

# Relatório da Atividade I - MIT de rotor bobinado: ensaio rotor travado e em vazio

Pedro Henrique C. Costa

2021.2

## Conteúdo

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Ensaio com rotor travado</b>	<b>2</b>
2.1	Dados experimentais . . . . .	2
2.2	Circuito equivalente . . . . .	3
2.3	Determinação dos parâmetros do circuito . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Ensaio a vazio</b>	<b>4</b>
3.1	Dados experimentais . . . . .	5
3.2	Circuito equivalente . . . . .	5
3.3	Perdas rotacionais . . . . .	6
3.4	Determinação dos parâmetros do circuito . . . . .	6
3.5	Análise de considerações alternativas . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Circuito equivalente</b>	<b>7</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>8</b>

# 1 Introdução

Para o estudo de motores de indução em um ambiente real, não possuímos fácil acesso aos seus parâmetros internos. Em vez disso, dispomos somente de seus terminais e valores de placa. Assim, o estudo dessa máquina é realizado através de uma modelagem suficientemente equivalente, um circuito monofásico parametrizado em função dos valores reais. O modelo que utilizaremos neste laboratório é apresentado na figura 1.

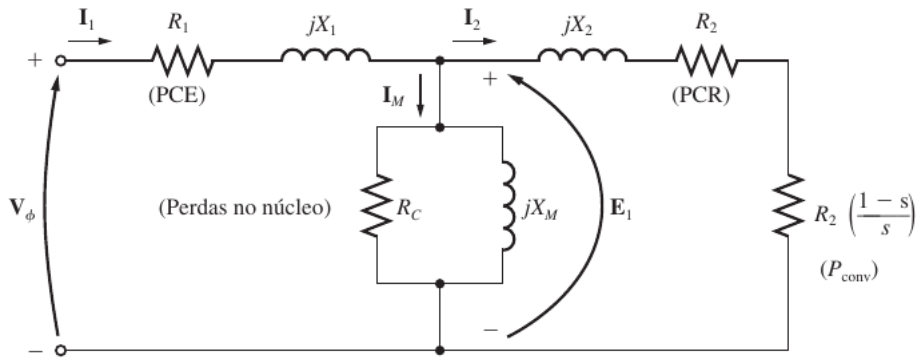


Figura 1: Circuito equivalente por fase para motores de indução

Os parâmetros apresentados na figura podem ser determinados através de dois ensaios complementares, o **ensaio com rotor travado/bloqueado** e o **ensaio em vazio**, que serão apresentados ao longo deste trabalho. Os procedimentos foram realizados sob a orientação de Batistela and Sadowski.

## 2 Ensaio com rotor travado

Neste ensaio, impedimos o giro do motor, de forma que ele apresente escorregamento unitário. Em seguida, posicionamos o reostato na posição final para que as resistências não influenciem nos valores medidos, e, por fim, aplicamos à máquina corrente nominal, variando a tensão de alimentação pelo *varivolt* até obter o valor desejado.

### 2.1 Dados experimentais

Os procedimentos descritos acima foram realizados pelo auxiliar da disciplina e disponibilizados através de um vídeo na plataforma moodle, devido à situação excepcional de pandemia. Temos as seguintes medidas a partir do vídeo:

- Corrente de Linha = 10.60 A
- Tensão de Linha = 48.36 V
- Potência trifásica = 551 W

Precisamos converter alguns desses valores para nosso equivalente monofásico antes de calcular as grandezas do circuito equivalente. Visto que o motor está conectado em Y, fazemos:

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = 27.92V$$

$$I_f = I_l = 10.60A$$

$$P_{1\phi} = \frac{P_{3\phi}}{3} = 183.67W$$

## 2.2 Circuito equivalente

O nível de tensão para o ensaio de rotor travado está abaixo da tensão nominal. Nesta magnitude reduzida de alimentação o fluxo magnético apresenta um valor baixo, e podemos desprezar as perdas magnéticas. Assim, temos que nosso circuito equivalente é o apresentado na figura 2.

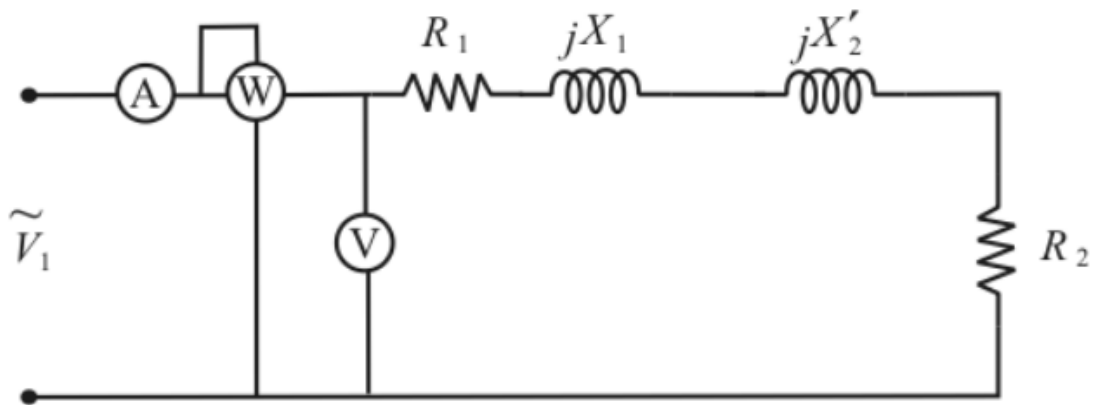


Figura 2: Circuito equivalente para ensaio com rotor bloqueado

## 2.3 Determinação dos parâmetros do circuito

A partir das medidas, podemos determinar a impedância equivalente do sistema:

$$R_{eq} = \frac{P_{1\phi}}{I_f^2} = 1.63\Omega$$

$$X_{eq} = \sqrt{\frac{V_f}{I_f} - R_{eq}} = 1.00\Omega$$

Um outro meio de determinar esses valores, de acordo com Chapman [2013], seria a determinação do fator de potência ( $FP = \frac{P_{medido}}{V_f I_f}$ ), do módulo da impedância ( $|Z_{eq}| = \frac{V_f}{I_f}$ ) e do seu ângulo ( $\theta = \arccos(FP)$ ).

Para calcularmos as parcelas da impedância equivalente referentes às impedâncias do rotor e do estator usamos os valores típicos apresentados na figura 3.

	$X_1$ e $X_2$ em função de $X_{RB}$	
Tipo de rotor	$X_1$	$X_2$
Rotor bobinado	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$
Classe A	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$
Classe B	$0,4 X_{RB}$	$0,6 X_{RB}$
Classe C	$0,3 X_{RB}$	$0,7 X_{RB}$
Classe D	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$

Figura 3: Repartição típica das reatâncias

O rotor utilizado nesse experimento é do tipo bobinado, portanto:

$$R_1 = R_2 = 0.815\Omega$$

$$X_1 = X_2 = 0.5\Omega$$

## 3 Ensaio a vazio

Para o ensaio em vazio, alimentamos o circuito com tensão nominal e permitimos ao rotor girar livremente. Neste experimento, utilizamos o restato na posição "início de partida" durante o início da partida para evitar correntes de grande magnitude no estator durante o período transitório, e o "curto-circuitamos" ao atingir a velocidade desejada para o rotor

### 3.1 Dados experimentais

A partir das medidas realizadas pelo auxiliar da disciplina, temos:

- Corrente de Linha = 5.31 A
- Tensão de Linha = 380 V
- Potência trifásica = 855 W
- Velocidade do rotor = 1791 rpm

Convertendo esses valores para nosso equivalente monofásico::

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}} = 219.4V$$

$$I_f = I_l = 10.60A$$

$$P_{1\phi} = \frac{P_{3\phi}}{3} = 285W$$

### 3.2 Circuito equivalente

Nas condições do ensaio, podemos considerar que a parcela mais substancial da corrente se dá através do estator e do ramo magnetizante do circuito, enquanto no ramo equivalente ao estator constatamos somente as perdas rotacionais. Isto é, devido à altíssima resistência da parcela  $R_2 \frac{1-s}{s}$ , a corrente que percorre o ramo referente ao estator será baixíssima. Com essas considerações, o circuito equivalente para a situação é apresentado na figura 4.

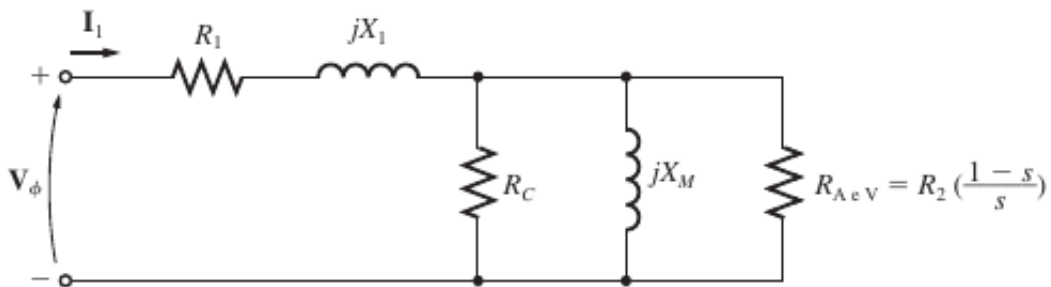


Figura 4: Circuito equivalente para o ensaio em vazio

### 3.3 Perdas rotacionais

Para calcular as perdas rotacionais diminuimos gradativamente a tensão de alimentação. A partir da extrapolação da curva construída, determinamos as perdas rotacionais do motor,  $P_{rot}$ .

Utilizamos a linguagem de programação *python* para realizar a extrapolação a partir dos dados adquiridos. Podemos ver em 5 o resultado dessa extrapolação e em 1 o valor obtido para as perdas rotacionais.

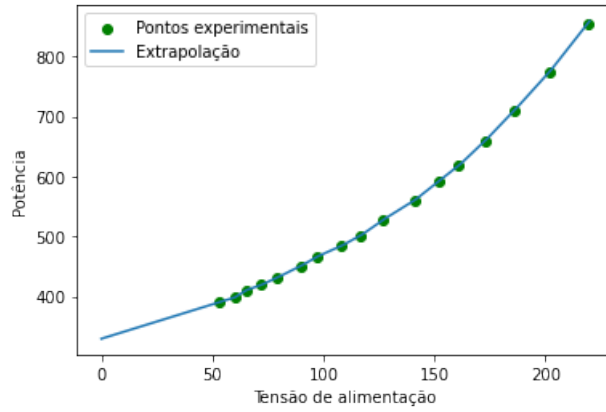


Figura 5: Curva de Tensão(V) x Potência(W)

$$Prot_{3\phi} = 329.43W \quad (1)$$

### 3.4 Determinação dos parâmetros do circuito

Agora podemos determinar os parâmetros restantes. Tendo os valores para as perdas no cobre do estator, a partir do ensaio com rotor bloqueado, bem como as perdas rotacionais e potência de entrada do sistema, podemos determinar as perdas no ferro:

$$P_{ferro} = P_{1\phi} - R_1 I_f^2 - \frac{P_{rot}}{3} = 83.62W$$

Em seguida, determinamos a tensão sobre o ramo magnetizante ( $V_m$ ), bem como as correntes para a resistência das perdas no núcleo ( $I_c$ ) e para o ramo magnetizante ( $I_m$ ):

$$\theta = \arccos(FP) = \arccos\left(\frac{P_{1\phi}}{V_f I_f}\right) = 82.96^\circ$$

$$V_m = V_f - (R_1 + jX_1)I_f \angle \theta = 223.79 \angle -2.36^\circ V$$

$$|I_c| = \frac{P_{ferro}}{V_f} = 376.6 mA$$

visto que  $I_c$  percorre somente componentes ativos, seu ângulo é o mesmo de  $V_m$ :

$$I_c = 376.6 \angle -2.23^\circ mA$$

$$I_m = I_f \angle \theta - I_c = 10.57 \angle 85^\circ A$$

Conhecendo as correntes e tensões nos ramos, podemos calcular os parâmetros desejados do circuito:

$$R_c = \frac{V_m}{I_c} = 594.23 \Omega$$

$$X_m = \frac{V_m}{I_m} = 21.17 \Omega$$

### 3.5 Análise de considerações alternativas

O Chapman [2013] aponta que a maior parte da queda de tensão acontece em cima dos elementos reativos do circuito, visto que  $I_m \gg I_c$ . Assim,  $Z_{eq} = \frac{V_\phi}{I_f} \approx X_1 + X_m$ . Seguindo essas considerações temos:

$$X_1 + X_m = 20.66$$

a partir de  $X_1$  obtido no ensaio de rotor travado:

$$X_m = 20.16$$

Em comparação com o resultado obtido a partir do roteiro de Batistela and Sadowski na seção 3.4:

$$\frac{|X_{chapman} - X_{roteiro}|}{X_{roteiro}} = 4.7\%$$

## 4 Circuito equivalente

A partir dos valores obtidos nos ensaios podemos construir nosso circuito monofásico equivalente do motor de indução estudado. Este circuito é apresentado na figura 6.

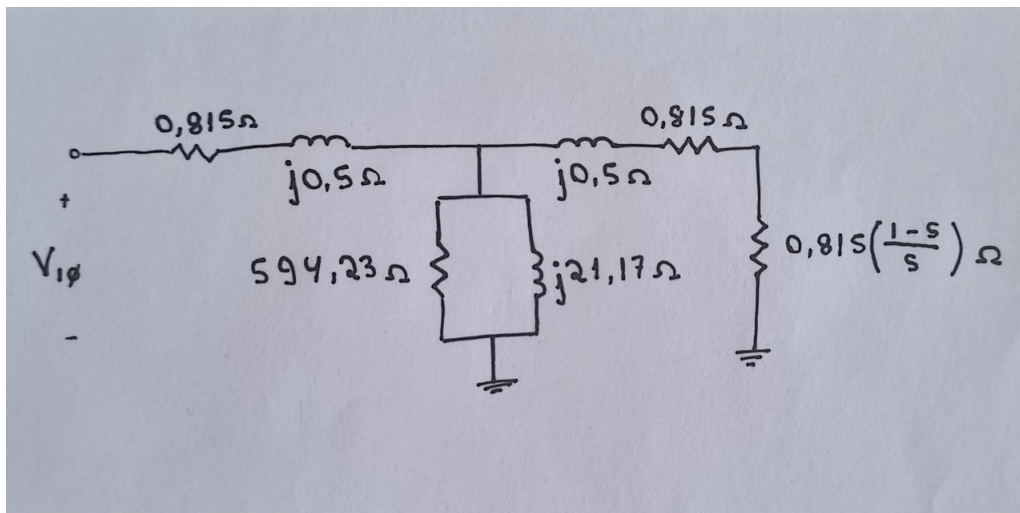


Figura 6: Circuito equivalente

## Bibliografia

N. J. Batistela and N. Sadowski. Roteiro de experiência i. URL <https://moodle.ufsc.br/mod/resource/view.php?id=3463403>.

Stephen J. Chapman. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. AMGH Editora, 2013. ISBN 978-85-8055-207-2.