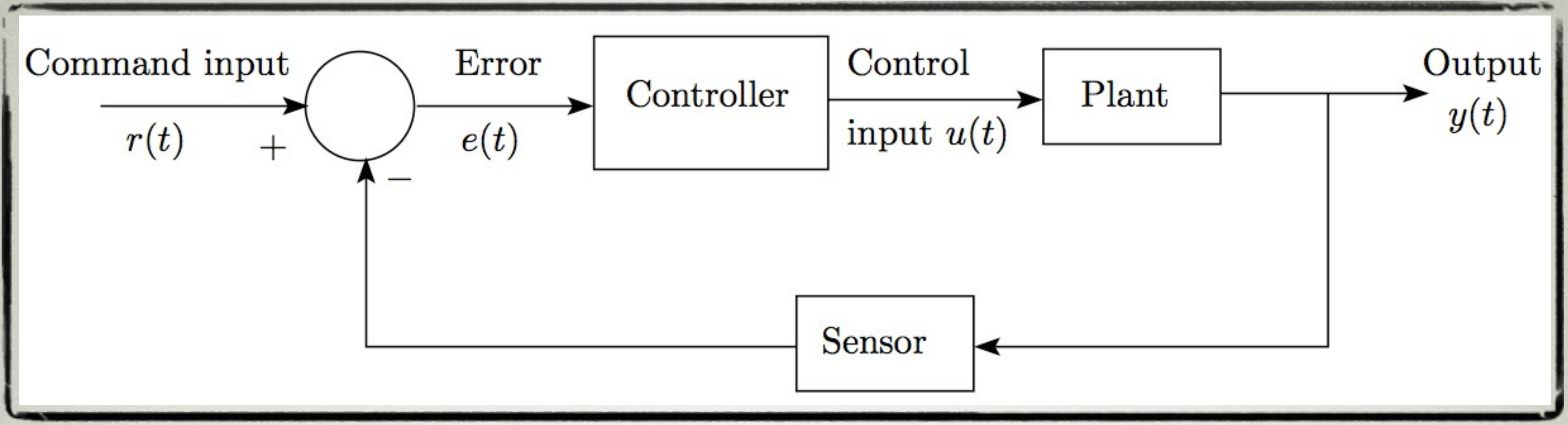
Controle Automático III

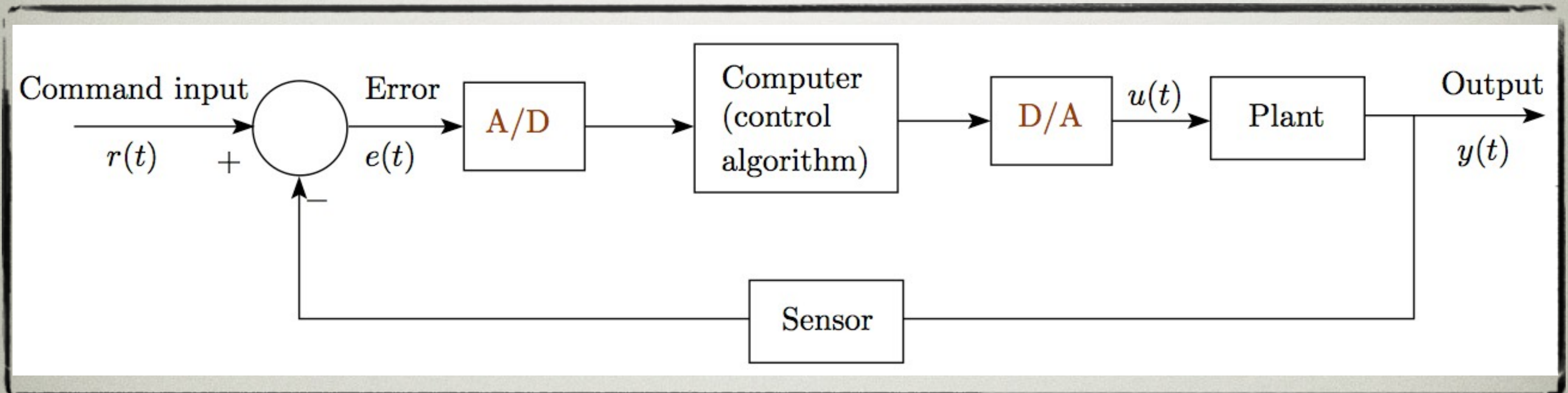
Introdução
(a teoria)



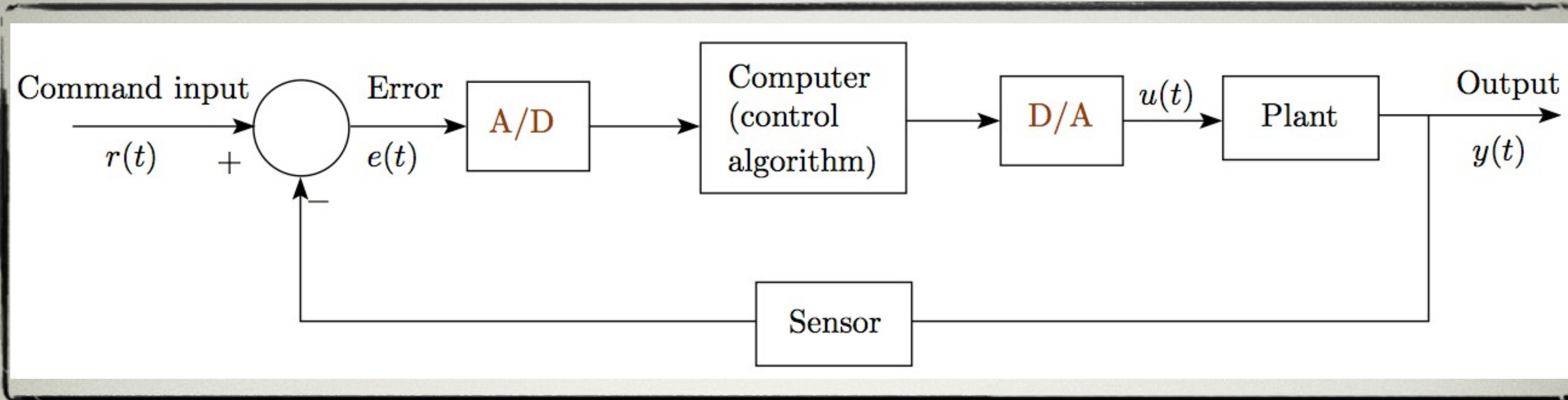
Observações:
Todas as variáveis do sistema são sinais contínuos;
Não importa se o sistema é linear ou não linear, todas as variáveis estão continuamente presentes e portanto, estão disponíveis em qualquer instante de tempo, todo o tempo.

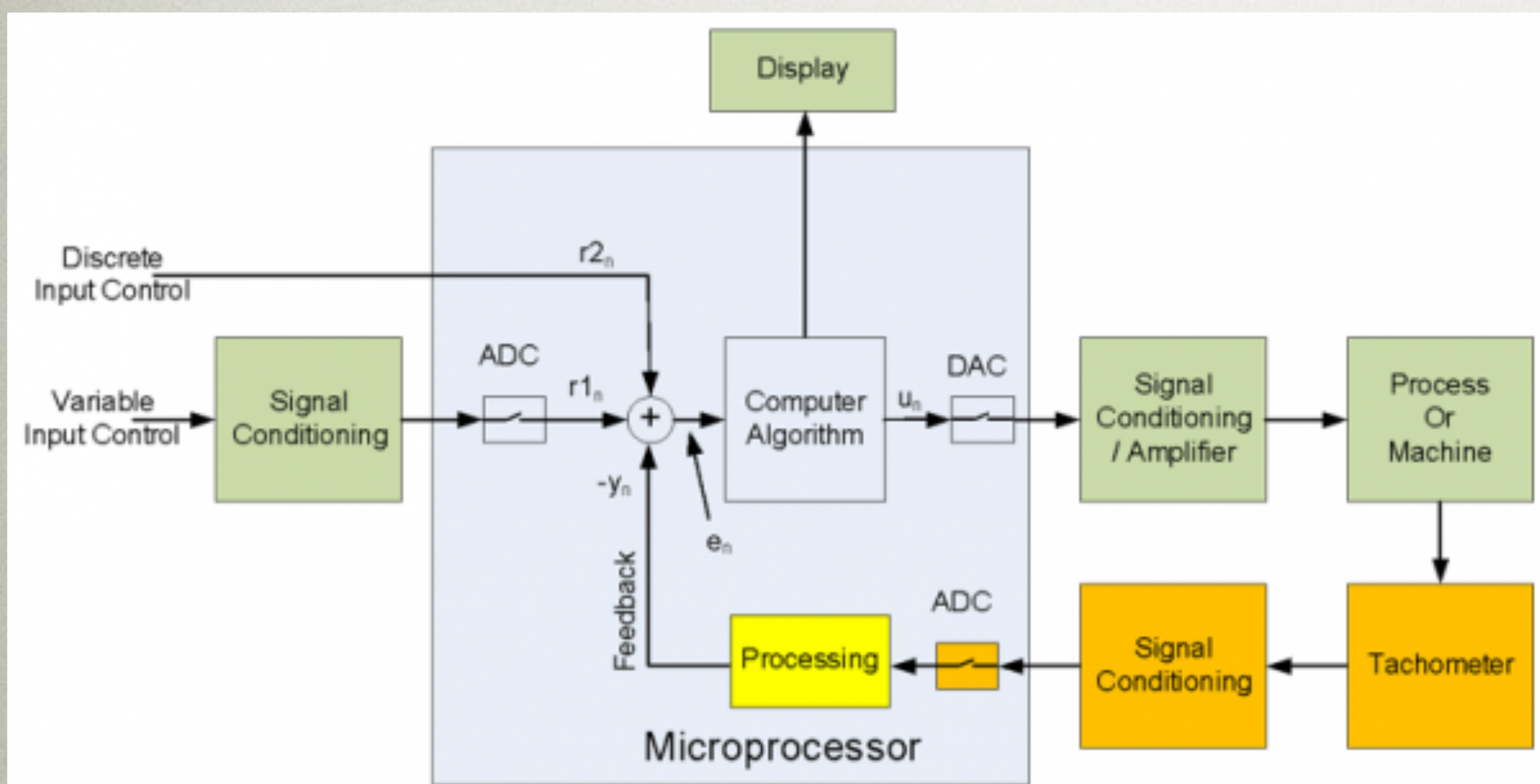
Típico sistema de controle contínuo no tempo



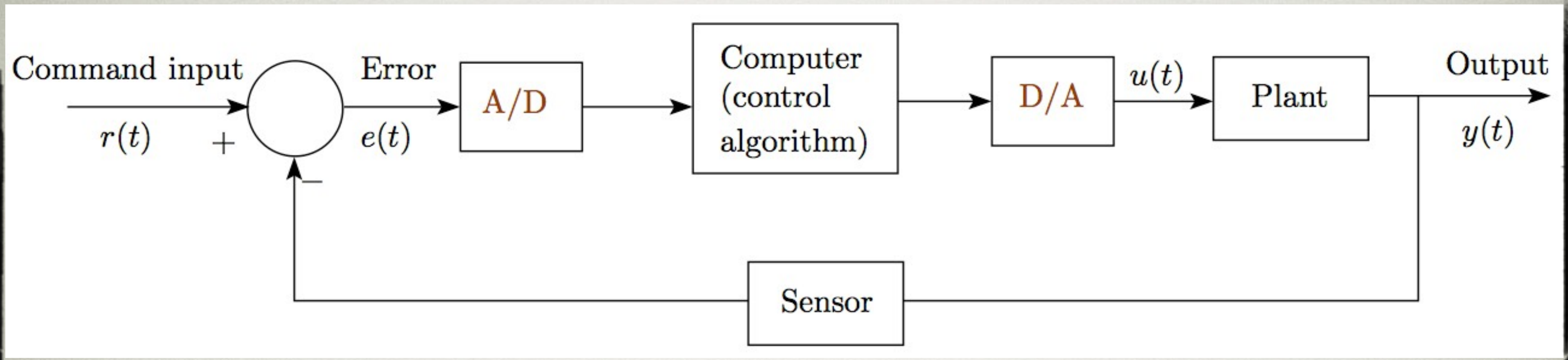


Transição de Analógico --> DIGITAL: sistema de controle.





Transição de Analógico --> DIGITAL: sistema de controle.

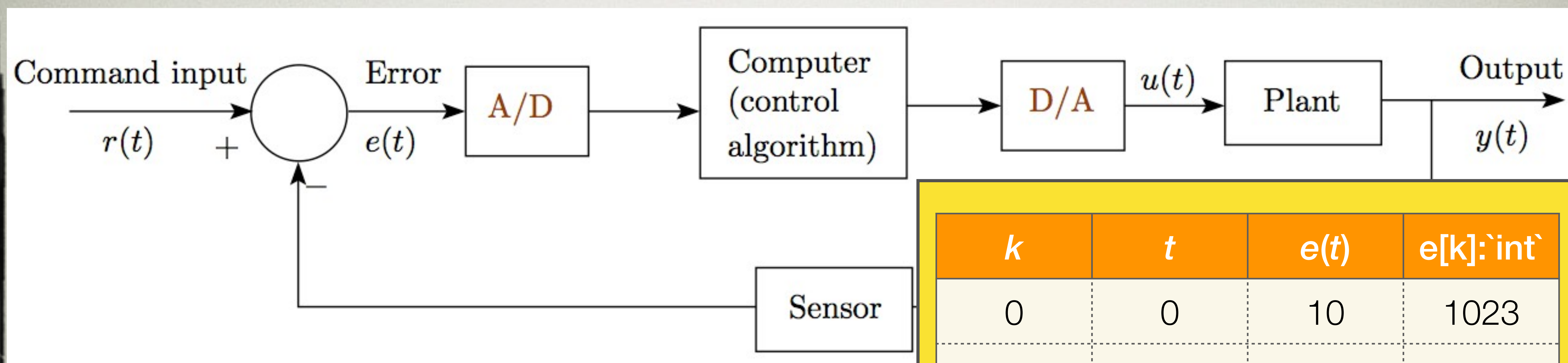


Observações:

- ➡ O algoritmo de controle é implementado num sistema digital;
- ➡ O sinal de erro é discretizado e enviado ao computador usando um A/D;
- ➡ O sinal de controle é um sinal discreto que é aplicado a planta usando um D/A ou PWM (duty-cycle).

- O sinal de erro, $e(t)$ é amostrado a intervalos fixos T → e[kT]: ou seja, note que o **sinal contínuo é convertido numa seqüência de números a intervalos de tempo regulares (fixos)**: $e[kT]$={100, 70, 50, 25, 12.5, 8.75, 3, -2.15, 1.15, -0.75, ...}

Sistema digital de controle - diagrama geral.



k	*t*	e(*t*)	e[k]:`int`
0	0	10	1023
1	0,1	7	870
2	0,2	5	767
3	0,3	2,5	639
4	0,4	1,25	575
5	0,5	0,875	556
6	0,6	0,3	527
7	0,7	-1,15	453
8	0,8	1,15	570
9	0,9	-0,75	473

Dados: $T = 0{,}1; -10 \leq \left(D/A\,|_{10-bits}\right) \leq +10;$ $2^{10} = 1024.$

Observações:

➡ O algoritmo de controle é implementado num

➡ O sinal de erro é discretizado e enviado ao com

➡ O sinal de controle é um sinal discreto que é ap PWM (duty-cycle).

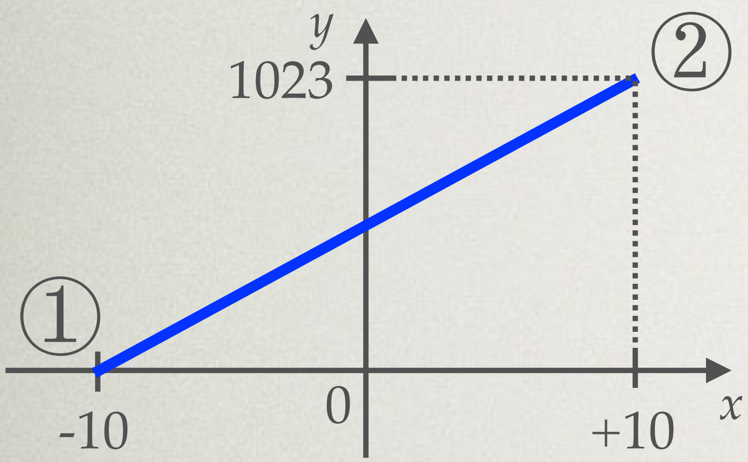
- O sinal de erro, $e(t)$ é amostrado a intervalos fix **sinal contínuo é convertido numa seqüência d** **regulares (fixos)**: $e[kT]$={100, 70, 50, 25, 12.5, 8.7

Sistema digital de controle - diagrama geral.

Alguns cálculos…

A/D: -10 à + 10 Volts ⇛ 10 bits ⇛ 0..1023 (int!)

Eq. da reta:



$y = ax + b$

Temos:

(1) $\quad -10 \cdot a + b = 0$

(2) $\quad +10 \cdot a + b = 1023$

Resolvendo sistema: (2)-(1):

$$20a + 0 = 1023 \therefore a = \frac{1023}{20} = 51{,}15$$

De (1): $b = 10a \therefore b = 511{,}5$

$y = 51{,}15 \cdot x + 511{,}5$

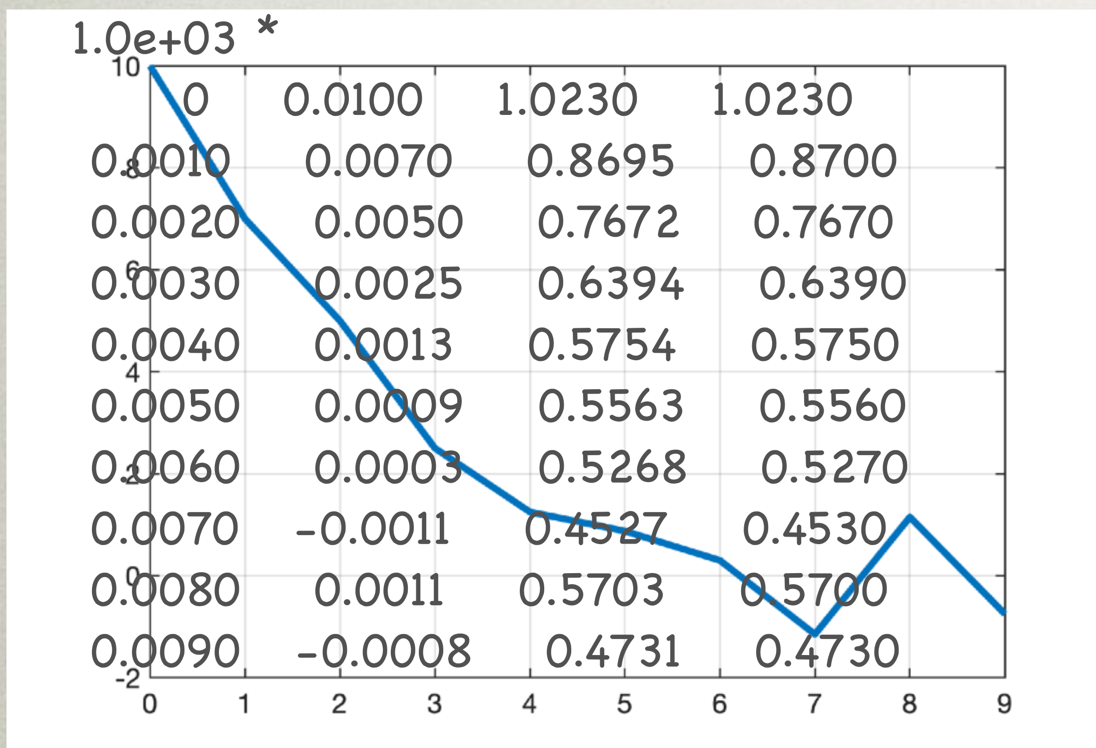
k	*t*	*e*(*t*)	e[k]:`int`
0	0	10	1023
1	0,1	7	870
2	0,2	5	767
3	0,3	2,5	639
4	0,4	1,25	575
5	0,5	0,875	556
6	0,6	0,3	527
7	0,7	-1,15	453
8	0,8	1,15	570
9	0,9	-0,75	473

Dados: $T = 0{,}1; -10 \leq \left(D/A\,|_{10-bits}\right) \leq +10;$ $2^{10} = 1024.$

Sistema digital de controle - diagrama geral.

Usando Matlab:

```
>> k=0:9;
>> T=0.1;
>> t=k.*T;
>> t=k*T;
>> e=[10 7 5 2.5 1.25 0.875 0.3 -1.15 1.15 -0.75];
>> figure; plot(k,e)
>> a=1023/20;
>> b=10*a;
>> y=a*e+b;
>> y_int=round(y);
>> [k' e' y' y_int']
ans =
```



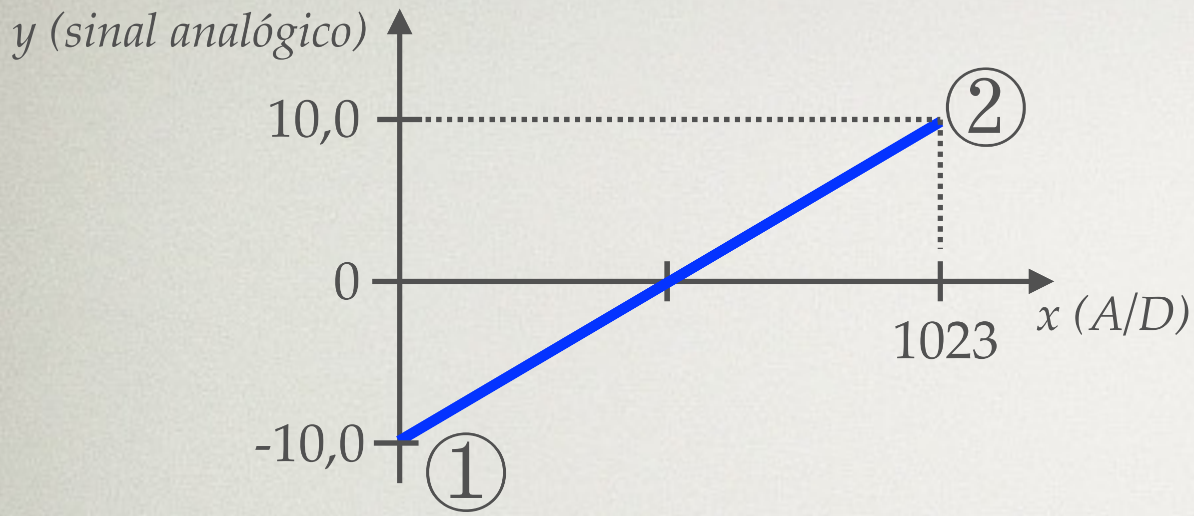

```
  1.0e+03 *
         0    0.0100    1.0230    1.0230
    0.0010    0.0070    0.8695    0.8700
    0.0020    0.0050    0.7672    0.7670
    0.0030    0.0025    0.6394    0.6390
    0.0040    0.0013    0.5754    0.5750
    0.0050    0.0009    0.5563    0.5560
    0.0060    0.0003    0.5268    0.5270
    0.0070   -0.0011    0.4527    0.4530
    0.0080    0.0011    0.5703    0.5700
    0.0090   -0.0008    0.4731    0.4730
```

Sistema digital de controle - diagrama geral.

k	*t*	e(*t*)	e[k]:`int`
0	0	10	1023
1	0,1	7	870
2	0,2	5	767
3	0,3	2,5	639
4	0,4	1,25	575
5	0,5	0,875	556
6	0,6	0,3	527
7	0,7	-1,15	453
8	0,8	1,15	570
9	0,9	-0,75	473

Dados: $T = 0{,}1; -10 \leq \left(D/A\,|_{10-bits}\right) \leq +10;$ $2^{10} = 1024.$

Fator escala no sistema digital [int] → [float]:



Deduzindo equação:

$ax + b = y$

(1) $a \cdot 0 + b = -10$

(2) $a \cdot 1023 + b = 10$

Resolvendo:

De (1) $\therefore b = -10$

Usando b e aplicando em (2), temos:

$$1023 \cdot a - 10 = 10 \therefore a = \frac{20}{1023} = 0{,}019550342130987$$

Assim:

$$\boxed{e^*[kT] = e^*(t) = 0{,}0196 \cdot e[k]_{A/D} - 10}$$

Testando:

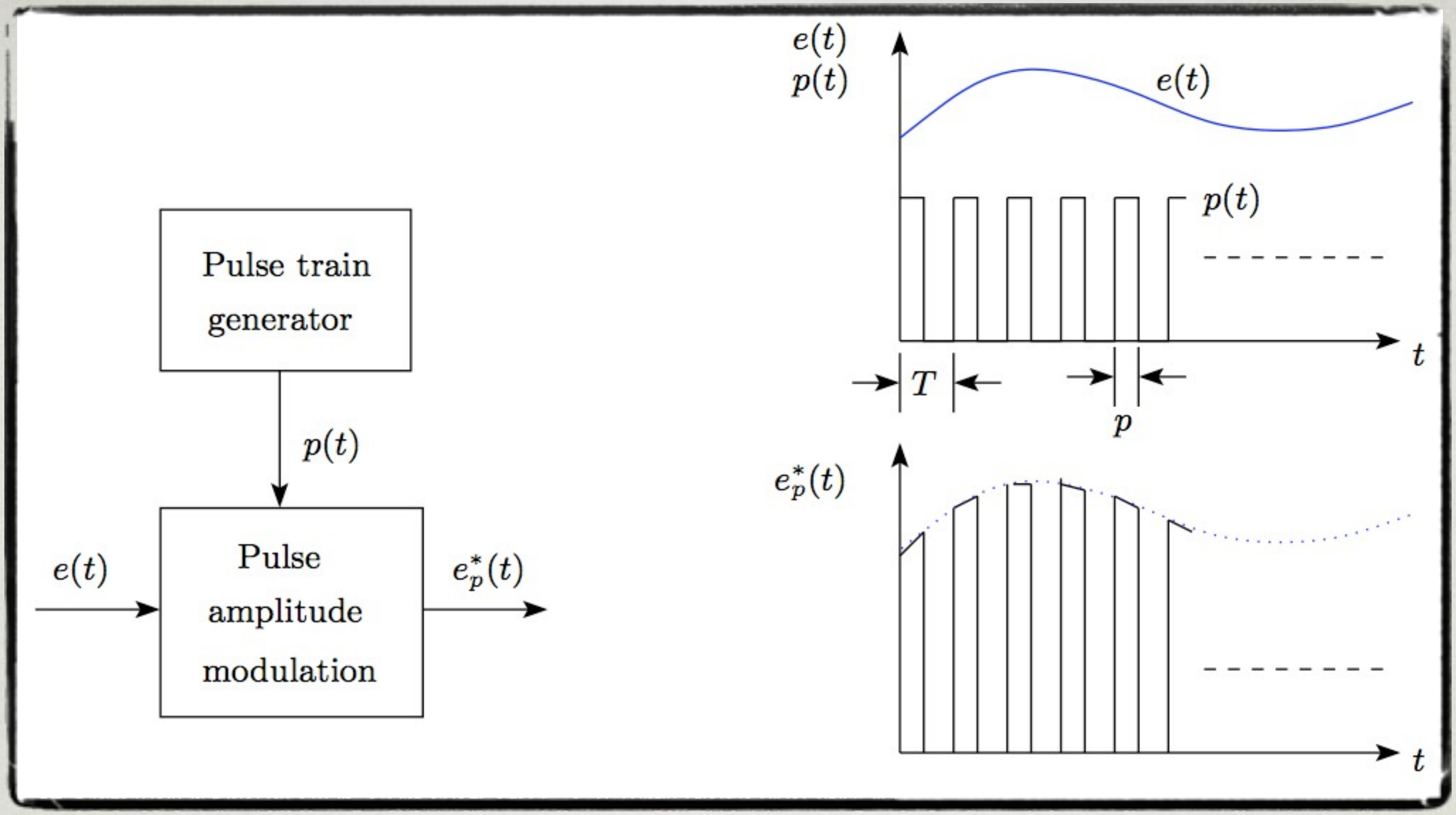
$$e[k]_{A/D} = 1023 \therefore e^*[k] = \underbrace{1023 \cdot 0{,}196}_{20} - 10 = 10$$

Sistema digital de controle - diagrama geral.

"fator escala"

k	t	$e(t)$	e[k]:\`int\`
0	0	10	1023
1	0,1	7	870
2	0,2	5	767
3	0,3	2,5	639
4	0,4	1,25	575
5	0,5	0,875	556
6	0,6	0,3	527
7	0,7	-1,15	453
8	0,8	1,15	570
9	0,9	-0,75	473

Dados: $T = 0{,}1; -10 \leq \left(D/A\,|_{10-bits}\right) \leq +10;$ $2^{10} = 1024.$

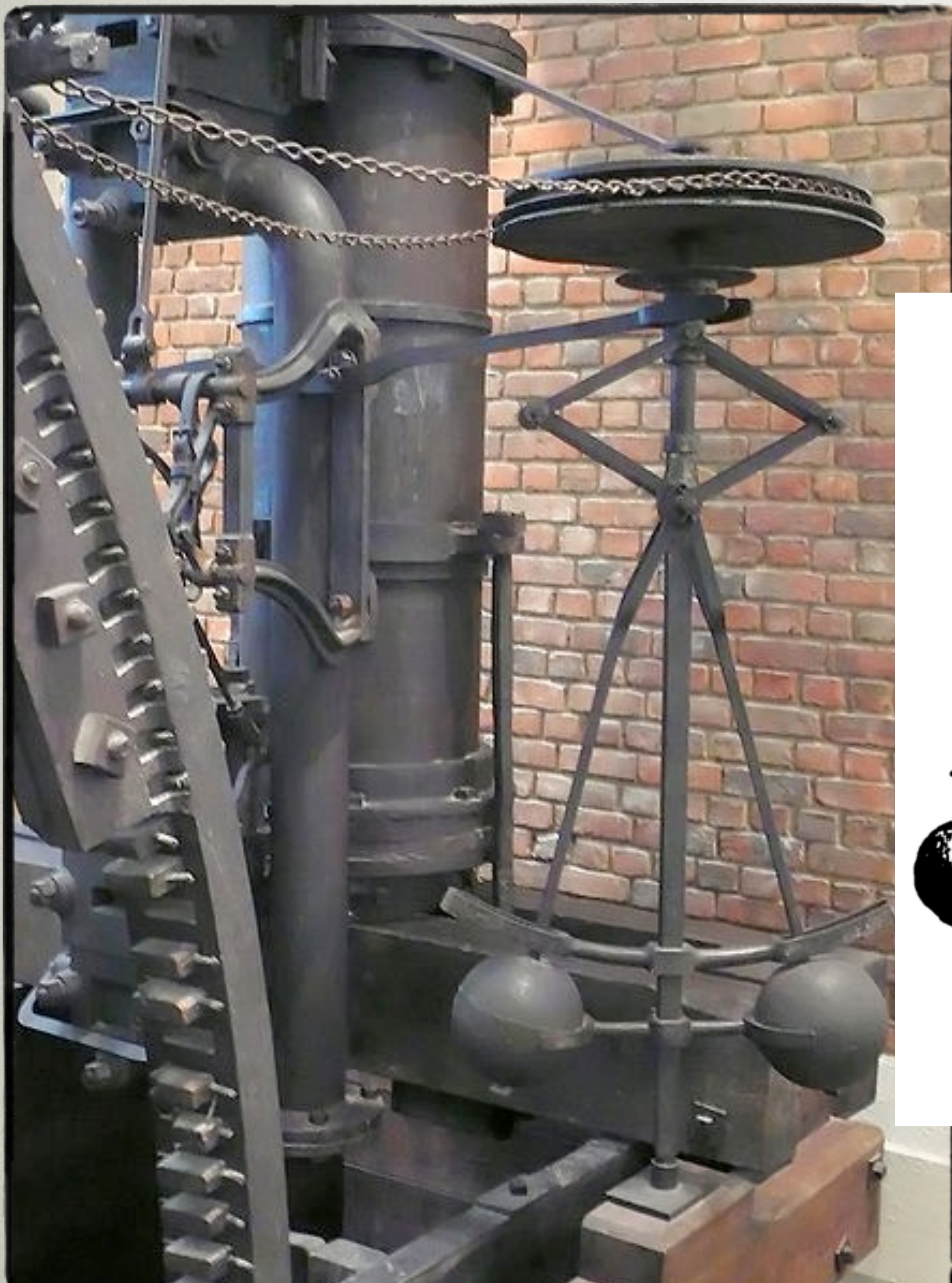


T=período de amostragem adotado, *p*=largura do pulso.

Amostragem de um sinal contínuo por pulso de largura finita.

Dias atuais:

Princípio: **sem computadores**! Mas o sinais eram amostrados no tempo ==> sistema de dados amostrado no tempo.



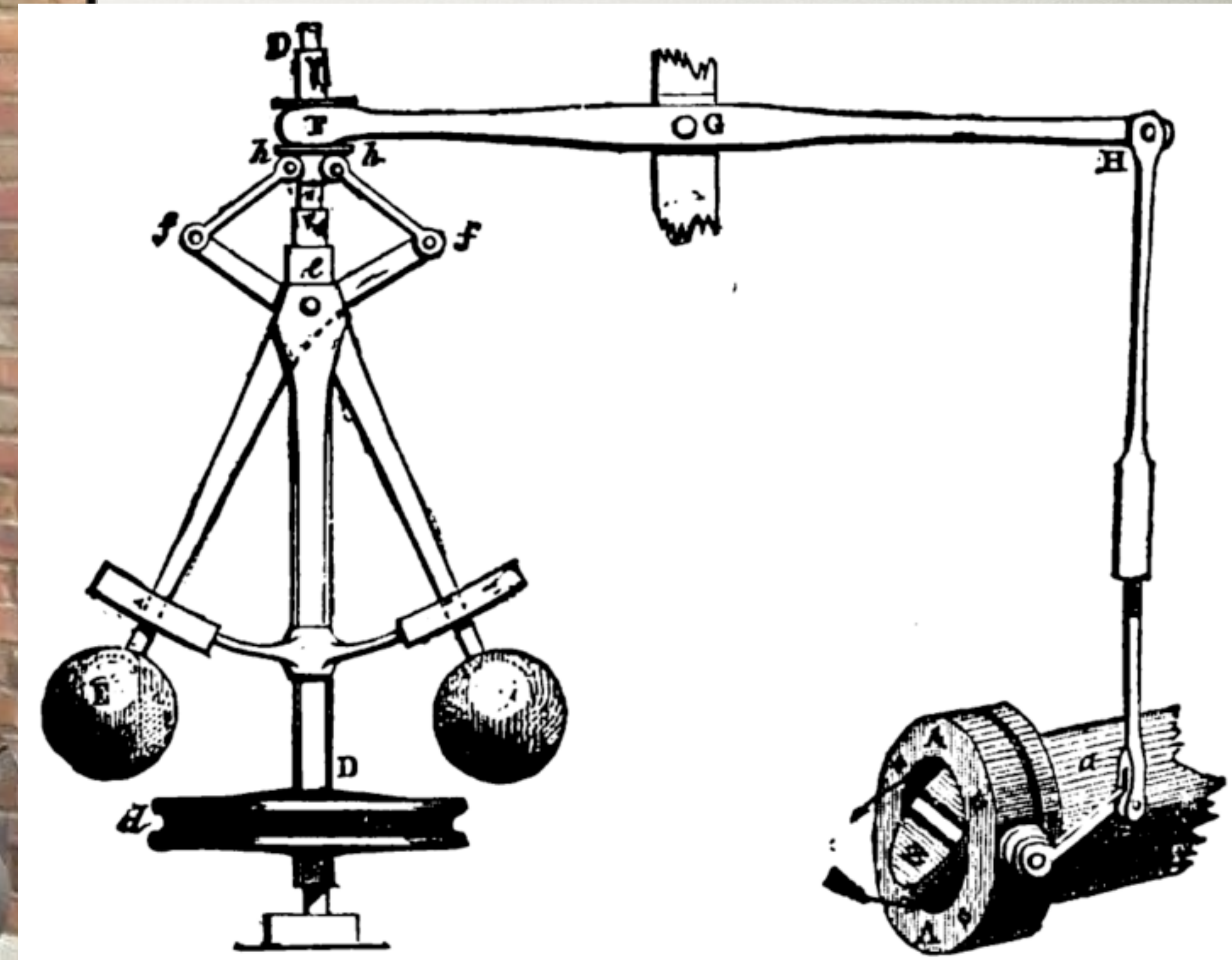


FIG. 4.--*Governor and Throttle-Valve.*

Vantagens controle digital

- Muitas das dificuldades envolvidas na realização de um controlador analógico “somem”.
- Desvios podem ser evitados. Melhora faixa de precisão;
- Fácil implementar algoritmos sofisticados (controle adaptativo, preditivo, LQR, por realimentação de estados, óptimo, fuzzy, usando redes-neurais, etc...);
- Fácil de incluir funções ou lógicas não lineares (IF..THEN..ELSE -- “regras de mão”).

Exemplo de Controlador PD

PD contínuo: $$u(t) = K_p\, e(t) + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

PD discretizado: $$u[k] = K_p e[k] + K_d \left(\frac{e[k] - e[k-1]}{T} \right)$$

Equações de diferença
(o que é implementado a nível de código/
programação)

Sistemas inerentemente amostrados

- Em alguns casos são resultados de descrições de fenômenos naturais.
- Em outros casos, a informação é transmitida na forma de pulsos.
- **Radar**: quando uma antena de radar gira, informação à respeito da orientação e distância é naturalmente obtida uma vez a cada vez que a antena rotaciona;
- **Sistemas econômicos**: sistemas contábeis são normalmente atrelados a um calendário. Variáveis importantes são acumuladas somente em certos períodos.
- **Sistemas biológicos**: a transmissão de sinais pelo sistema nervoso ocorre na forma de um pulso, assim sistemas biológicos são inerentemente amostrados.

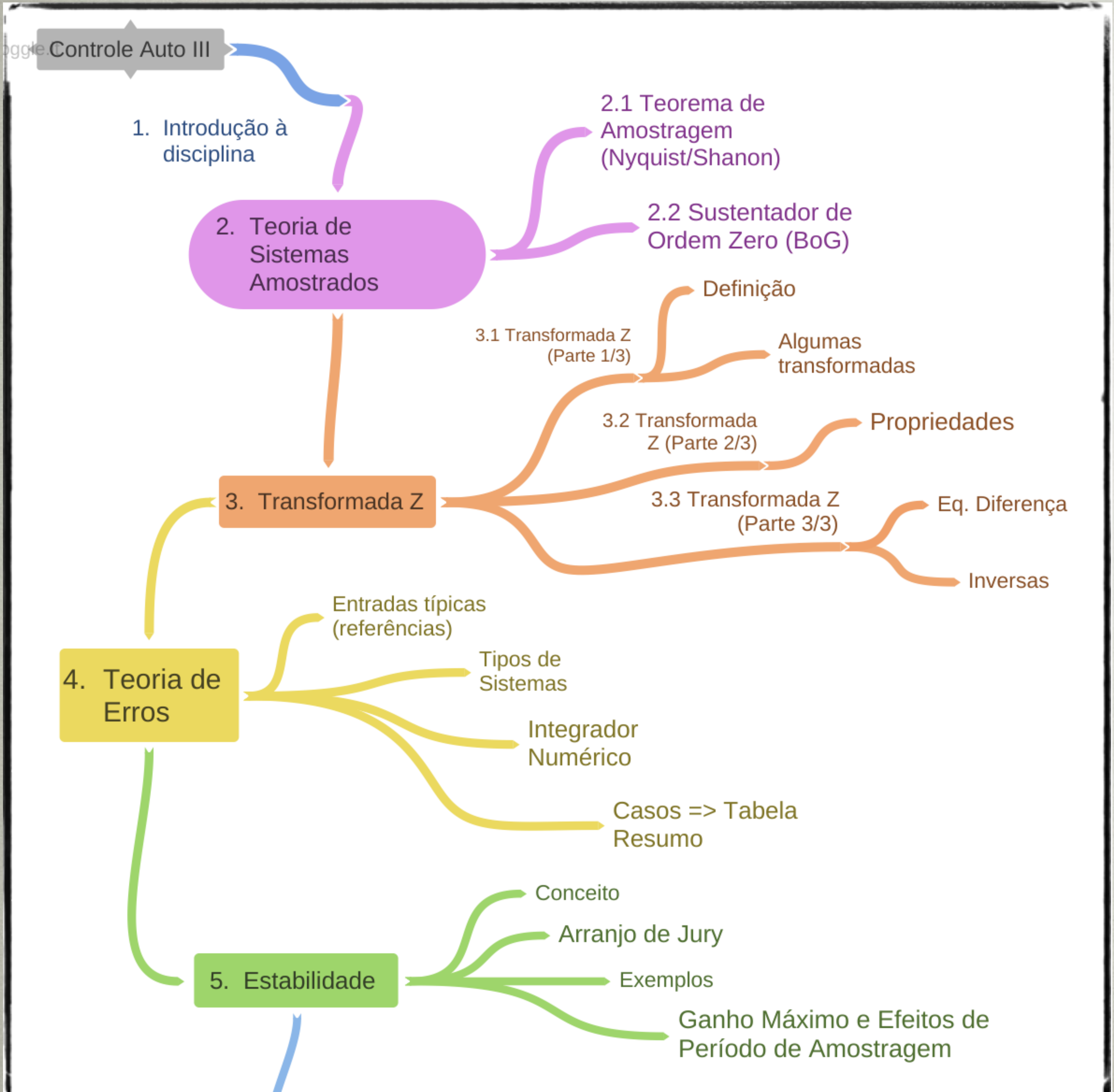
Desenvolvimento da Teoria

1. **Teorema de Amostragem**: sistemas controlados por computador são operados somente em instantes de tempo discretos. Então sob quais condições um sinal pode ser recuperado a partir de seus pontos discretos? Teorias de Nyquist e Shanon!

2. **Equações de diferença e análise numérica**: a teoria para sistemas amostrados está relacionada com análise numérica. Equações de diferenças substituem as equações diferencias (do mundo contínuo no tempo). Derivadas e integrais são aproximadas por diferenças e somas.

3. **Métodos de Transformada**: A transformada-Z substitui a transformadas de Laplace.

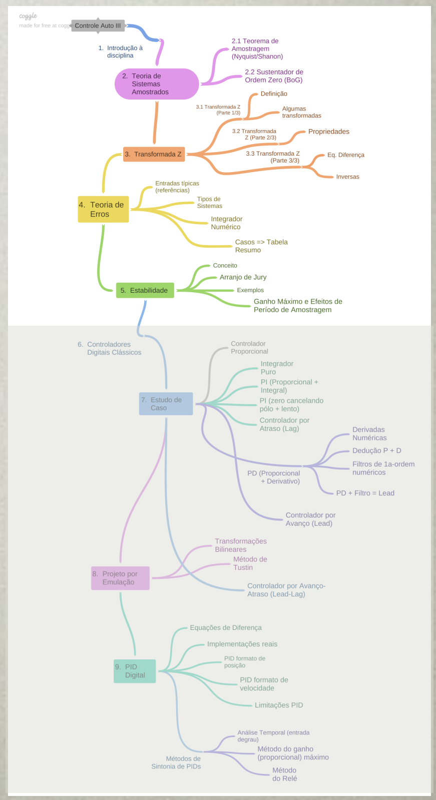
4. **Teoria de Espaço de Estados**: desenvolvida no final de 1950. Modelos no espaço de estados são representados no tempo discreto e considerados apenas nos instantes de amostragem.

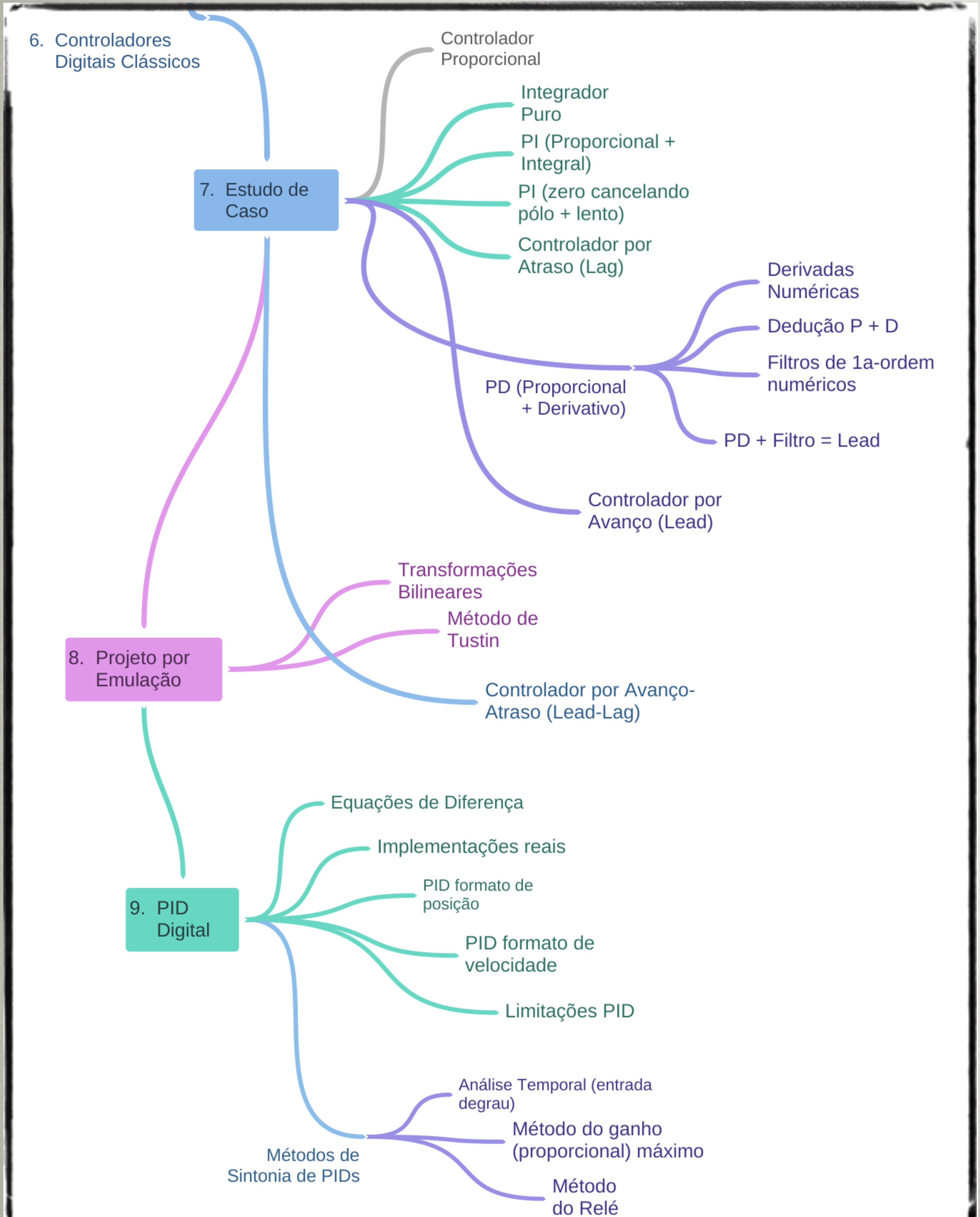


Sequencia prevista p/ aulas

1ª-Parte: Teoria de embasamento

> Trabalho 1





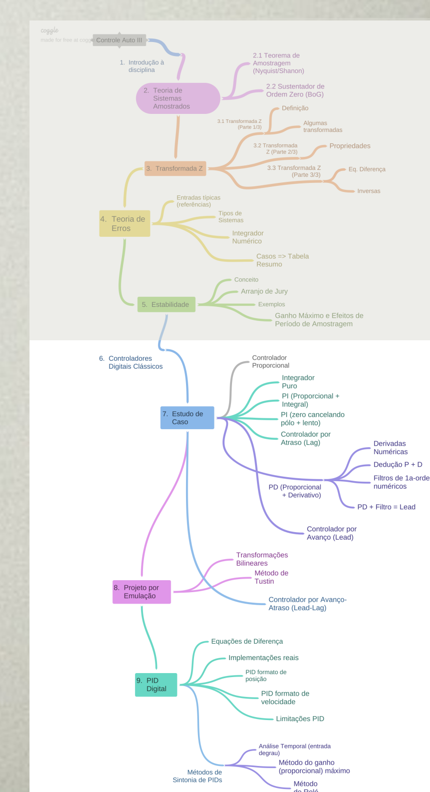
Sequencia prevista p/ aulas

2ª-Parte: Projeto de Controladores Clássicos no formato digital

> Trabalho II

\+

Prova (individual)



Material Aulas

- Controle III
  - Sistema Amostrado → Teorema Amostragem
  - Transformada Z
    - Parte 1/3
      - Definições
      - Limitações
      - Algumas transformadas
    - Parte 2/3
      - Respostas sinais padrão x^k
      - Cont. algumas transformadas
      - Propriedades
    - Parte 3/3
      - Transformada Z Inversa → Método da Divisão Longa; Expansão Frações Parciais
      - Tabela de transformadas (plano s e plano z)
      - Exemplos
    - Equações de diferença
    - Sustentador de ordem zero ($B_0G(z)$)

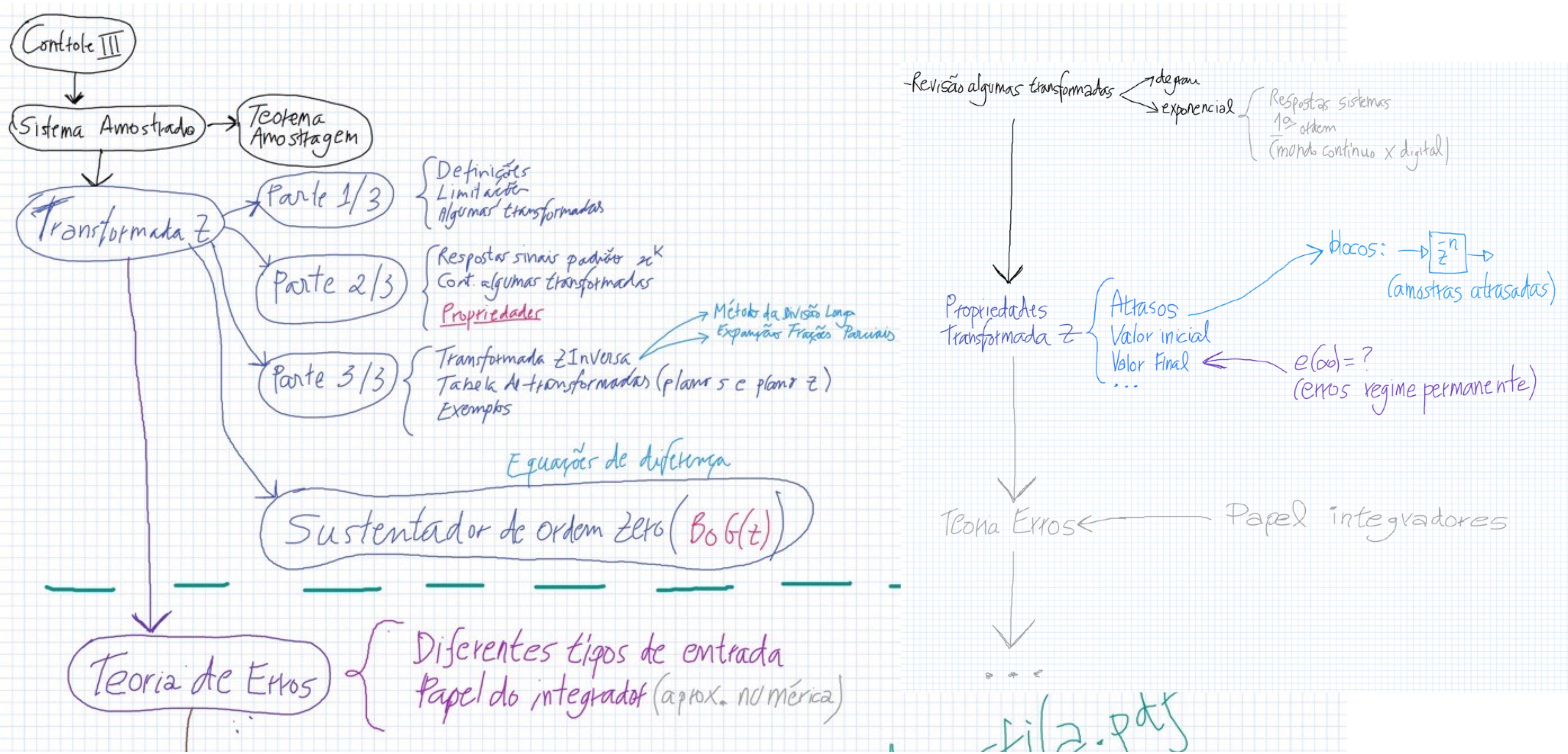
Parte Introdutória (base)

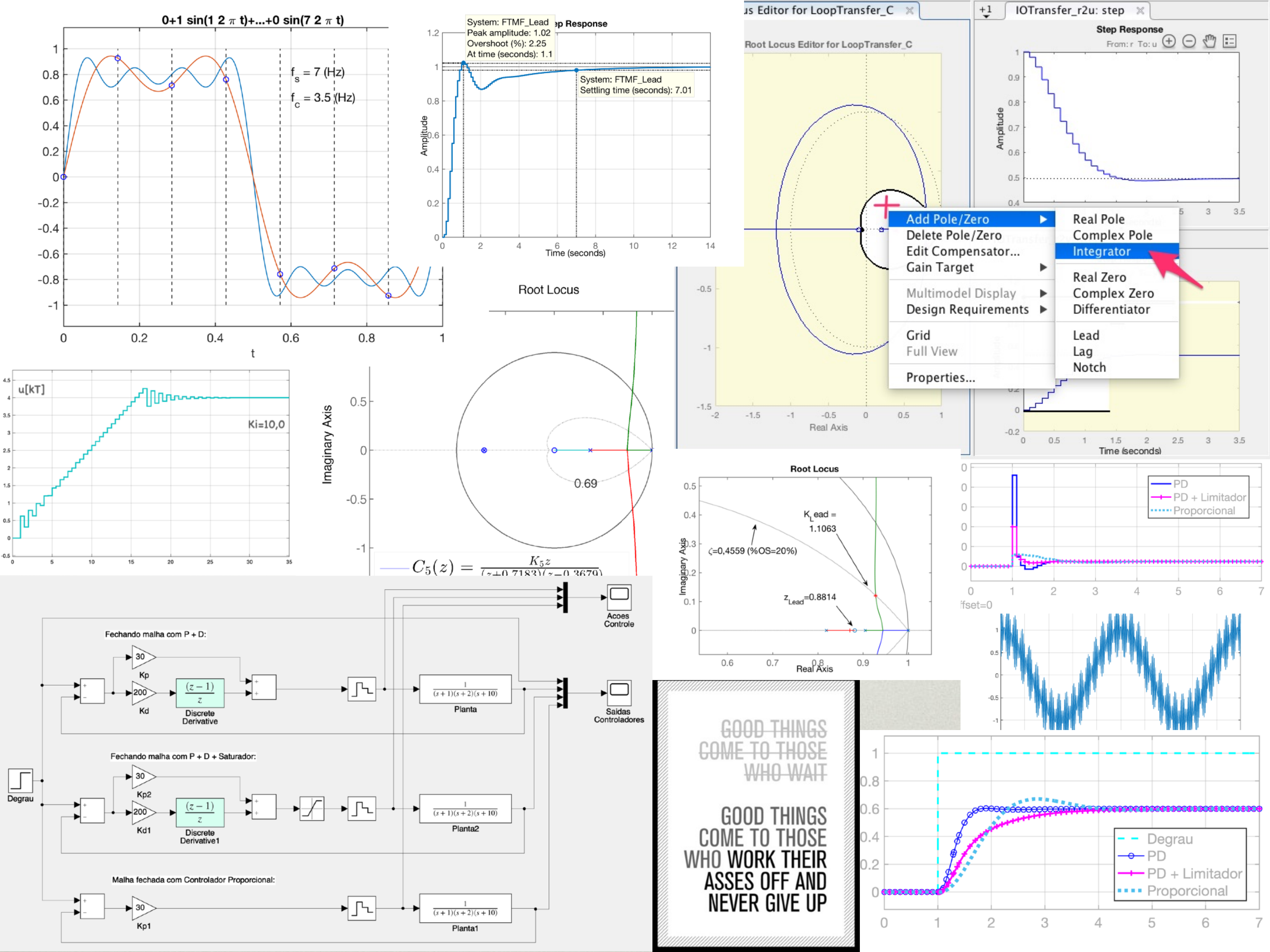
- Teoria de Erros
  - Diferentes tipos de entrada
  - Papel do integrador (aprox. numérica)
- Estabilidade → Método de Yuri (similar Routh-Hurwitz)

Apostila.pdf

- Projeto de Controladores ← Estudo de Caso de Controladores

Material Aulas





0+1 sin(1 2 π t)+...+0 sin(7 2 π t)
f_s = 7 (Hz)
f_c = 3.5 (Hz)
t
Step Response
System: FTMF_Lead
Peak amplitude: 1.02
Overshoot (%): 2.25
At time (seconds): 1.1
System: FTMF_Lead
Settling time (seconds): 7.01
Amplitude
Time (seconds)
Root Locus Editor for LoopTransfer_C
IOTransfer_r2u: step
Step Response
From: r To: u
Add Pole/Zero
Delete Pole/Zero
Edit Compensator...
Gain Target
Multimodel Display
Design Requirements
Grid
Full View
Properties...
Real Pole
Complex Pole
Integrator
Real Zero
Complex Zero
Differentiator
Lead
Lag
Notch
Real Axis
Time (seconds)
u[kT]
Ki=10,0
Root Locus
Imaginary Axis
0.69
$C_5(z) = \frac{K_5 z}{(z+0.7183)(z-0.3679)}$
Root Locus
K_Lead = 1.1063
ζ=0,4559 (%OS=20%)
z_Lead=0.8814
Imaginary Axis
Real Axis
PD
PD + Limitador
Proporcional
Fechando malha com P + D:
Kp
Kd
Discrete Derivative
Planta
Acoes Controle
Saidas Controladores
Fechando malha com P + D + Saturador:
Kp2
Kd1
Discrete Derivative1
Planta2
Degrau
Malha fechada com Controlador Proporcional:
Kp1
Planta1
GOOD THINGS
COME TO THOSE
WHO WAIT
GOOD THINGS
COME TO THOSE
WHO WORK THEIR
ASSES OFF AND
NEVER GIVE UP
Degrau
PD
PD + Limitador
Proporcional