

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MATO GROSSO**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS**  
**CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

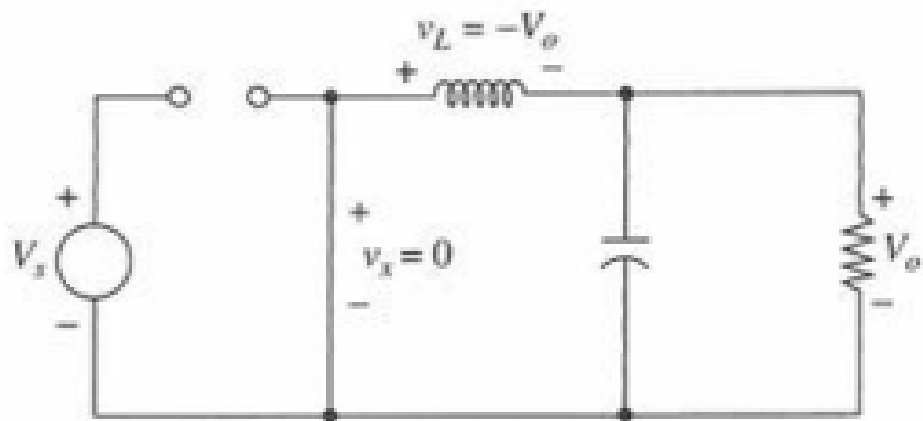
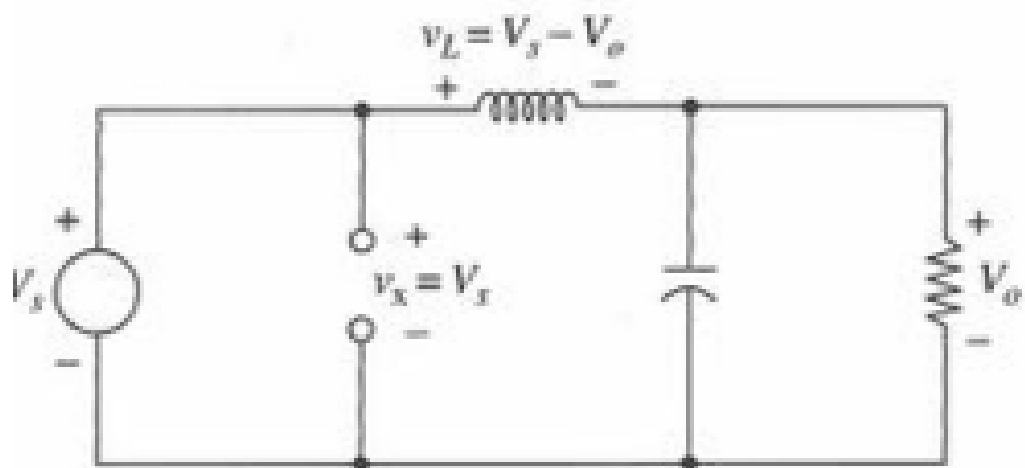
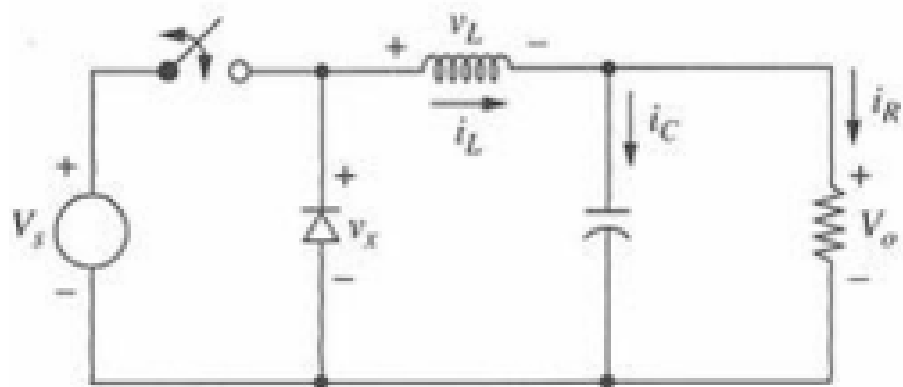
**AMANDA JACOBS TAVARES**

**ELETRÔNICA DE POTÊNCIA - CONVERSOR BUCK**

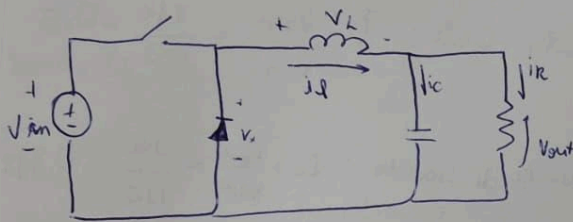
**UNEMAT – Campus de Sinop**

**2025/2**

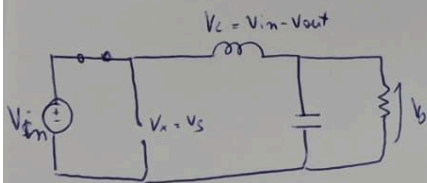
# 1 INTRODUÇÃO



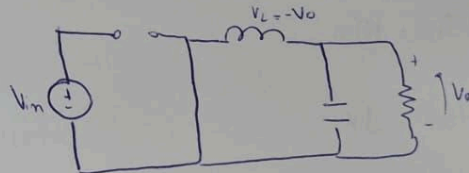
# Projeto conversor Buck



Primeiro estágio  
Chave fechada



Segundo estágio  
Chave aberta



## 2 METODOLOGIA DA SIMULAÇÃO

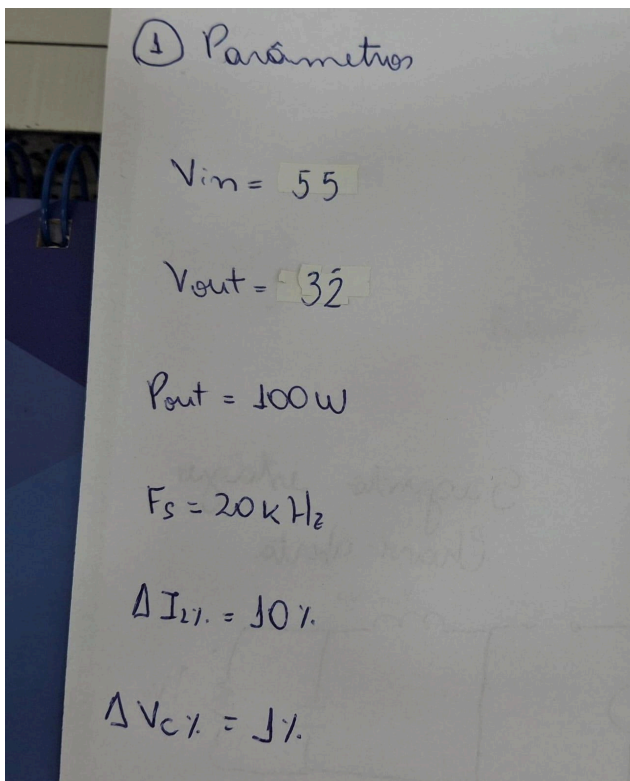
A simulação foi implementada em Python utilizando três módulos principais:

- **numpy** – para manipulação numérica e criação dos vetores de tempo,
- **matplotlib.pyplot** – para construção dos gráficos das grandezas,

```
#IMPORTANDO AS BIBLIOTECAS
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
```

### PARÂMETROS UTILIZADOS

```
#Parâmetros
Vin = 55      #tensão de entrada (V)
Vout = 32     #tensão desejada na saída
L = 2.1344e-3 #indutância do indutor (H) = 1,2 mH
R = 10.24     #resistência de carga (Ω)
C = 6.1035e-6 #capacitância do capacitor de saída (F)
Fs = 20e3     #frequência de chaveamento (Hz)
Ts = 1 / Fs   #período de chaveamento (s)
```



Onde definimos os parâmetros iniciais.

$F_s = 20e3$  define a frequência de chaveamento em 20 kHz. Produz um período  
 $T_s = 1 / F_s = 50 \text{ us}$ .

A frequência de 20 kHz foi escolhida porque fica acima da faixa audível, evitando ruídos, e ao mesmo tempo mantém perdas moderadas nos componentes. Também permite usar um indutor de tamanho adequado e simplifica os cálculos do projeto. Por isso, é um valor padrão que é amplamente utilizado em conversores Buck básicos.

② Valores nominais

- Duty Cycle :  $D = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{32}{55} = 0,58$
- Corrente de saída :  $I_o = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{100}{32} = 3,125$
- Resistência :  $R_o = \frac{V_{out}^2}{P_o} = \frac{32^2}{100} = 10,24 \Omega$

**Calculamos o I, R e o Duty cycle:**

$I = 0,91A$

$R = 121 \text{ ohms}$  Calcula-se R para que a potência máxima de 100W seja atingida em 110V

$D = 0,5$

$\Delta V_c\% = 1\%$

③ Projeto indutor

$$L = \frac{(V_{in} - V_{out}) \cdot \Delta}{f_s \cdot \Delta I_L} = \frac{(55 - 32) \cdot 0,58}{20e3 \cdot (0,1 \cdot 3,125)} = 2,1344 \text{ mH}$$

$$C = \frac{\Delta I_L}{8 f_s \Delta V_c} = \frac{0,10 \cdot 3,125}{8 \cdot (20 \cdot 10^3) (0,01 \cdot 32)} = 6,1035 \mu\text{F}$$

### Calculamos L e C

**L = 2,1344e-3** (corresponde ao valor do indutor calculado para que o ripple da corrente fosse de 10% da corrente da saída )

O ripple da corrente foi definido em 10% porque é uma escolha segura e conservadora, amplamente aceita em projetos de conversores buck, garantindo operação contínua, baixa ondulação e melhor desempenho em carga sensível.

**C = 6,1035e-6** (corresponde ao valor do capacitor calculado para que o ripple da tensão fosse de 1% da tensão de saída )

O ripple de tensão é normalmente escolhido como 1% da tensão de saída porque esse é um padrão de qualidade adotado em projetos de fontes chaveadas.

## LOOP DE INTERAÇÃO

```
# Loop de integração (Euler explícito)
for k in range(len(t) - 1):
    t_cycle = t[k] % Ts
    # Determinar ON ou OFF
    if t_cycle < D * Ts:
        vL = Vin - vout[k]    # ON: tensão no indutor
    else:
        vL = -vout[k]         # OFF: tensão no indutor

    # Atualizar corrente do indutor
    iL[k + 1] = iL[k] + (vL / L) * dt

    # Atualizar tensão do capacitor
    i_load = vout[k] / R
    vout[k + 1] = vout[k] + (iL[k] - i_load) / C * dt
```

### Funcionamento do Loop Principal

#### 1. Determinar ON/OFF

- $t\_cycle = t[k] \% Ts$  calcula o tempo dentro do período (0 a 50  $\mu s$ ).
- Se  $t\_cycle < D \cdot Ts \rightarrow$  **ON**; caso contrário  $\rightarrow$  **OFF**.
- ON = primeiros 20  $\mu s$ ; OFF = próximos 30  $\mu s$ .

#### 2. Tensão no Indutor ( $v_L$ )

- **ON**:  $v_L = V_{in} - v_{out}[k] \rightarrow$  indutor recebe energia  $\rightarrow$  corrente sobe.
- **OFF**:  $v_L = -v_{out}[k] \rightarrow$  indutor descarrega no capacitor/carga  $\rightarrow$  corrente desce.

#### 3. Atualizar corrente do indutor (Euler)

- Equação usada:  
$$i_L[k+1] = i_L[k] + (v_L / L) * dt$$
- $v_L$  positivo  $\rightarrow$  corrente aumenta.
- $v_L$  negativo  $\rightarrow$  corrente diminui.

- A forma final é um **triângulo típico de Buck**.

#### 4. Atualizar tensão do capacitor

- Corrente da carga:  $i_{\text{load}} = v_{\text{out}}[k] / R$ .
- Corrente líquida no capacitor:  $i_L[k] - i_{\text{load}}$ .
- Atualização:  
 $v_{\text{out}}[k+1] = v_{\text{out}}[k] + (i_L[k] - i_{\text{load}})/C * dt$ .
- Se  $i_L > i_{\text{load}} \rightarrow v_{\text{out}}$  sobe.
- Se  $i_L < i_{\text{load}} \rightarrow v_{\text{out}}$  cai.

#### 5. Papel do capacitor

- Suaviza a tensão de saída, evitando forma triangular.
- Reduz oscilação (overshoot e undershoot).
- Leva o sistema à estabilização com ripple pequeno.



### 3 RESULTADOS

```
# Plot dos resultados
plt.figure(figsize=(10, 4))
plt.plot(t * 1e3, vout, label='Tensão de Saída (vout)')
plt.axhline(Vout, color='red', linestyle='--', label=f'Média Teórica = {Vout:.1f} V')
plt.title('Resposta Transitória e Estabilização da Tensão de Saída (50 V → 20 V)')
plt.xlabel('Tempo (ms)')
plt.ylabel('Tensão (V)')
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()
```

**plt.plot(t \* 1e3, vout)**

- **O que faz:** plota a tensão de saída no tempo.
- **Por que multiplicar por 1000:** converte segundos para **ms**, facilitando a leitura (0 a 5 ms).
- **Impacto:** mostra claramente o comportamento da tensão: sobe de 0 V, oscila e depois estabiliza.

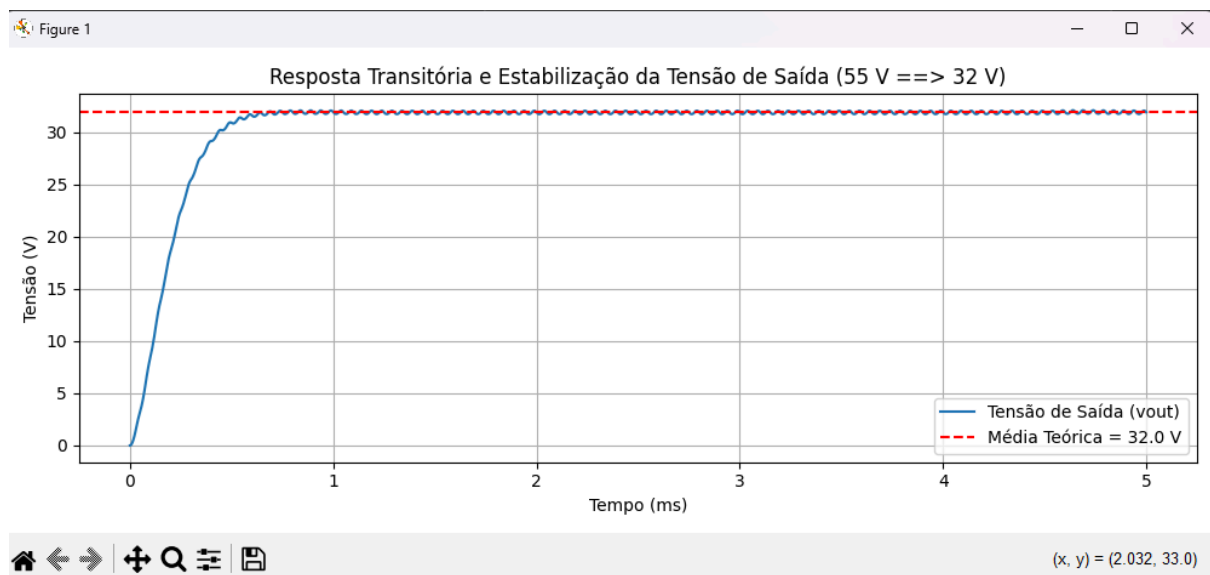
**plt.axhline(Voutmed, color='red', linestyle='--')**

- **O que faz:** desenha uma linha horizontal vermelha.
- **Por que:** representa a **tensão média teórica** do buck.
- **Impacto:** permite ver se a simulação converge para o valor esperado.

**plt.tight\_layout()**

- **O que faz:** ajusta margens automaticamente.
- **Por que:** evita textos cortados.
- **Impacto:** deixa o gráfico mais limpo.

## 4 ANÁLISE



O gráfico apresenta a resposta transitória e o regime permanente da tensão de saída do conversor Buck ao reduzir 55 para 32 V. Inicialmente, a tensão cresce rapidamente devido ao carregamento do capacitor enquanto a corrente do indutor se estabelece, alcançando próximo do valor desejado antes de 1 ms. Em seguida, observa-se um pequeno período de oscilações amortecidas, típicas da interação entre o indutor e o capacitor, mas sem overshoot significativo, o que indica um sistema bem amortecido e estável. Após aproximadamente 2,5 ms, a saída entra em regime permanente, mantendo-se muito próxima de 32 V com um ripple pequeno e regular decorrente do chaveamento. No geral, o conversor apresenta comportamento adequado, estabilização rápida e tensão média compatível com a teoria, confirmando o correto funcionamento do modelo e o dimensionamento satisfatório dos componentes.

