



Universidade de São Paulo (USP), Escola
de Engenharia de Lorena (EEL),
Curso de Engenharia Física



Circuitos Elétricos - teoria e prática (LOM3262)

Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez

**Lorena-SP
2025/2**



- Introdução a sinais e sistemas;**
- Sistemas invariantes no tempo;**
- Linearidade, SLIT;**
- Exemplos de circuitos elétricos.**



**Biotecnologia; Robótica;
Impressão 3D; IA;
Novos materiais; IoT.**



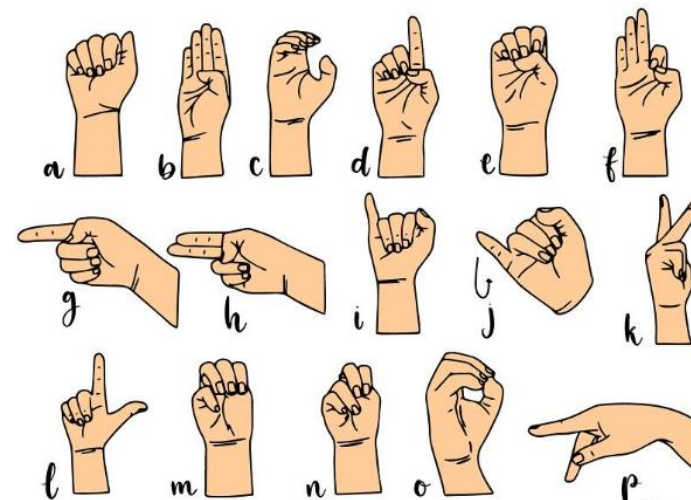




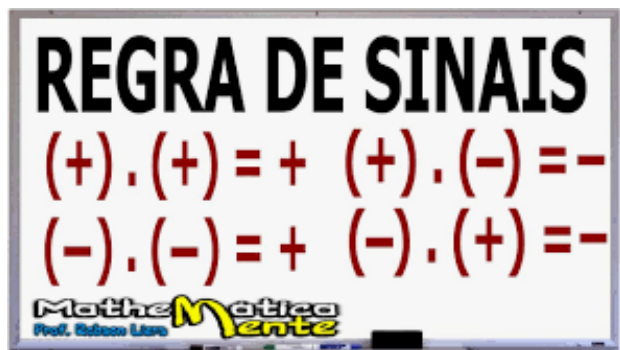
O que é um sinal ?



<https://tabelademultas.com.br/significados-das-placas-de-transito/>



<https://educalibras.com.br/libras/como-aprender-libras-sozinho-4-passos-essenciais/>



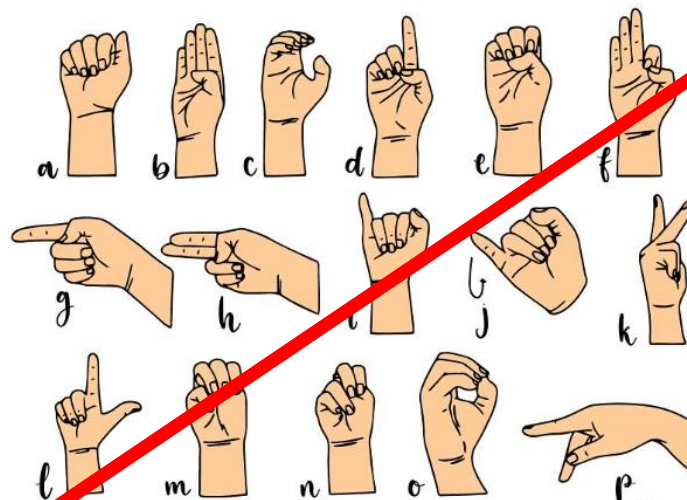
https://www.youtube.com/watch?v=2gQHH_Z8Zxc



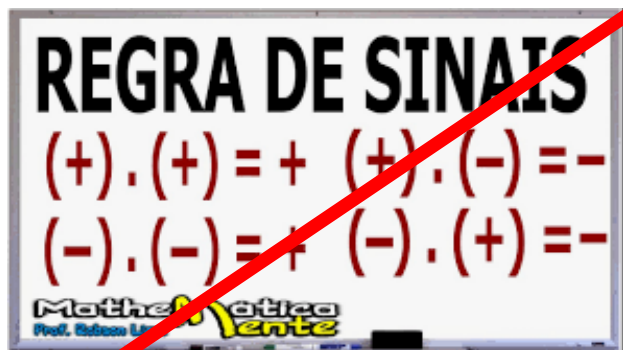
<https://www.allureclinic.pt/blog/dermatologia/quando-pode-remover-um-sinal-da-pele-e-quais-os-tratamentos/>



<https://tabelademultas.com.br/significados-das-placas-de-transito/>



<https://educalibras.com.br/libras/como-aprender-libras-sozinho-4-passos-essenciais/>



https://www.youtube.com/watch?v=2gQHH_Z8Zxc



<https://www.allureclinic.pt/blog/dermatologia/quando-pode-remover-um-sinal-da-pele-e-quais-os-tratamentos/>



O que é um sinal ?

-É um **conjunto de dados**;



O que é um sinal ?

- É um **conjunto de dados**;
- Matematicamente, um sinal é representado por uma **função de uma ou mais variáveis**. O sinal veicula informação sobre a natureza de um fenômeno físico;



O que é um sinal ?

- É um **conjunto de dados**;
- Matematicamente, um sinal é representado por uma **função de uma ou mais variáveis**. O sinal veicula informação sobre a natureza de um fenômeno físico;
- Dependente de uma variável: **unidimensional**;
- Dependente de duas ou mais variáveis: **multidimensional**.



O que é um sinal ?

Exemplos:

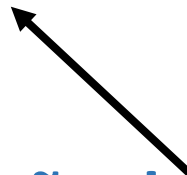
Função do tempo



Sinal de telefone, *sinal de TV*.

Carga elétrica distribuída sobre um corpo (densidade de carga).

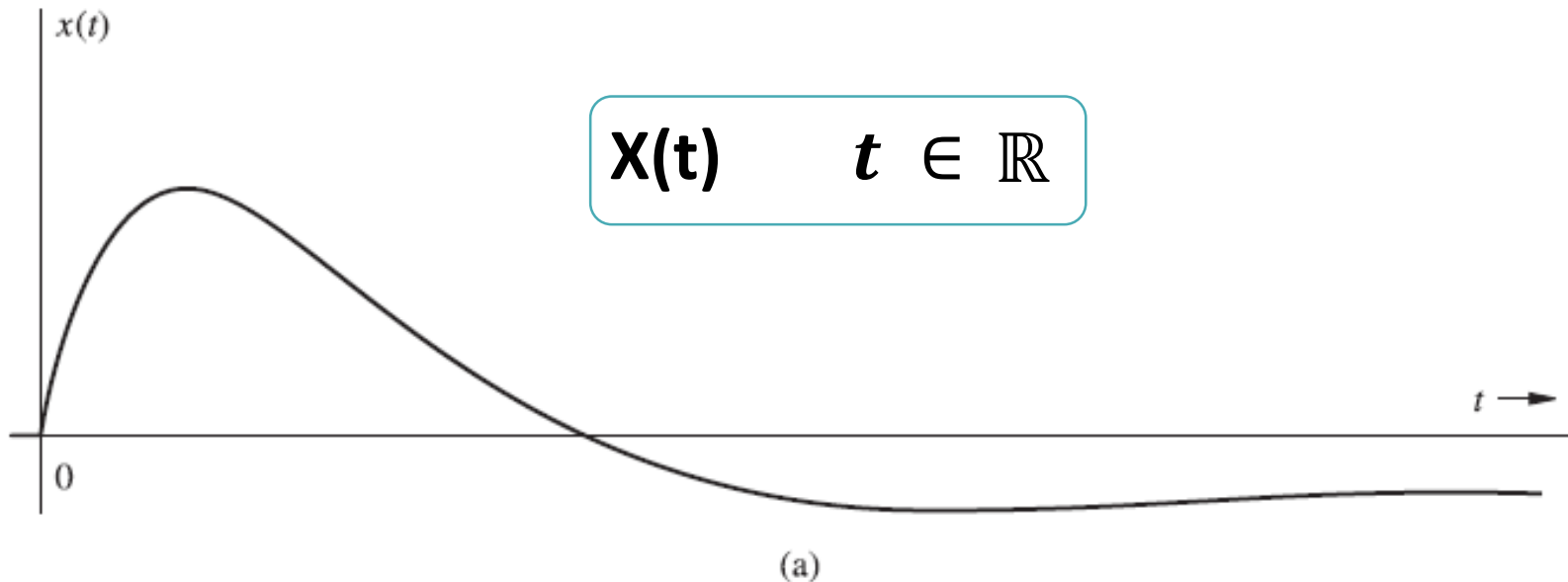
Função do espaço





Sinais contínuos ou discretos no tempo

Sinal contínuo no tempo



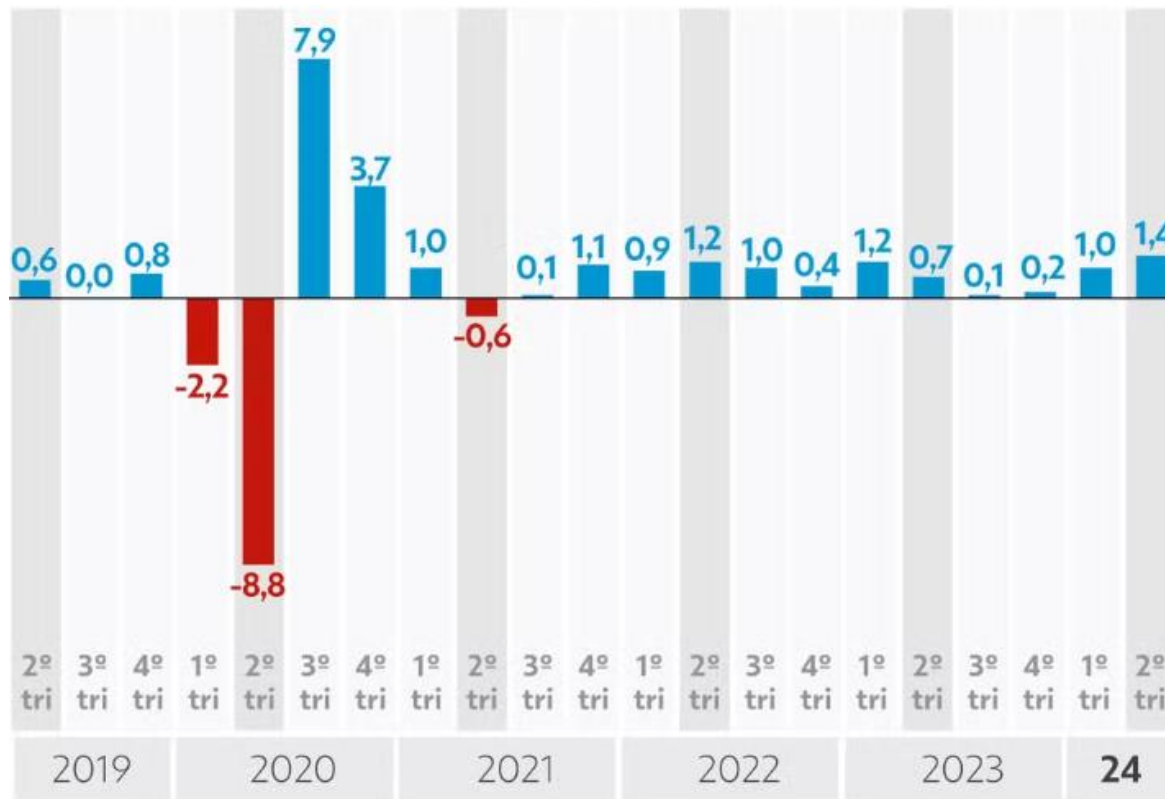
Um sinal que é especificado para valores contínuos de tempo t **é um sinal contínuo no tempo**

Um sinal cuja amplitude pode assumir qualquer valor em uma faixa contínua é um sinal contínuo.



Sinal discreto no tempo

PIB
trimestral
brasileiro



<https://g1.globo.com/economia/noticia/2024/09/03/pib-do-brasil-cresce-14percent-no-2-trimestre-de-2024-diz-ibge.shtml>

Um sinal especificado apenas para valores discretos de t é
um sinal discreto no tempo

$$X[n] \quad n \in \mathbb{Z}$$

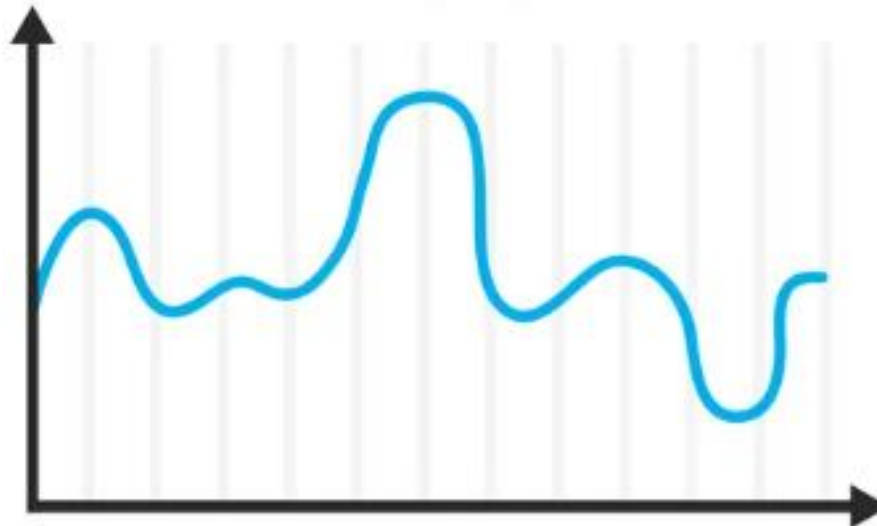


Sinais analógicos ou digitais



Sinal analógico

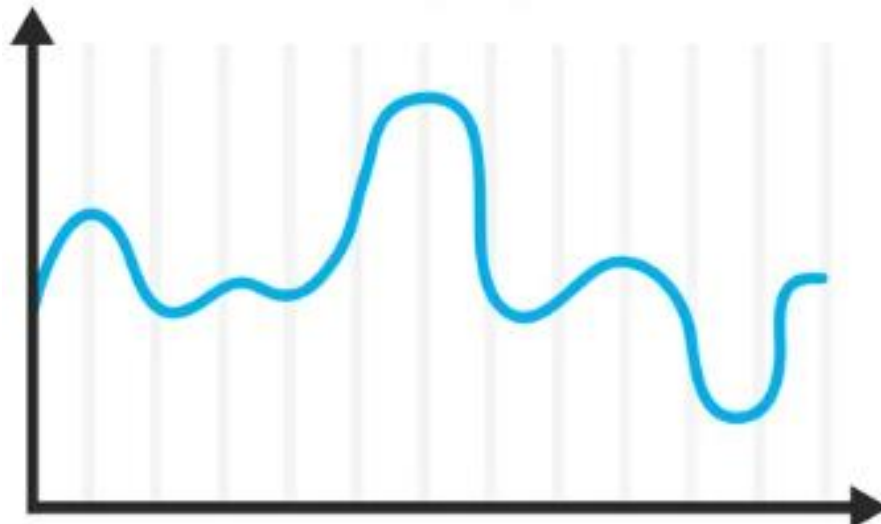
Sinais analógicos



<https://blog.peigenesis.com/understanding-different-types-of-electrical-signals-analog-digital>

Sinal analógico

Sinais analógicos



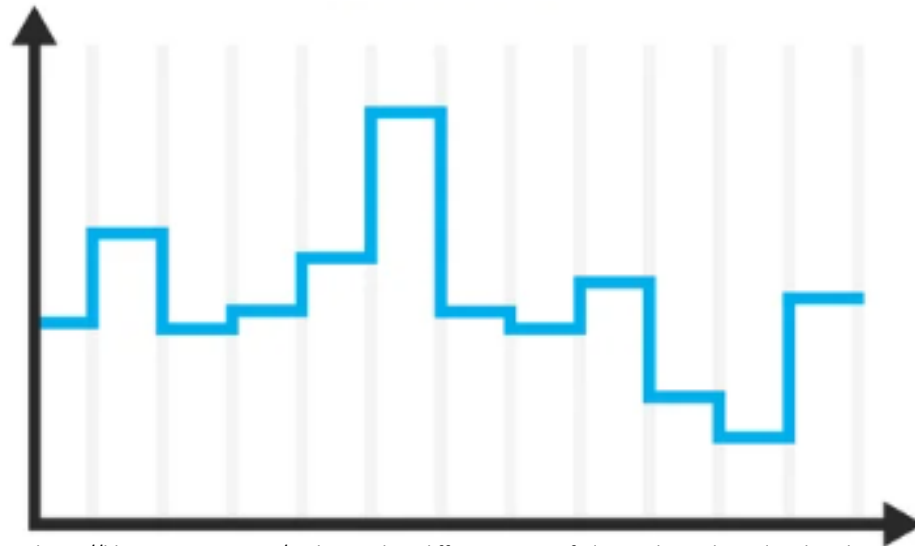
<https://blog.peigenesis.com/understanding-different-types-of-electrical-signals-analog-digital>

Um sinal analógico tem uma amplitude que pode assumir infinitos valores (tensão, corrente, pressão, *etc*).



Sinal digital

Sinais digitais

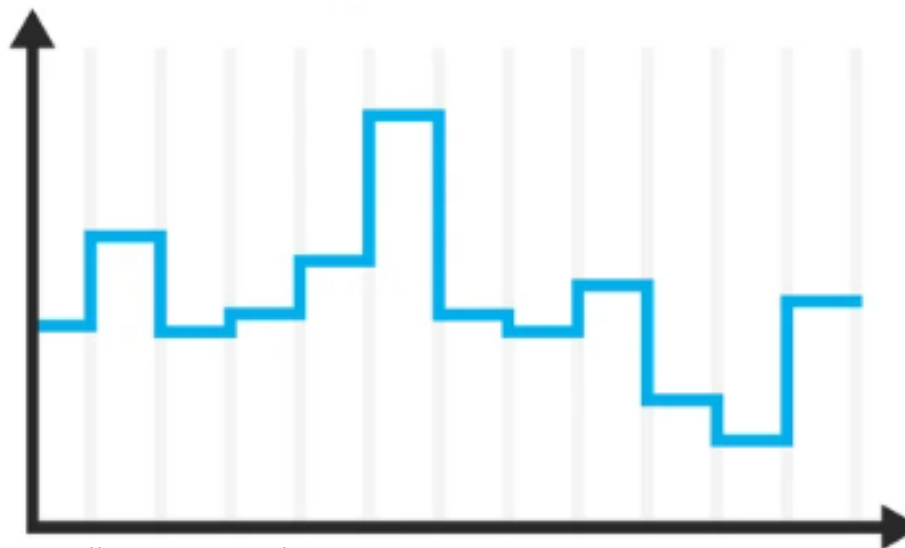


<https://blog.peigenesis.com/understanding-different-types-of-electrical-signals-analog-digital>



Sinal digital

Sinais digitais



<https://blog.peigenesis.com/understanding-different-types-of-electrical-signals-analog-digital>

Um sinal digital tem uma amplitude que pode assumir um número finito de valores (dados dentro dos PC).



Os **sinais** podem ser processados por **sistemas**, que podem modificá-los ou extrair informação adicional.



O que é um sistema ?



O que é um sistema ?

Um sistema é uma entidade que processa um conjunto de sinais (entradas) resultando em um outro conjunto de sinais (saídas). Um sistema pode ser construído com componentes físicos, elétricos, mecânicos ou sistemas hidráulicos (realização em **hardware**) ou pode ser um algoritmo que calcula uma saída de um sinal de entrada (realização em **software**).



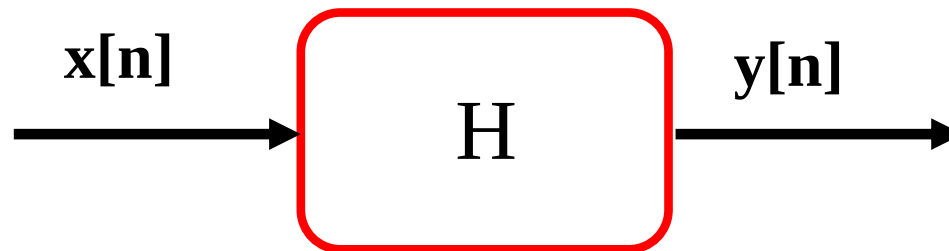
O que é um sistema ?

O sistema é governado pelas leis de interconexão.

Por exemplo, um **sistema elétrico** é **caracterizado** tanto pelas **relações tensão/corrente** para resistores, capacitores, indutores, transformadores, transistores, *etc*, quanto pelas **leis de interconexão** como as **leis de Kirchhoff**.



Representação do sistema



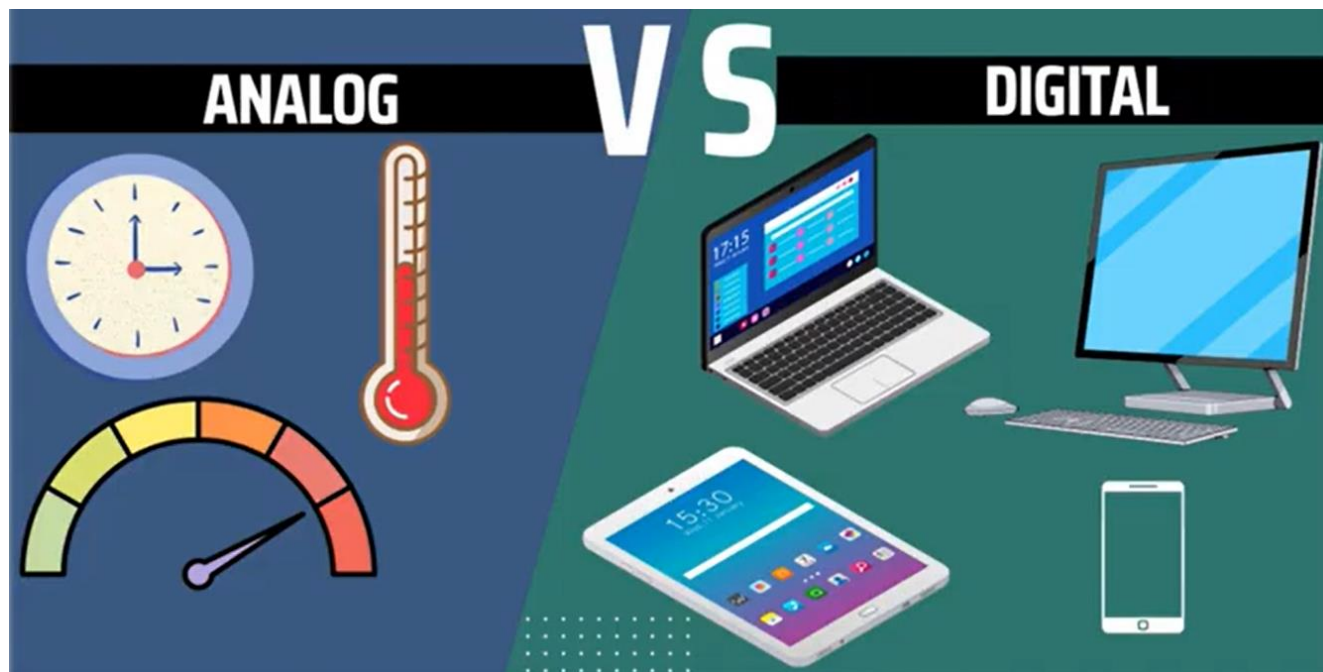
$$y[n] = H\{x[n]\}$$



Sistema analógico ou digital

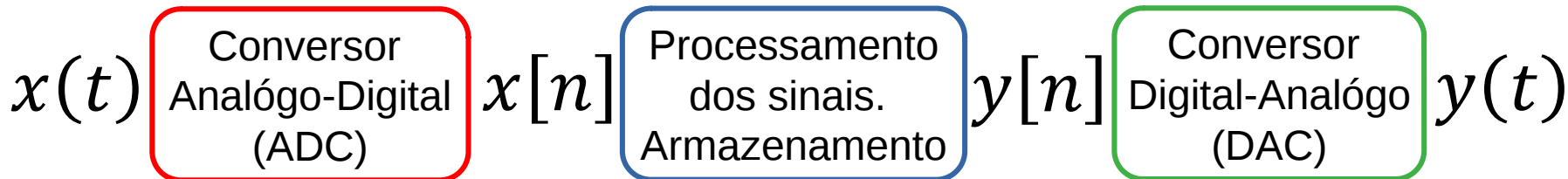
Sistema analógico ou digital

Um sistema cujos sinais de entrada e saída são analógicos é um **sistema analógico**. Um sistema cujos sinais de entrada e saída são digitais é um **sistema digital**.



<https://www.youtube.com/watch?v=BsMNU55Ct9E>

Sistema analógico ou digital



<https://www.audiotechmusic.com.br/audio/microfone-shure-55sh-ii>

O uso de sistemas digitais permite: maior capacidade de armazenamento dos dados, processamento, compressão, miniaturização dos dispositivos, rapidez, qualidade da informação, transmissão, etc.

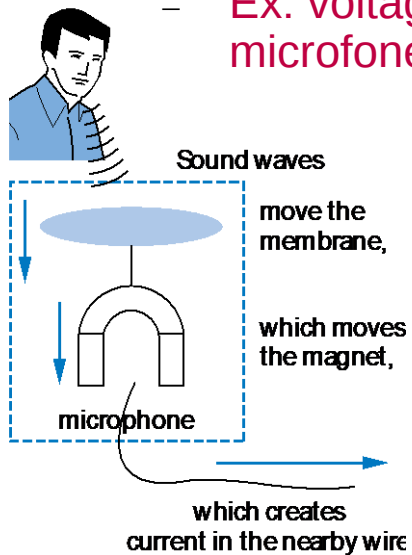


<https://www.novolare.com.br/caixa-de-som-amplificada-mondial-cm-150-150w-bluetooth-led>

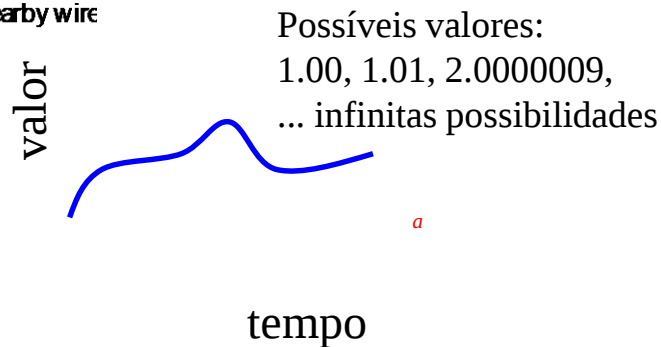
Sistema analógico ou digital

- **Sinais Analógicos**

- **Valores infinitos**
- Ex: voltagem em um fio de microfone

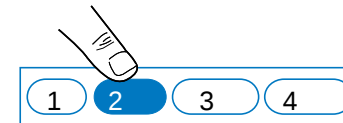


SINAL ANALÓGICO

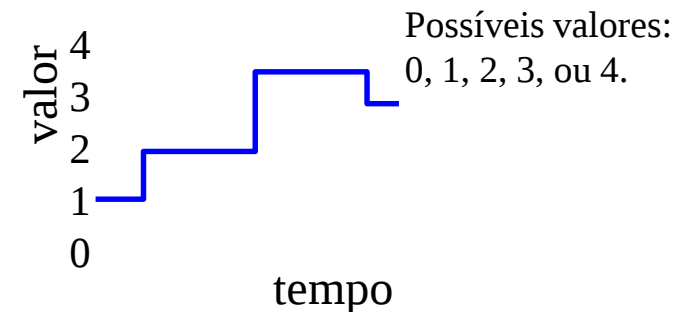


- **Sinais Digitais**

- Valores finitos
 - Ex: botão apertado



SINAL DIGITAL



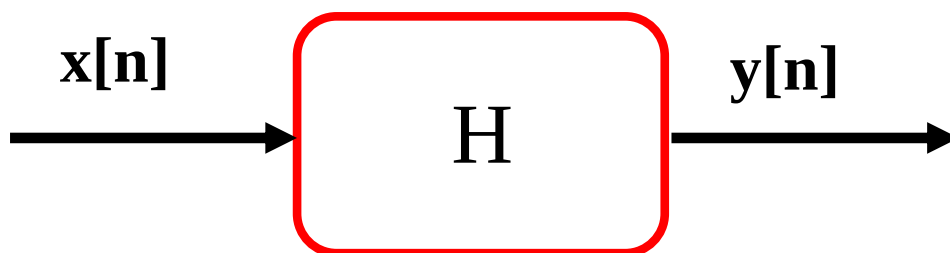


Sistema invariante no tempo



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

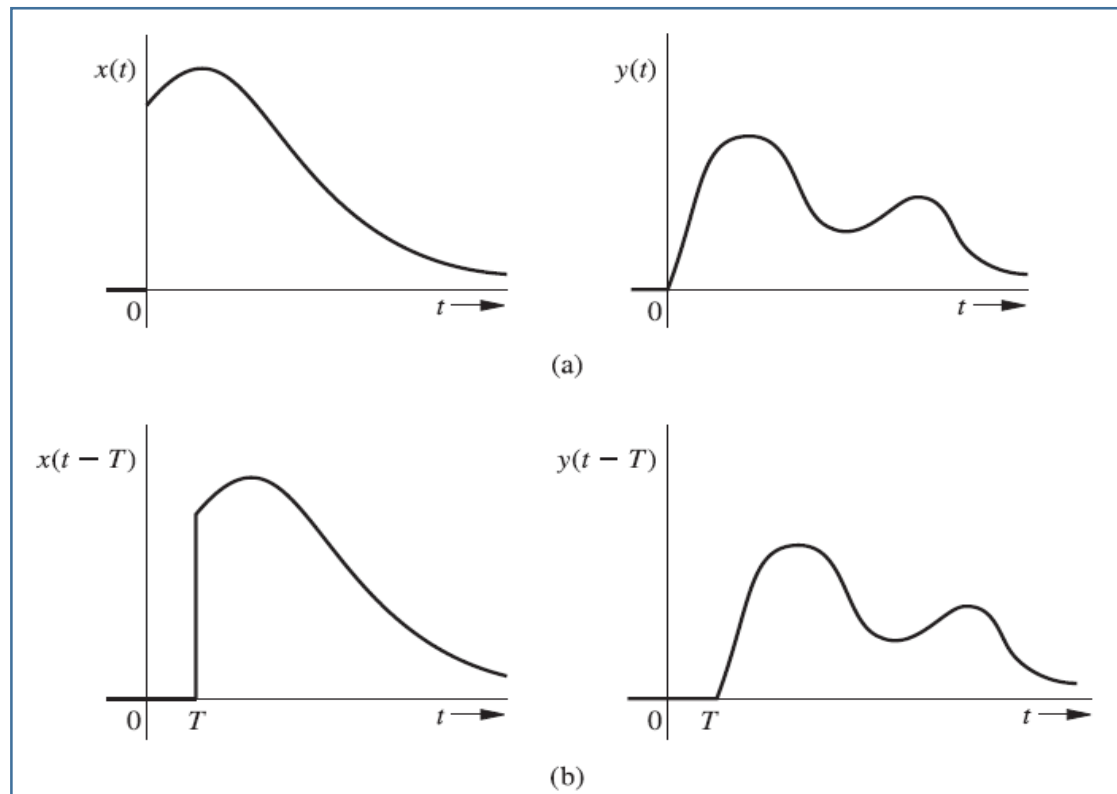


$$H\{x[n - n_0]\} = y[n - n_0]$$



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.





Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

Exemplo: $y[n] = x[n - 1] + 4$



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

Exemplo: $y[n] = x[n - 1] + 4$

$$= H\{x[n]\}$$

**Definição
do sistema**



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

Exemplo: $y[n] = x[n - 1] + 4 = H\{x[n]\}$

Deslocamento na entrada:

$$H\{x[n - n_0]\}$$

$$= x[n - n_0 - 1] + 4$$



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

Exemplo: $y[n] = x[n - 1] + 4 = H\{x[n]\}$

Deslocamento na entrada:

$$H\{x[n - n_0]\}$$

$$= x[n - n_0 - 1] + 4$$

Deslocamento na saída:

$$y[n - n_0]$$

$$= x[n - n_0 - 1] + 4$$



Sistema invariante no tempo

Um **sistema é invariante no tempo** se um deslocamento no tempo do sinal de entrada resultar em um deslocamento idêntico no sinal de saída.

Exemplo: $y[n] = x[n - 1] + 4 = H\{x[n]\}$

Deslocamento na entrada:

$$H\{x[n - n_0]\}$$

$$= x[n - n_0 - 1] + 4$$

Deslocamento na saída:

$$y[n - n_0]$$

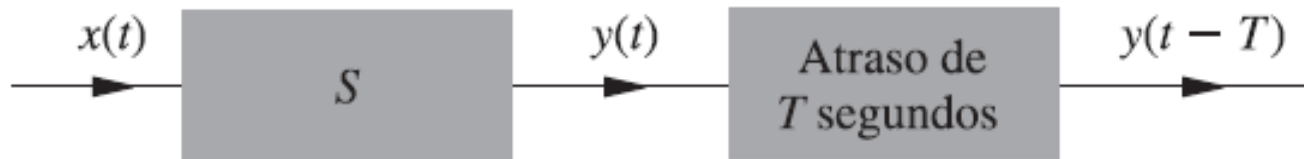
$$= x[n - n_0 - 1] + 4$$

Logo, o **sistema é invariante no tempo**



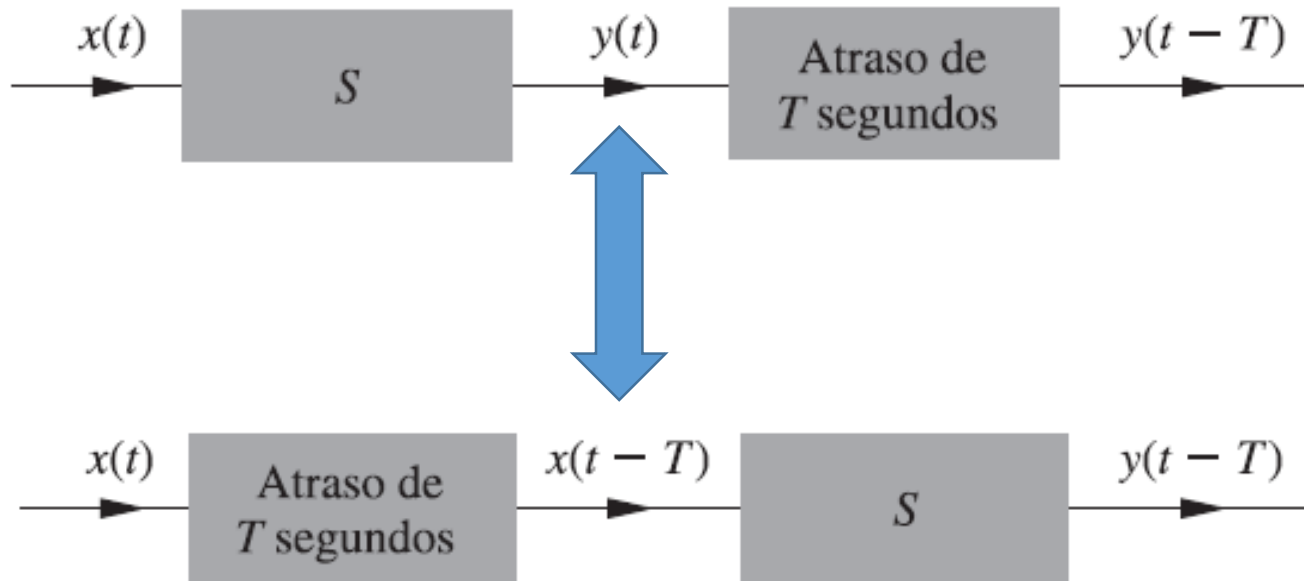
Sistema invariante no tempo

Sistemas cujos **parâmetros não são alterados com o tempo** são invariantes no tempo (sistemas com **parâmetros constantes**). Se a entrada for atrasada por T s., a saída é a **mesma anterior, porém tb atrasada por T s.** (condições iniciais também atrasadas T s.).



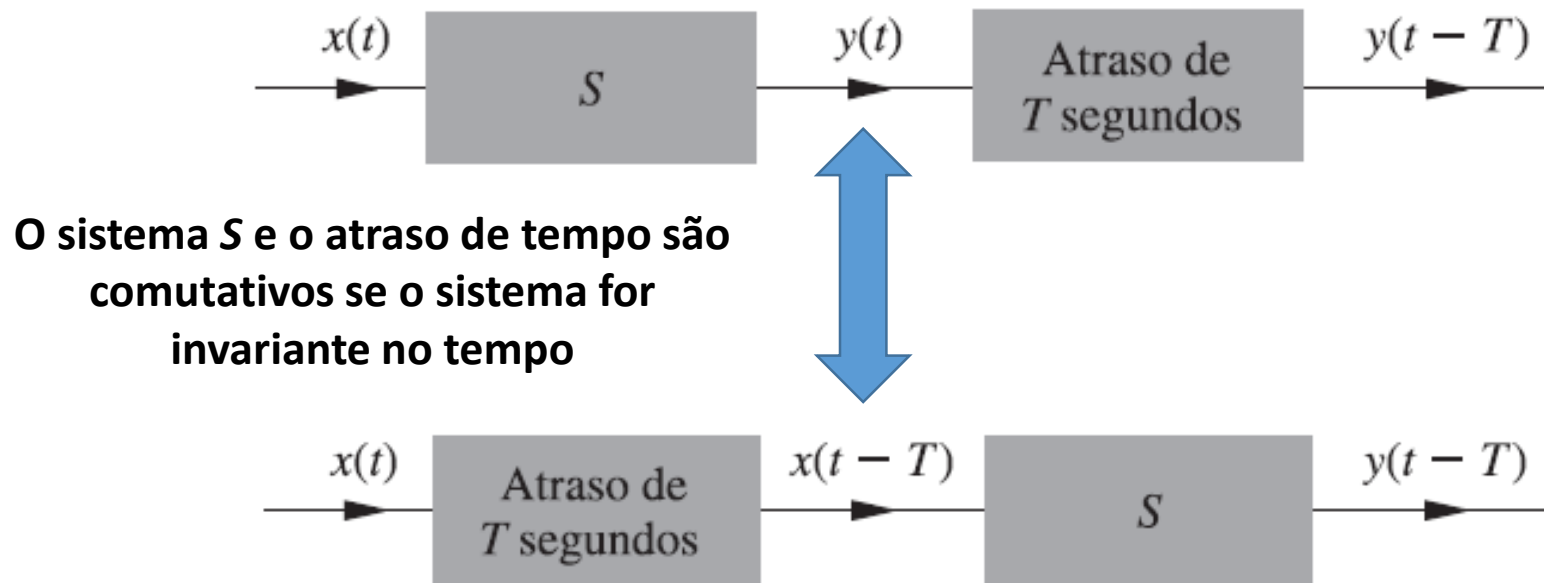
Sistema invariante no tempo

Sistemas cujos **parâmetros não são alterados com o tempo** são invariantes no tempo (sistemas com **parâmetros constantes**). Se a entrada for atrasada por T s., a saída é a **mesma anterior, porém tb atrasada por T s.** (condições iniciais também atrasadas T s.).



Sistema invariante no tempo

Sistemas cujos **parâmetros não são alterados com o tempo** são invariantes no tempo (sistemas com **parâmetros constantes**). Se a entrada for atrasada por T s., a saída é a **mesma anterior, porém tb atrasada por T s.** (condições iniciais também atrasadas T s.).





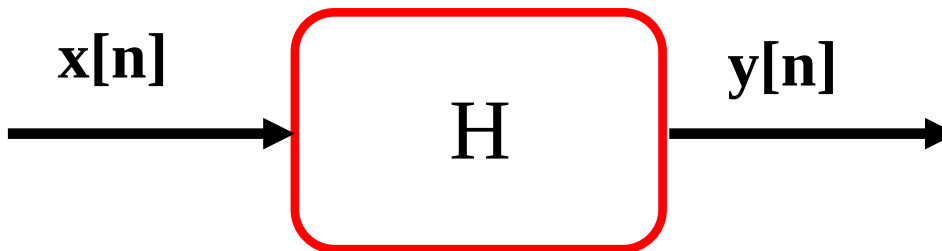
Sistema linear



Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.



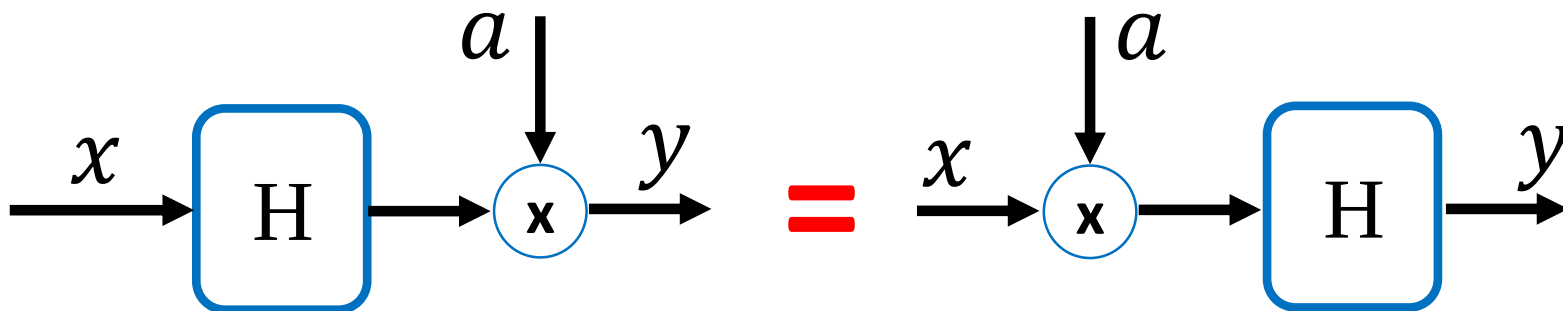


Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e Aditividade.

$$aH\{x[n]\} = H\{ax[n]\}$$



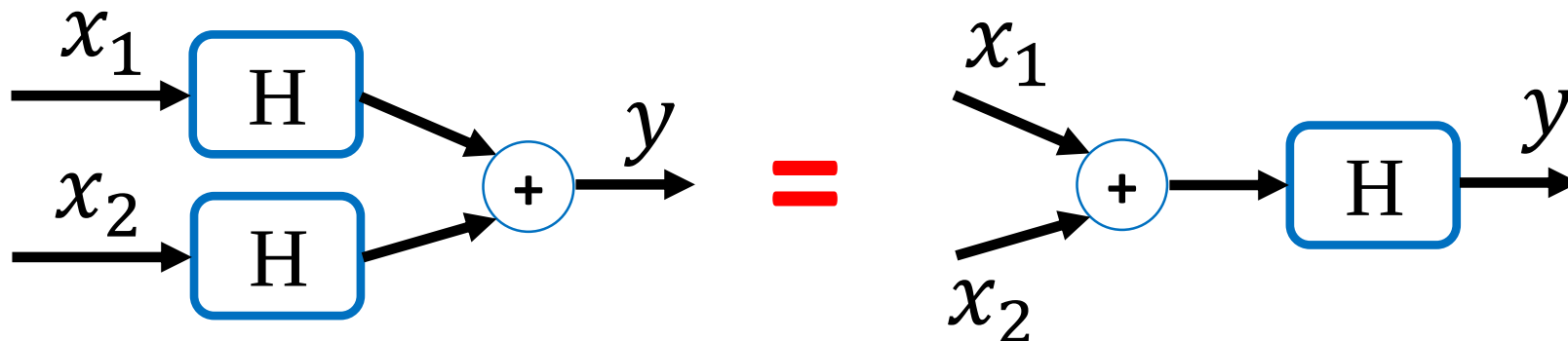


Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Homogeneidade e **Aditividade**.

$$H\{x_1[n]\} + H\{x_2[n]\} = H\{x_1[n] + x_2[n]\}$$





Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t)$



Sistema linear

Linearidade: um **sistema é linear** quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando homogeneidade:

$$aH\{x(t)\}$$

$$H\{ax(t)\}$$



Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando homogeneidade:

$$\begin{aligned} aH\{x(t)\} \\ = a(t x(t)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H\{ax(t)\} \\ = t(ax(t)) \end{aligned}$$



Sistema linear

Linearidade: um **sistema é linear** quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando homogeneidade:

$$aH\{x(t)\}$$

$$= a(t x(t))$$

$$=$$

$$H\{ax(t)\}$$

$$= t(ax(t))$$

Portanto, o **sistema é homogêneo**



Sistema linear

Linearidade: um **sistema é linear** quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando aditividade:

$$H\{x_1(t)\} + H\{x_2(t)\} \qquad H\{x_1(t) + x_2(t)\}$$



Sistema linear

Linearidade: um **sistema é linear** quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando aditividade:

$$\begin{array}{ll} H\{x_1(t)\} + H\{x_2(t)\} & H\{x_1(t) + x_2(t)\} \\ = tx_1(t) + tx_2(t) & = t(x_1(t) + x_2(t)) \end{array}$$



Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Testando aditividade:

$$H\{x_1(t)\} + H\{x_2(t)\}$$

$$= tx_1(t) + tx_2(t)$$

$$=$$

$$H\{x_1(t) + x_2(t)\}$$

$$= t(x_1(t) + x_2(t))$$

Portanto, o **sistema é aditivo**



Sistema linear

Linearidade: um sistema é linear quando são válidos os princípios da **superposição**:

Exemplo: $y(t) = t x(t) = H\{x(t)\}$

Como o sistema:

É homogêneo e aditivo

Então, **O SISTEMA É LINEAR**



Sistema linear

Linearidade:

Equação Diferencial Ordinária (EDO): Apenas uma variável independente.

Uma **EDO é linear** se $a_0(t), a_1(t), \dots a_n(t)$, e $b_0(t), b_1(t), \dots b_m(t)$ **são constantes ou dependem apenas de t .**

$$\begin{aligned} & a_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y(t) \\ &= b_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x(t) \end{aligned}$$



Sistemas Lineares e Invariantes no Tempo (SLIT)



SLIT

Um **SLIT** cumpre com a condição de ser **invariante no tempo e linear**;

Sistemas cujos **parâmetros não são alterados com o tempo**. Estes também são chamados de **sistemas com parâmetros constantes**;

Por exemplo, uma **equação diferencial ordinária** pode representar a relação entrada/saída de um SLIT.



SLIT

Uma **EDO** representa um **SLIT** se os **coeficientes** $a_0(t)$, $a_1(t)$, ... $a_n(t)$, e $b_0(t)$, $b_1(t)$, ... $b_m(t)$, **são constantes**.

$$\begin{aligned} & \mathbf{a}_n \frac{d^n y(t)}{dt^n} + \mathbf{a}_{n-1} \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \cdots + \mathbf{a}_0 y(t) \\ &= \mathbf{b}_m \frac{d^m x(t)}{dt^m} + \mathbf{b}_{m-1} \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \cdots + \mathbf{b}_0 x(t) \end{aligned}$$



Exemplos de circuitos elétricos.

Introdução.



Exemplos de circuitos elétricos

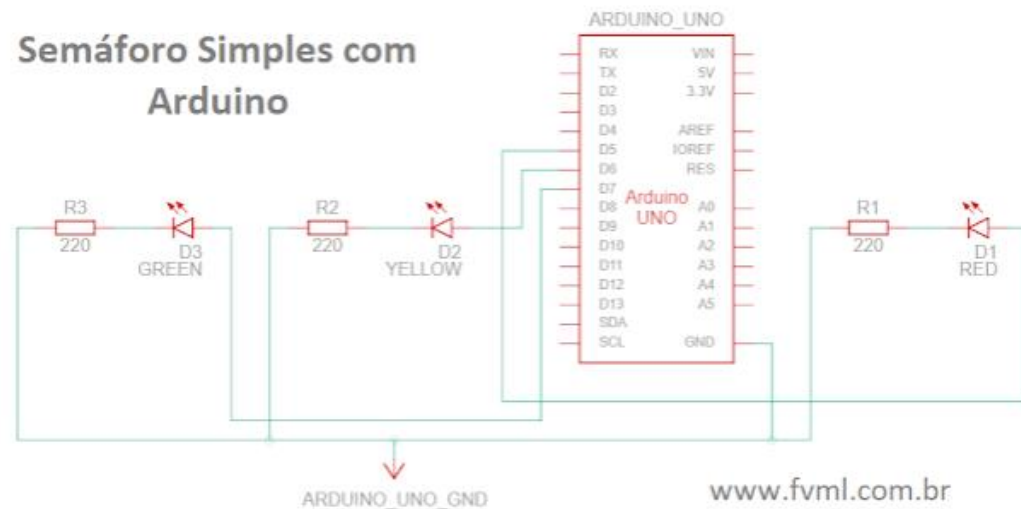
A **teoria de circuitos elétricos** é básica para muitos ramos das engenharias;

Placa de circuito do telefone celular com elementos eletrônicos



<https://pt.dreamstime.com/foto-de-stock-placa-de-circuito-do-telefone-celular-com-elementos-eletr-nicos-image81846533>

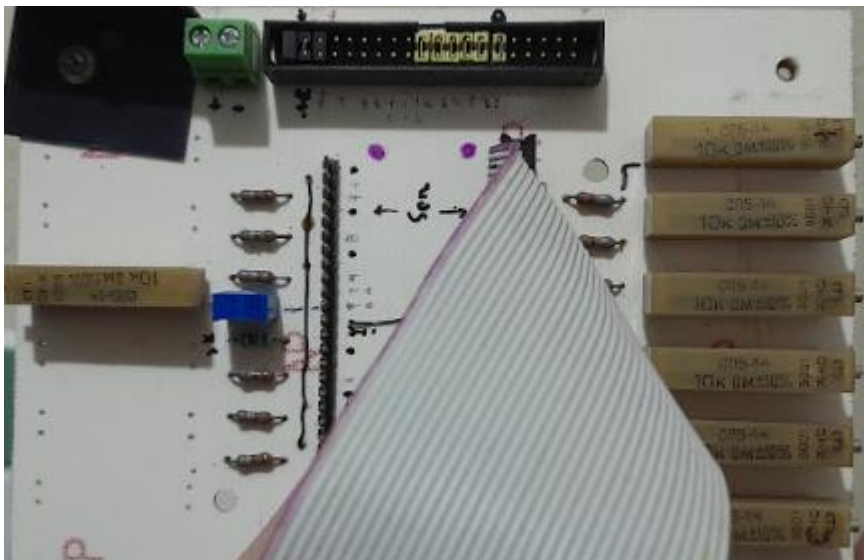
Esquemático do circuito do Semáforo Simples com Arduino e LEDs



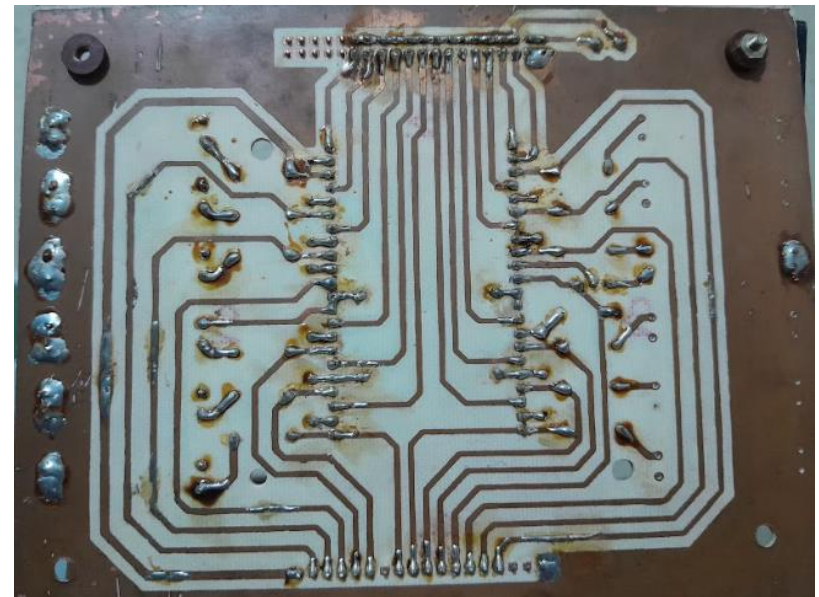
<https://www.fvml.com.br/2023/05/semaforo-simples-com-arduino-e-leds.html>

Exemplos de circuitos elétricos

PCB de circuito de condicionamento eletrônico para sensores de gases (frente e verso)



Próprio autor



Próprio autor



Exemplos de circuitos elétricos

Robô Opportunity



https://es.wikipedia.org/wiki/Opportunity#/media/Arquivo:NASA_Mars_Rover.jpg

Drones



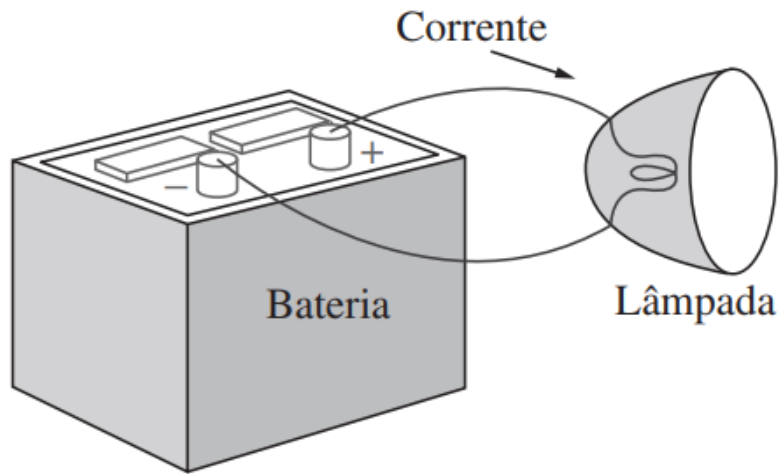
<https://www.dji.com/br/camera-drones>

Táxi elétrico autônomo



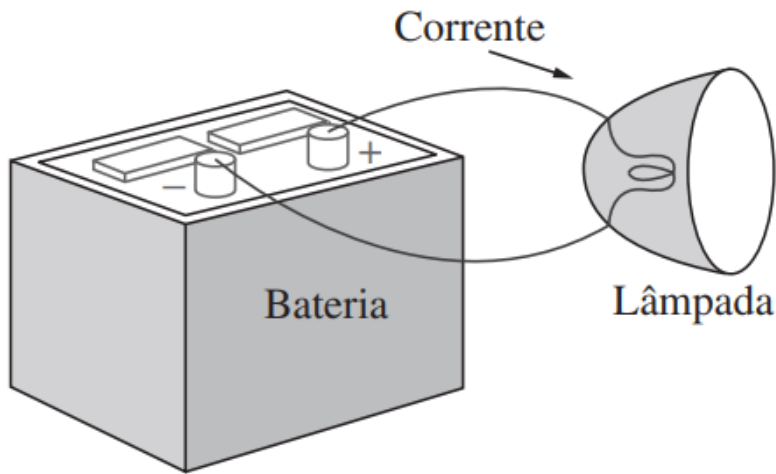
https://brasil.elpais.com/brasil/2016/08/25/tecnologia/1472127872_211990.html

Introdução de circuitos elétricos



Circuito elétrico simples

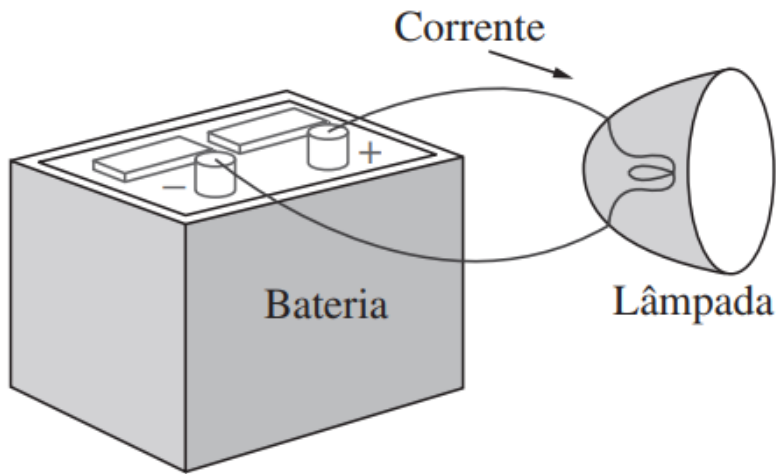
Introdução de circuitos elétricos



Circuito elétrico simples

O que é um circuito elétrico ?

Introdução de circuitos elétricos

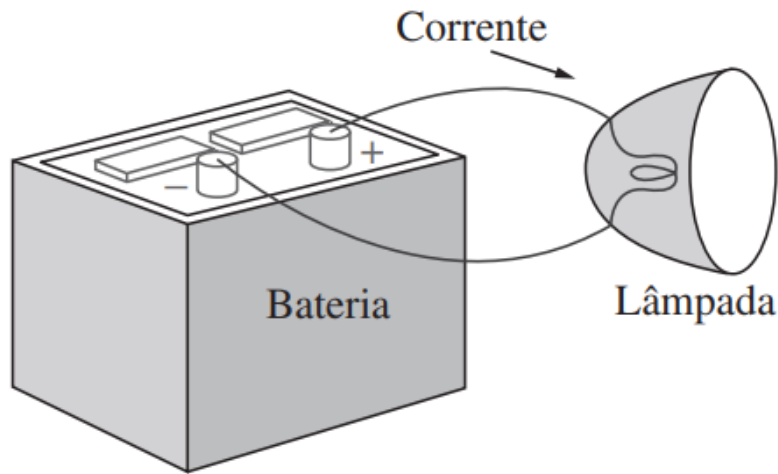


Circuito elétrico simples

O que é um circuito elétrico ?

Interconexão de elementos elétricos.

Introdução de circuitos elétricos



Circuito elétrico simples

O que é um circuito elétrico ?

Interconexão de elementos elétricos.

Modelo matemático que descreve de forma aproximada o comportamento de determinado sistema elétrico.



Sistema internacional de unidades

Os engenheiros lidam com quantidades mensuráveis, tipicamente com **variáveis quantitativas**, que devem ser **padronizadas**.



Grandeza física	Unidade básica	Símbolo
Comprimento	metro	m
Massa	quilograma	kg
Tempo	segundo	s
Corrente elétrica	Ampère	A
Temperatura termodinâmica	kelvin	K
Intensidade luminosa	candela	cd
Carga	coloumb	C



Sistema internacional de unidades

É importante utilizar as unidades adequadas de medição, como segundos, metros, ampere, *etc.* Ao examinar dados devemos observar a informação proporcionada considerando as unidades de medida utilizadas.

Obvio

10-1-99 THE ASSOCIATED PRESS/ GUY LAWRENCE FOR THE NEW YORK TIMES



Remember the Mars Climate Orbiter incident from 1999?



Notação científica e de engenharia

Em ciência e engenharia, frequentemente são utilizados **números muito pequenos** ou **muito grandes**, que podem ser expressos por uma das seguintes notações:

- **Notação científica;**

Número em potência de 10 com um único dígito diferente de zero à esquerda do ponto decimal.



Notação científica e de engenharia

Em ciência e engenharia, frequentemente são utilizados **números muito pequenos** ou **muito grandes**, que podem ser expressos por uma das seguintes notações:

- **Notação de engenharia;**

Número utilizando determinadas potências de 10.



Notação científica e de engenharia

- Notação de engenharia;

Potência**de 10****Prefixo****Símbolo** 10^{24}

yotta

Y

 10^{21}

zetta

Z

 10^{18}

exa

E

 10^{15}

peta

P

 10^{12}

tera

T

 10^9

giga

G

 10^6

mega

M

 10^3

quilo

k

 10^{-3}

mili

m

 10^{-6}

micro

 μ 10^{-9}

nano

n

 10^{-12}

pico

p

 10^{-15}

femto

f

 10^{-18}

atto

a

 10^{-21}

zepto

z

 10^{-24}

yocto

y

Prefixos adotados no SI



Unidades métricas nos sistemas computacionais

Quadro 1.1: Unidades de medida de armazenamento (em *bytes*)

Expoente	Unidade	Abreviatura	Valor explícito
2^0	<i>byte</i>	1 B	1 <i>byte</i> ou 8 <i>bits</i>
2^{10}	<i>kilobyte</i>	1 KB	1.024 <i>bytes</i>
2^{20}	<i>megabyte</i>	1 MB	1.048.576 <i>bytes</i> ou 1024 KB
2^{30}	<i>gigabyte</i>	1 GB	1.073.741.824 <i>bytes</i> ou 1024 MB
2^{40}	<i>terabyte</i>	1 TB	1.099.511.627.776 <i>bytes</i> ou 1024 GB
2^{50}	<i>petabyte</i>	1 PB	1.125.899.906.842.624 <i>bytes</i> ou 1024 TB
2^{60}	<i>exabyte</i>	1 EB	1.152.921.504.606.846.976 <i>bytes</i> ou 1024 PB
2^{70}	<i>zetabyte</i>	1 ZB	1.180.591.620.717.411.303.424 <i>bytes</i> ou 1024 EB
2^{80}	<i>yotabyte</i>	1 YB	1.208.925.819.614.629.174.706.176 <i>bytes</i> ou 1024 ZB



Exercícios

1. Dada a seguinte equação que representa um sistema, determine se este sistema é variante ou invariante no tempo:

$$y(t) = x(t) \cos(t)$$



Exercícios

2. Considere um certo sistema S especificado pela seguinte equação:

$$y(t) = e^{-t} x(t)$$

Utilizando a propriedade de que os sistemas invariantes no tempo e a operação atraso no tempo são comutativos, determine se o sistema S é invariante no tempo.



Exercícios

3. Verifique se o sistema definido pela equação abaixo é linear.

$$y[n] = 2x[n] - 1$$



Exercícios

4. Considere um sistema de tempo discreto dado pela seguinte equação:

$$y[n] = H\{x[n]\} = x^2[n]$$

Determine se o sistema é:

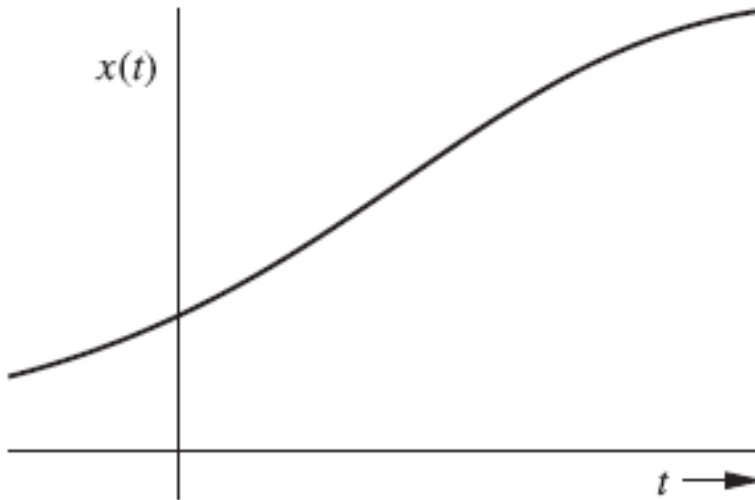
a) linear;

b) Invariante no tempo;

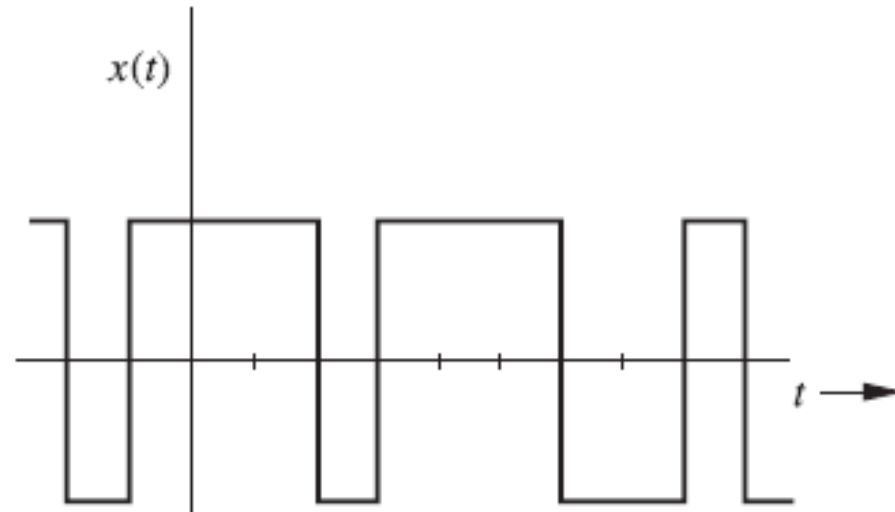


Exercícios

5. Classificar os seguintes sinais (analógico, digital, contínuo ou discreto no tempo):



a)

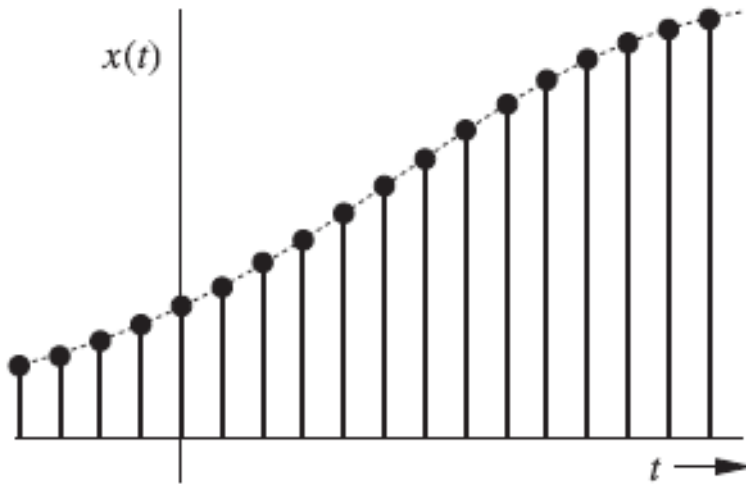


b)

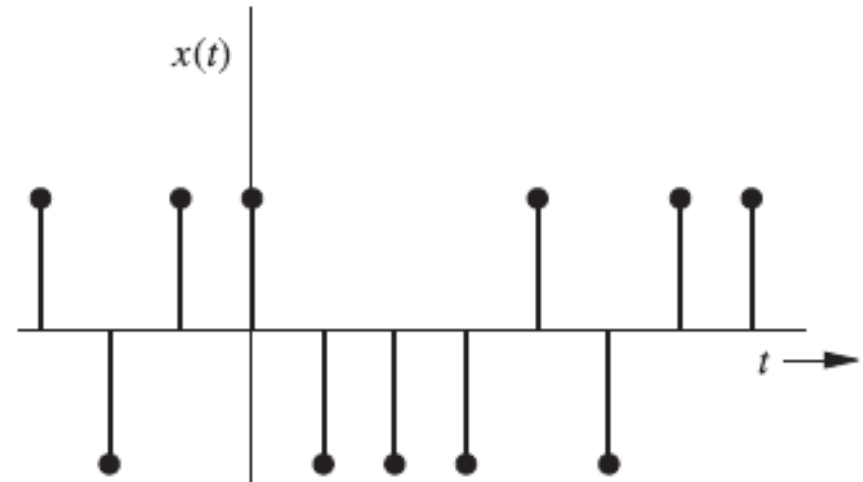


Exercícios

5. Classificar os seguintes sinais (analógico, digital, contínuo ou discreto no tempo):



c)



d)



Referências

Lathi, B., P. Sinais e sistemas lineares, 2nd ed. Bookman 2016.

Vahid, Frank. Digital Design with RTL Design, VHDL, and Verilog, 2nd ed. Wiley, 2011.



Universidade de São Paulo (USP), Escola
de Engenharia de Lorena (EEL),
Curso de Engenharia Física



Obrigado

Prof. Dr. Andy Blanco Rodriguez

andy.blanco@usp.br

**Departamento de Engenharia de Materiais (DEMAR), Sala A 53C, Área II da EEL-USP,
Estrada Chiquito de Aquino, N° 1000, Lorena, São Paulo, Brasil.**