

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Escola de Engenharia**  
**Engenharia de Controle e Automação**

Eduardo Henrique Basilio de Carvalho, Renan Neves da Silva

**Trabalho 2 - Motor de Indução**

Belo Horizonte  
2025

Eduardo Henrique Basilio de Carvalho, Renan Neves da Silva

**Trabalho 2 - Motor de Indução**

**Versão 1.0**

Orientador: Prof. Rodrigo Rodrigues Bastos

Belo Horizonte  
2025

# Resumo

O trabalho apresenta a determinação e a análise do desempenho de motores de indução trifásicos por meio do circuito equivalente de regime permanente. São obtidos parâmetros elétricos a partir de modelos pré-definidos no Simulink e, com eles, calculam-se grandezas fundamentais no ponto nominal, como escorregamento, velocidade, corrente, torque, potências e eficiência. Em seguida, são geradas curvas características em função do escorregamento e da potência mecânica, permitindo avaliar comportamento em partida, torque máximo e operação a vazio. O estudo inclui ainda a análise da operação em frequência variável, destacando como a variação proporcional tensão-frequência altera as curvas torque-velocidade.

**Palavras-chave:** conversores, motor de indução

# Abstract

This work presents the determination and analysis of the performance of three-phase induction motors using the steady-state equivalent circuit. Electrical parameters are obtained from predefined models in Simulink, and fundamental quantities at the nominal point, such as slip, speed, current, torque, power, and efficiency, are calculated using them. Subsequently, characteristic curves are generated as a function of slip and mechanical power, allowing for the evaluation of behavior during starting, maximum torque, and no-load operation. The study also includes an analysis of variable frequency operation, highlighting how the proportional voltage-frequency variation alters the torque-speed curves.

**Keywords:** converters, induction motor

# Sumário

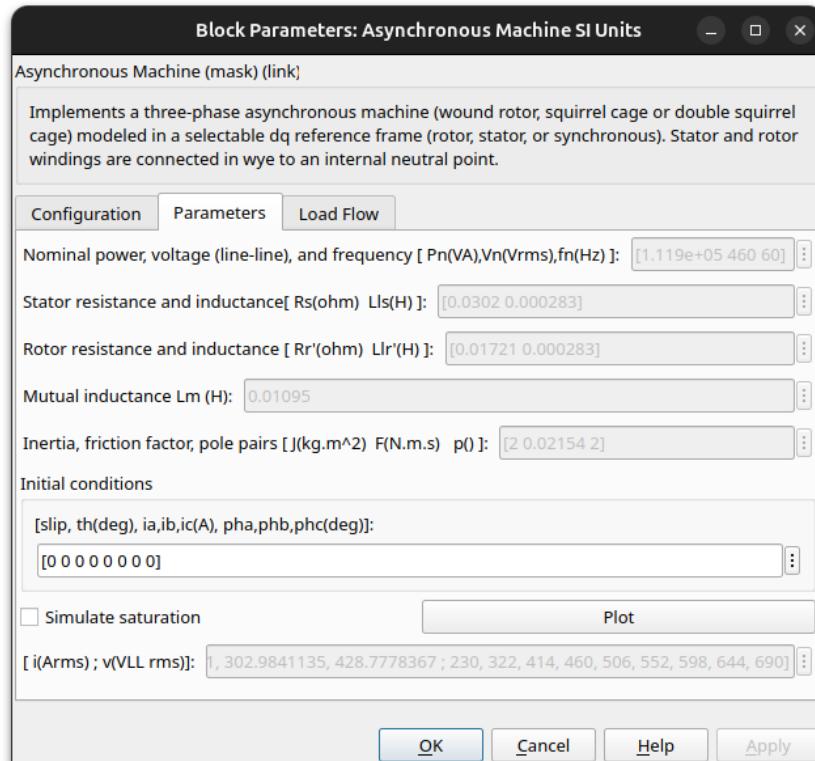
<b>1 Parâmetros do Circuito Equivalente</b>	<b>5</b>
<b>2 Operação em Condições Nominais</b>	<b>7</b>
2.1 Escorregamento . . . . .	7
2.2 Velocidade Mecânica . . . . .	9
2.3 Corrente do Estator . . . . .	9
2.4 Torque . . . . .	10
2.5 Potência Ativa de Entrada . . . . .	11
2.6 Potência Reativa de Entrada . . . . .	11
2.7 Potência Aparente de Entrada . . . . .	11
2.8 Fator de Potência . . . . .	12
2.9 Eficiência . . . . .	12
2.10 Características Nominais . . . . .	12
<b>3 Curvas</b>	<b>14</b>
3.1 $\tau \times \omega_{mec}$ . . . . .	14
3.2 $ I_s  \times \omega_{mec}$ . . . . .	14
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>16</b>
<b>Apêndice A Código MATLAB 2024b para a Questão 3</b>	<b>17</b>

# Capítulo 1

## Parâmetros do Circuito Equivalente

Figura 1.1 mostra os parâmetros do modelo predefinido de número 6 do bloco *Asynchronous Machine SI Units* do Simulink, para tipo de rotor *Squirrel Cage*.

Figura 1.1: Parâmetros do modelo predefinido 6 do bloco *Asynchronous Machine SI Units*.



Fonte: captura de tela do programa Simulink na versão R2024b.

Tais parâmetros são transcritos em Tabela 1.1.

Destes, os parâmetros do circuito equivalente são calculados em Equações (1.2) – (1.7).

Tabela 1.1: Parâmetros do modelo predefinido 6 do bloco *Asynchronous Machine SI Units*.

Parâmetro	Símbolo	Valor
Potência nominal	$P_n$	111.9 kVA
Tensão nominal de linha	$V_n$	460 V <sub>rms</sub>
Frequência nominal	$f_n$	60 Hz
Resistência do estator	$R_s$	0.0302 Ω
Indutância do estator	$L_s$	0.000283 H
Resistência do rotor	$R'_r$	0.01721 Ω
Indutância do rotor	$L'_r$	0.000283 H
Indutância mútua	$L_m$	0.01095 H
Inércia	$J$	2 kg.m <sup>2</sup>
Fator de fricção	$F$	0.02154 Nms
Número de pares de polos	$p$	2

$$w_e = 2\pi f_n = 2\pi \cdot 60 = 376.99 \text{ rad/s} \quad (1.1)$$

$$V_{ph} = \frac{V_n}{\sqrt{3}} = \frac{460}{\sqrt{3}} = 265.58 \text{ V} \quad (1.2)$$

$$R_s = 0.0302 \Omega \quad (1.3)$$

$$X_s = w_e L_s = 376.99 \cdot 0.000283 = 0.1067 \Omega \quad (1.4)$$

$$X_m = w_e L_m = 376.99 \cdot 0.01095 = 4.126 \Omega \quad (1.5)$$

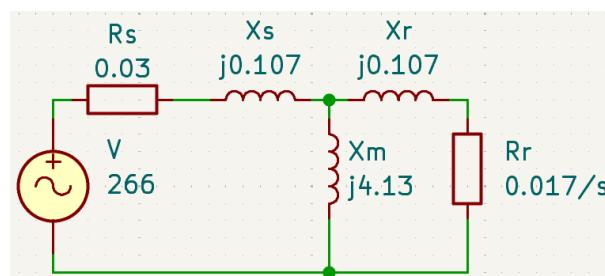
$$X'_r = w_e L'_r = 376.99 \cdot 0.000283 = 0.1067 \Omega \quad (1.6)$$

$$R_r = \frac{R'_r}{s} = \frac{0.01721}{s} \Omega \quad (1.7)$$

Este trabalho considera  $P_n = P_{out}$ .

Figura 1.2 mostra o circuito equivalente do motor de indução.

Figura 1.2: Circuito equivalente do motor de indução.



Fonte: captura de tela do programa KiCad na versão 9.0.x.

## Capítulo 2

# Operação em Condições Nominais

### 2.1 Escorregamento

Do circuito,

$$Z'_r(s) = \frac{R'_r}{s} + jX'_r \quad (2.1)$$

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (2.2)$$

$$Z_m = jX_m \quad (2.3)$$

$$Z_{par}(s) = \frac{Z_m Z'_r(s)}{Z_m + Z'_r(s)} \quad (2.4)$$

$$Z_{eq}(s) = Z_s + Z_{par}(s) \quad (2.5)$$

$$I_s(s) = \frac{V_{ph}}{Z_{eq}(s)} \quad (2.6)$$

$$I'_r(s) = I_s(s) \frac{Z_m}{Z_m + Z'_r(s)} \quad (2.7)$$

$$|I'_r(s)| = \frac{V_{ph} X_m}{\sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}} \quad (2.8)$$

$$P_n = 3 |I'_r(s)|^2 R'_r \frac{1 - s}{s} \quad (2.9)$$

para

$$\text{Re} = \frac{R_s R'_r}{s} - X_s (X_m + X'_r) - X_m X'_r \quad (2.10)$$

$$\text{Im} = R_s (X_m + X'_r) + \frac{R'_r}{s} (X_s + X_m) \quad (2.11)$$

$$(2.12)$$

No motor estudado,

$$\text{Re} = \frac{0.0302 \cdot 0.01721}{s} - 0.1067(4.126 + 0.1067) - 4.126 \cdot 0.1067 \quad (2.13)$$

$$= \frac{0.000519742}{s} - 0.891873 \quad (2.14)$$

$$\text{Im} = 0.0302(4.126 + 0.1067) + \frac{0.01721}{s}(0.1067 + 4.126) \quad (2.15)$$

$$= 0.127828 + \frac{0.0728448}{s} \quad (2.16)$$

$$\text{Re}^2 + \text{Im}^2 = \left( \frac{0.000519742}{s} - 0.891873 \right)^2 + \left( 0.127828 + \frac{0.0728448}{s} \right)^2 \quad (2.17)$$

$$= \frac{0.812s^2 + 0.0177s + 0.00531}{s^2} \quad (2.18)$$

$$(2.19)$$

Assim,

$$111900 = 3 \left( \frac{265.58 \cdot 4.126}{\sqrt{\frac{0.812s^2 + 0.0177s + 0.00531}{s^2}}} \right)^2 0.01721 \frac{1-s}{s} \quad (2.20)$$

$$111900 = 0.05163 \frac{1200740}{\frac{0.812s^2 + 0.0177s + 0.00531}{s^2}} \frac{1-s}{s} \quad (2.21)$$

$$111900 = 61994 \frac{s(1-s)}{0.812s^2 + 0.0177s + 0.00531} \quad (2.22)$$

$$1.805 = \frac{s - s^2}{0.812s^2 + 0.0177s + 0.00531} \quad (2.23)$$

$$s - s^2 = 1.466s^2 + 0.0319s + 0.00959 \quad (2.24)$$

$$0 = 2.466s^2 - 0.9681s + 0.00959 \quad (2.25)$$

$$(2.26)$$

Cujas soluções são

$$s_0 = 0.0102 \quad (2.27)$$

$$s_1 = 0.3824 \quad (2.28)$$

Conforme [1],

$$s_{\max} = \frac{R'_r}{\sqrt{R_s^2 \left( \frac{X_m}{X_s + X_m} \right)^4 + (X_s + X'_r)^2}} \quad (2.29)$$

Para os valores considerados,

$$s_{\max} = \frac{0.01721}{\sqrt{0.0302^2 \left(\frac{4.126}{0.1067+4.126}\right)^4 + (0.1067 + 0.1067)^2}} \quad (2.30)$$

$$\approx 0.08 \quad (2.31)$$

Por operar em condições nominais,  $s < s_{\max}$ . Portanto,

$$s = s_0 = 0.0102 = 1.02\% \quad (2.32)$$

## 2.2 Velocidade Mecânica

$$n_{sinc} = \frac{60 \cdot f_n}{p} \quad (2.33)$$

$$n_{sinc} = \frac{60 \cdot 60}{2} \quad (2.34)$$

$$= 1800 \text{ rpm} \quad (2.35)$$

$$n = n_{sinc}(1 - s) \quad (2.36)$$

$$= 1800(1 - 0.0102) \quad (2.37)$$

$$= 1781.64 \text{ rpm} \quad (2.38)$$

## 2.3 Corrente do Estator

Sob escorregamento nominal,

$$Z'_r = \frac{0.01721}{0.0102} + j0.1067 \quad (2.39)$$

$$= 1.687 + j0.1067 \Omega \quad (2.40)$$

$$Z_{par} = \frac{j4.126(1.687 + j0.1067)}{j4.126 + 1.687 + j0.1067} \quad (2.41)$$

$$= 1.384 + j0.655 \Omega \quad (2.42)$$

$$Z_{eq} = (0.0302 + j0.1067) + (1.384 + j0.655) \quad (2.43)$$

$$= 1.414 + j0.762 \Omega \quad (2.44)$$

$$= 1.606\angle 28.3^\circ \Omega \quad (2.45)$$

$$(2.46)$$

Então,

$$I_s = \frac{265.58}{1.606\angle 28.3^\circ} \quad (2.47)$$

$$= 165.4\angle -28.3^\circ \text{ A} \quad (2.48)$$

## 2.4 Torque

Na velocidade mecânica nominal,

$$w_m = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.49)$$

$$= \frac{2\pi \cdot 1781.64}{60} \quad (2.50)$$

$$= 186.7 \text{ rad/s} \quad (2.51)$$

$$T_n = \frac{P_n}{w_m} \quad (2.52)$$

$$= \frac{111900}{186.7} \quad (2.53)$$

$$= 599.5 \text{ Nm} \quad (2.54)$$

## 2.5 Potência Ativa de Entrada

Pelas grandezas de linha,

$$P_{\text{in}} = \sqrt{3}V_n I_s \cos \phi \quad (2.55)$$

$$= \sqrt{3} \cdot 460 \cdot 165.4 \cdot \cos 28.3^\circ \quad (2.56)$$

$$= 116030 \text{ W} \quad (2.57)$$

## 2.6 Potência Reativa de Entrada

Pelas grandezas de linha,

$$Q_{\text{in}} = \sqrt{3}V_n I_s \sin \phi \quad (2.58)$$

$$= \sqrt{3} \cdot 460 \cdot 165.4 \cdot \sin 28.3^\circ \quad (2.59)$$

$$= 62476 \text{ var} \quad (2.60)$$

## 2.7 Potência Aparente de Entrada

Por definição,

$$S_{\text{in}} = P_{\text{in}} + jQ_{\text{in}} \quad (2.61)$$

$$= 116030 + j62476 \text{ VA} \quad (2.62)$$

$$|S_{\text{in}}| = \sqrt{P_{\text{in}}^2 + Q_{\text{in}}^2} \quad (2.63)$$

$$= \sqrt{116030^2 + 62476^2} \quad (2.64)$$

$$= 131.8 \text{ kVA} \quad (2.65)$$

## 2.8 Fator de Potência

Por definição,

$$fp = \cos \phi \text{ característica} \quad (2.66)$$

$$= \cos 28.3^\circ \text{ atrasado} \quad (2.67)$$

$$= 0.880 \text{ atrasado} \quad (2.68)$$

## 2.9 Eficiência

Pelas potências,

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (2.69)$$

$$= \frac{111900}{116030} \quad (2.70)$$

$$= 0.9645 \quad (2.71)$$

$$= 96.45\% \quad (2.72)$$

## 2.10 Características Nominais

Tabela 2.1 apresenta as características nominais calculadas.

Tabela 2.1: Características nominais calculadas.

<b>Grandezas</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>
Escorregamento	$s$	1.02%
Velocidade mecânica	$n$	1781.64 rpm
Corrente de linha do estator	$I_s$	165.4 A
Torque nominal	$T_n$	599.5 Nm
Potência ativa de entrada	$P_{in}$	116030 W
Potência reativa de entrada	$Q_{in}$	62476 var
Potência aparente de entrada	$ S_{in} $	131.8 kVA
Fator de potência	fp	0.880 atrasado
Eficiência	$\eta$	96.45%

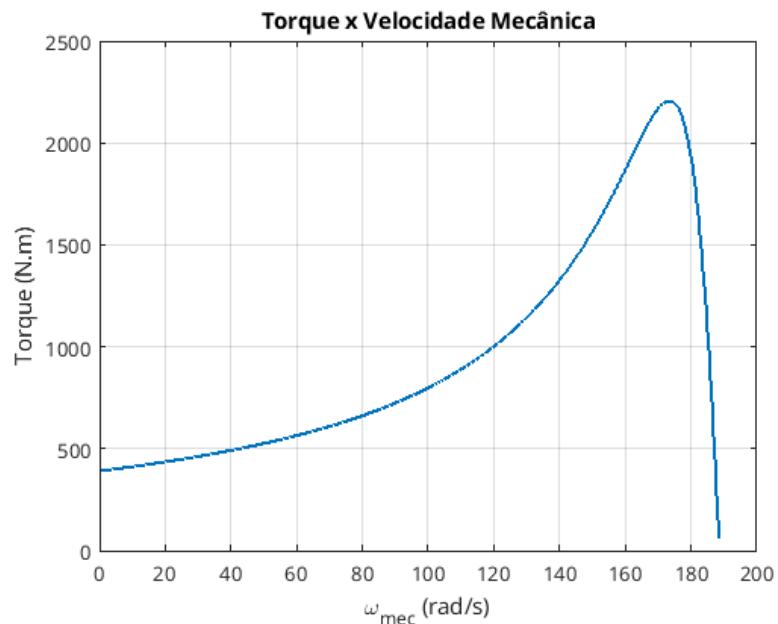
# Capítulo 3

## Curvas

As curvas e valores nesta questão são obtidos por Apêndice A

### 3.1 $\tau \times \omega_{mec}$

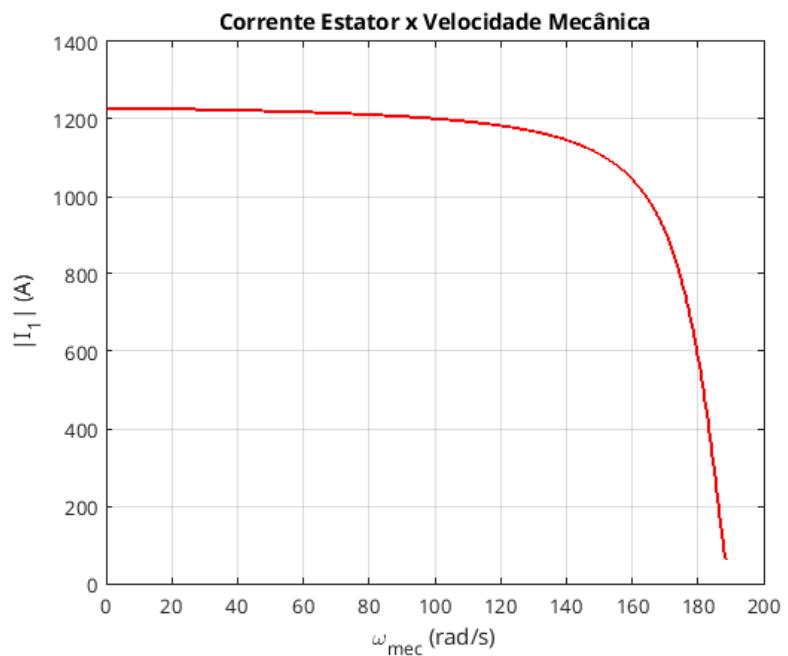
Figura 3.1: Curva de torque versus velocidade mecânica.



Fonte: elaboração própria.

### 3.2 $|I_s| \times \omega_{mec}$

Figura 3.2: Curva de corrente de linha do estator versus velocidade mecânica.



Fonte: elaboração própria.

# Referências Bibliográficas

- [1] Stephen J. Chapman. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. AMGH Editora, Porto Alegre, 5 edition, 2013.

# Apêndice A

## Código MATLAB 2024b para a Questão 3

```

1 %% Dados do Motor (Modelo 6)
2 Pn_watt = 111900; % Potencia mecnica nominal (W)
3 Vn_line = 460; % Tenso nominal de linha (V)
4 fn = 60; % Frequncia nominal (Hz)
5 p = 2; % Pares de polos
6
7 %% Parmetros do Circuito Equivalente
8 Rs = 0.0302; % Resistncia do estator (Ohms)
9 Lls = 0.000283; % Indutncia de disperso do estator (H)
10 Rr_linha = 0.01721; % Resistncia do rotor referida (Ohms)
11 Llr_linha = 0.000283; % Indutncia de disperso do rotor (H)
12 Lm = 0.01095; % Indutncia mtua (H)
13
14 %% 1. Clculos Preliminares
15 omega_e = 2 * pi * fn; % Frequncia angular eltrica (rad/s)
16 Xs = omega_e * Lls; % Reatncia do estator
17 Xr_linha = omega_e * Llr_linha; % Reatncia do rotor
18 Xm = omega_e * Lm; % Reatncia de magnetizao
19 Vph = Vn_line / sqrt(3); % Tenso de fase (V)
20 n_sinc = (60 * fn) / p; % Velocidade sncrona (rpm)
21 omega_sinc = (2 * pi * n_sinc) / 60; % Vel. sncrona (rad/s)
22
23 %% 2. Definio do Ponto Nominal
24 % Vamos usar o escorregamento nominal calculado no Cap 2 do relatrio: 1.02%
25 s_nom = 0.0102;
26
27 % Funo auxiliar para calcular circuito
28 calc_motor = @(s, Vph, Rs, Xs, Rr_linha, Xr_linha, Xm, omega_sinc) ...
29     deal( ...

```

```

30     Vph ./ ((Rs + 1j*Xs) + (1j*Xm .* (Rr_linha./s + 1j*Xr_linha)) ./ (1j*Xm
31         + (Rr_linha./s + 1j*Xr_linha))), ... % I1 (Fasor)
32     (3 * abs(Vph ./ ((Rs + 1j*Xs) + (1j*Xm .* (Rr_linha./s + 1j*Xr_linha)))
33         ./ (1j*Xm + (Rr_linha./s + 1j*Xr_linha))).^2 .* (abs(1j*Xm ./ (1j*
34             Xm + (Rr_linha./s + 1j*Xr_linha))).^2 .* (Rr_linha./s)) ./
35             omega_sinc ... % Torque
36 );
37
38 % Calcular valores nominais de referencia
39 [I1_nom_phasor, T_nom] = calc_motor(s_nom, Vph, Rs, Xs, Rr_linha, Xr_linha, Xm,
40                                     omega_sinc);
41 I1_nom = abs(I1_nom_phasor);
42
43 %% 3. Questo 3 - Parte A e B (Curvas Completas)
44 % Vetor de escorregamento completo
45 s_full = 0.001:0.001:1;
46
47 % Inicializar vetores
48 I1_full_abs = zeros(size(s_full));
49 Torque_full = zeros(size(s_full));
50 nmecc_full = n_sinc * (1 - s_full); % Velocidade em RPM
51 wmecc_full = omega_sinc * (1 - s_full); % Velocidade em rad/s
52
53 % Loop de clculo para curva completa
54 for k = 1:length(s_full)
55     % Impedncia do Rotor
56     Zr = (Rr_linha / s_full(k)) + 1j*Xr_linha;
57     % Impedncia de Magnetizao
58     Zm = 1j*Xm;
59     % Impedncia Paralela (Rotor // Magnetizao)
60     Zpar = (Zm * Zr) / (Zm + Zr);
61     % Impedncia Equivalente Total
62     Zeq = (Rs + 1j*Xs) + Zpar;
63
64     % Corrente do Estator (Fasor)
65     I1 = Vph / Zeq;
66     I1_full_abs(k) = abs(I1);
67
68     % Divisor de corrente para achar I2 (Corrente do rotor)
69     I2 = I1 * (Zm / (Zm + Zr));
70
71 end
72
73 % Plotar resultados
74 plot(s_full, I1_full_abs, 'r');
75 plot(s_full, Torque_full, 'b');
76 plot(s_full, nmecc_full, 'g');
77 plot(s_full, wmecc_full, 'm');
78
79 % Salvar resultados
80 save('motor.mat', 'I1_full_abs', 'Torque_full', 'nmecc_full', 'wmecc_full');
81
82 % Fim do script
83

```

```

66 % Potncia convertida e Torque
67 P_conv = 3 * abs(I2)^2 * Rr_linha * (1 - s_full(k)) / s_full(k);
68 if s_full(k) == 0 % Evitar diviso por zero se s=0
69     Torque_full(k) = 0;
70 else
71     Torque_full(k) = P_conv / wmech_full(k);
72 end
73 end
74
75 % Plotagem Curvas (a) e (b)
76 figure('Name', 'Torque x Velocidade Mecnica');
77 plot(wmech_full, Torque_full, 'LineWidth', 1.5);
78 grid on;
79 xlabel('\omega_{mec} (rad/s)'); ylabel('Torque (N.m)');
80 title('Torque x Velocidade Mecnica');
81
82 figure('Name', 'Corrente Estator x Velocidade Mecnica');
83 plot(wmech_full, I1_full_abs, 'r', 'LineWidth', 1.5);
84 grid on;
85 xlabel('\omega_{mec} (rad/s)'); ylabel('|I_1| (A)');
86 title('Corrente Estator x Velocidade Mecnica');
87
88 %% 4. Questo 3 - Parte C a F (Regio de Operao)
89 % Encontrar Torque Mximo e Escorregamento Correspondente
90 [T_max, idx_max] = max(Torque_full);
91 s_Tmax = s_full(idx_max);
92
93 % Novo vetor de escorregamento
94 s_op = 0.001:0.001:s_Tmax;
95
96 % Inicializar vetores de operao
97 eta_op = zeros(size(s_op)); % Eficincia
98 fp_op = zeros(size(s_op)); % Fator de potncia
99 Pmec_op = zeros(size(s_op)); % Potncia Mecnica de Sada
100 I1_op_abs = zeros(size(s_op));
101
102 for k = 1:length(s_op)
103     s = s_op(k);
104     nmech = n_sinc * (1 - s);
105     wmech = omega_sinc * (1 - s);
106

```

```

107 % Reclculo das impedncias
108 Zr = (Rr_linha / s) + 1j*Xr_linha;
109 Zm = 1j*Xm;
110 Zpar = (Zm * Zr) / (Zm + Zr);
111 Zeq = (Rs + 1j*Xs) + Zpar;
112
113 % Correntes
114 I1 = Vph / Zeq;
115 I1_op_abs(k) = abs(I1);
116 I2 = I1 * (Zm / (Zm + Zr));
117
118 % Potncias
119 Pin = 3 * real(Vph * conj(I1)); % Potncia ativa de entrada
120 P_conv = 3 * abs(I2)^2 * Rr_linha * (1 - s) / s;
121
122 % Considerando P_mec = P_conv (desprezando perdas rotacionais)
123 Pmec_op(k) = P_conv;
124
125 % Eficincia e Fator de Potncia
126 eta_op(k) = (Pmec_op(k) / Pin) * 100; % Em %
127 fp_op(k) = cos(angle(Vph) - angle(I1));
128 end
129
130 % Plotagem Curvas (c) a (f)
131 figure('Name', 'Curvas na Regio de Operao');
132 subplot(2,2,1);
133 plot(Pmec_op, eta_op, 'LineWidth', 1.5); grid on;
134 xlabel('P_{mec} (W)'); ylabel('Eficincia \eta (%)'); title('(c) Eficincia x P_{mec}');
135
136 subplot(2,2,2);
137 plot(Pmec_op, fp_op, 'LineWidth', 1.5); grid on;
138 xlabel('P_{mec} (W)'); ylabel('Fator de Potncia'); title('(d) FP x P_{mec}');
139
140 subplot(2,2,3);
141 plot(Pmec_op, s_op, 'LineWidth', 1.5); grid on;
142 xlabel('P_{mec} (W)'); ylabel('Escorregamento s'); title('(e) s x P_{mec}');
143
144 subplot(2,2,4);
145 plot(Pmec_op, I1_op_abs, 'LineWidth', 1.5); grid on;
146 xlabel('P_{mec} (W)'); ylabel('|I_1| (A)'); title('(f) Corrente x P_{mec}');

```

```

147
148 %% 5. Questo 3 - Dados Tabulados (G a O)
149 % Partida (s = 1)
150 [I_start_phasor, T_start] = calc_motor(1, Vph, Rs, Xs, Rr_linha, Xr_linha, Xm,
151                                         omega_sinc);
152 I_start_abs = abs(I_start_phasor);
153
154 % Torque Maximo (j calculado anteriormente como T_max e s_Tmax)
155 % Corrente no Torque Maximo
156 [I_Tmax_phasor, ~] = calc_motor(s_Tmax, Vph, Rs, Xs, Rr_linha, Xr_linha, Xm,
157                                         omega_sinc);
158 I_Tmax_abs = abs(I_Tmax_phasor);
159
160 % Exibir Tabela no Command Window
161 fprintf('\n--- Tabela de Resultados (g a o) ---\n');
162 fprintf('(g) Corrente de partida (|I1,p|): %.2f A\n', I_start_abs);
163 fprintf('(h) Razo Ip/Inom: %.2f\n', I_start_abs / I1_nom);
164 fprintf('(i) Torque de partida (Tp): %.2f N.m\n', T_start);
165 fprintf('(j) Razo Tp/Tnom: %.2f\n', T_start / T_nom);
166 fprintf('(k) Corrente no Torque Mximo: %.2f A\n', I_Tmax_abs);
167 fprintf('(l) Razo I_Tmax/Inom: %.2f\n', I_Tmax_abs / I1_nom);
168 fprintf('(m) Torque Mximo (Tmax): %.2f N.m\n', T_max);
169 fprintf('(n) Escorregamento de Tmax: %.4f\n', s_Tmax);
170 fprintf('(o) Razo Tmax/Tnom: %.2f\n', T_max / T_nom);
171
172 %% 6. Questo 3 - A Vazio (P a Q)
173 s_vazio = 0.001;
174
175 % Recalcular circuito para s_vazio
176 Zr_vazio = (Rr_linha / s_vazio) + 1j*Xr_linha;
177 Zm_vazio = 1j*Xm;
178 Zpar_vazio = (Zm_vazio * Zr_vazio) / (Zm_vazio + Zr_vazio);
179 Zeq_vazio = (Rs + 1j*Xs) + Zpar_vazio;
180
181 I1_vazio_phasor = Vph / Zeq_vazio;
182 I1_vazio_abs = abs(I1_vazio_phasor);
183 I1_vazio_angle_deg = angle(I1_vazio_phasor) * (180/pi);
184 fp_vazio = cos(angle(Vph) - angle(I1_vazio_phasor));
185
186 fprintf('\n--- Operao a Vazio (p a q) ---\n');

```

```
185 printf'(p) Fasor Corrente a Vazio: %.2f /_ %.2f A\n', I1_vazio_abs,  
    I1_vazio_angle_deg);  
186 printf'(q) Fator de Potncia a Vazio: %.4f\n', fp_vazio);
```