

Manual de Uso

Laboratório de TCC em Máquinas
SEL/EESC/USP

Écio Farias

A large, light blue rectangular area containing a faint, stylized illustration of three wind turbines. The turbines are depicted in a simple, geometric style with three blades each. They are positioned in a field, with the central turbine being the largest and most prominent, and two smaller ones on either side. The background within this area is a soft, hazy gradient of light blue and white.

SÃO CARLOS – 2017



ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Este material foi construído tendo como base a linha de pesquisa do Trabalho de Conclusão de Curso feito pelo autor sob a orientação do Dr. Elmer Pablo Tito Cari para identificação do modelo de um gerador de indução. Neste material é apresentado um procedimento de operação padrão para coletar as medidas reais de um pequeno SEP montado em laboratório para fins de pesquisa e estudo.

Atualização 1.0, Abril 2017

Écyo R. C. Farias



Sumário

1	SEP Montado em Laboratório	5
1.1	Resumo	5
1.2	POP: Medidas coletadas do GI	7
2	Anexos	15
	Bibliografia	19



1. SEP Montado em Laboratório

1.1 Resumo

Atualmente, o Sistema Elétrico de Potência (SEP) montado em laboratório para estudo é composto por duas bancadas isoladas: uma composta por um Gerador de Indução (GI) acionado por um Motor de Corrente Contínua (MCC) e a outra composta por um Gerador Síncrono (GS) acionado por outro MCC.

Este material é um procedimento de operação padrão (POP) para coletar as medidas reais do GI, etapa integrante do processo de estimação de parâmetros desta máquina. O estudo detalhado do sistema bem como próprio método de estimação foge do escopo deste POP, sendo abordado em (FARIAS, 2016).

O esquema proposto para coletar estas medidas na presença de perturbações é ilustrado na Figura 1.1. A bancada em estudo é formada pelo GI¹, acionado por um motor de corrente contínua (MCC), conectado a uma carga estática e a rede elétrica. Inicialmente, na ocorrência de uma perturbação, são registradas as medidas disponíveis do sistema por meio de medidores instalados no SEP. No caso sob estudo, estas medidas são as tensões de fase (V), as correntes de linha (I) e a velocidade no eixo do gerador (ω).

A perturbação, consiste na comutação de uma carga dinâmica representada por um motor de indução trifásico de pequeno porte (220 V, 1471 W, 60 Hz). Na ocorrência da perturbação, os dados medidos das tensões e correntes trifásicas no barramento central de conexão com gerador assim como sua velocidade são amostrados e filtrados em uma placa de aquisição de dados da *National Instruments* (NI), monitorada e controlada pelo *software* de processamento LABVIEW, instalado em um computador local.

Para coletar as medidas reais do sistema, foram construídos “*kit's*” condicionadores de sinais composto por transformadores de corrente e de tensão, conforme apresentado na Figura 1.3. Ademais, foi realizada a instalação de um encoder para leitura de velocidade no gerador.

¹Dados nominais de placa 220 V, 2683 VA, 2200 W, 1800 rpm e 60 Hz

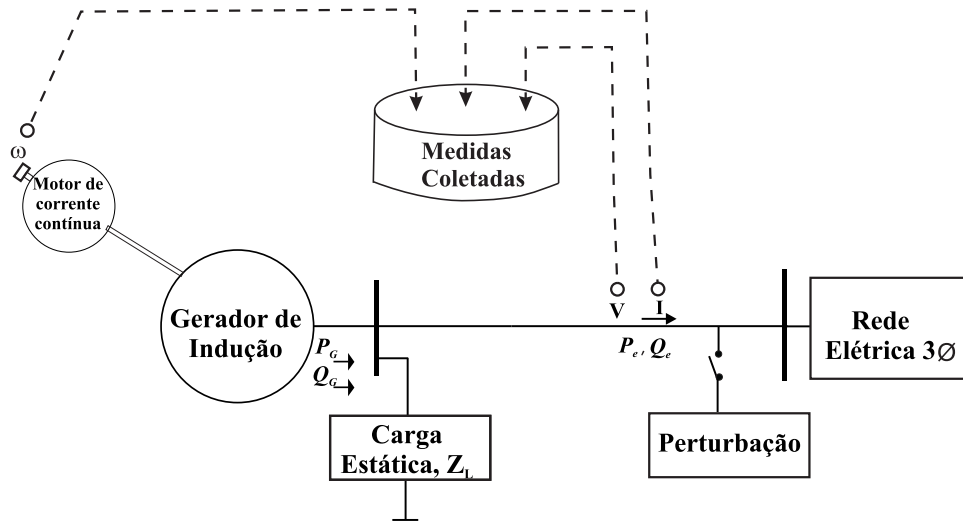


Figura 1.1: SEP ensaiado em laboratório para identificação do modelo do gerador de indução.

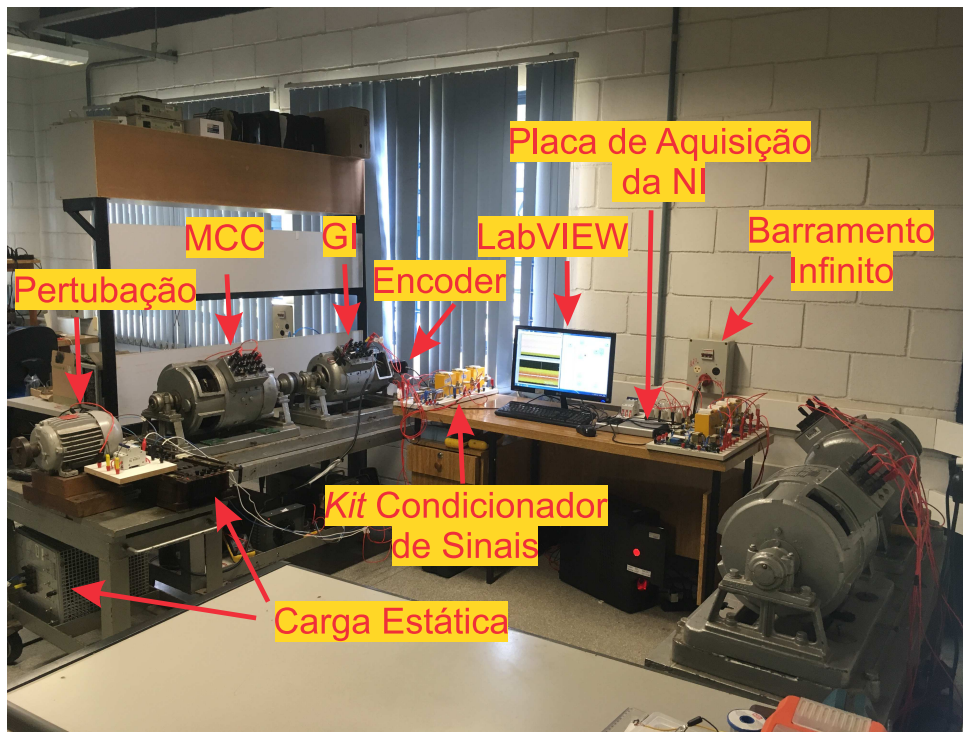


Figura 1.2: Visão global do SEP montado em laboratório com os equipamentos instalados.

Vale destacar que para a alimentação de todas as máquinas são utilizados VARIAC'S, que são fonte de tensão alternada e portanto diretamente compatível com o estator do GI. Para alimentação do MCC, foram construídos pequenas placas com pontes retificadoras, monofásica e trifásica, para obtenção de tensão contínua para os enrolamentos de campo e de armadura. Todos os VARIAC'S e pontes retificadoras utilizados estão mostrados na Tabela 2.1 e na Figura 2.1, respectivamente, em

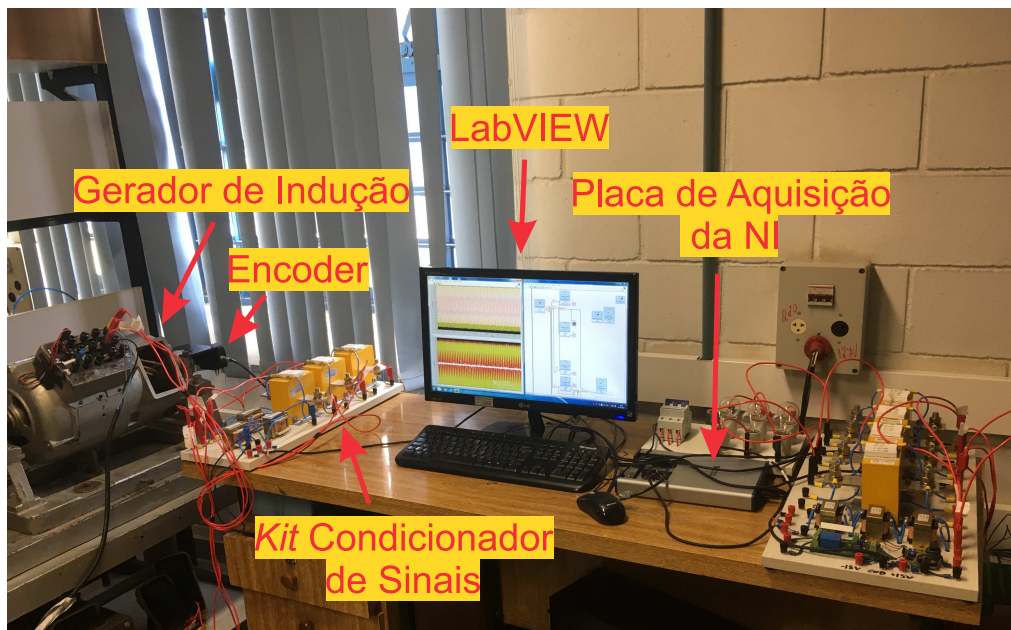


Figura 1.3: Instrumentação para aquisição de dados do SEP.

Anexo 2. O termais do rotor do GI foram circuitados.

1.2 POP: Medidas coletadas do GI

1. Realizar as conexões elétricas trifásicas entre o MCC, o GI, a carga estática e carga dinâmica de perturbação, conforme diagrama unifilar apresentado na Figura 1.1.
2. Realizar as conexões elétricas trifásicas entre o kit_1 condicionador e a placa da NI, conforme a Tabela 1.1 a seguir.

Tabela 1.1: Conexões elétricas entre o kit condicionador de sinais e a placa da NI

Saída kit_1	Porta NI
V_a	1
V_b	2
V_c	4
I_a	5
I_b	7
I_c	8
GND	3

NOTA:

$V_{a,b,c} \equiv$ Terminal secundário (positivo) do transformador de potencial em uma dada fase (A , B ou C).

$I_{a,b,c} \equiv$ Terminal secundário (positivo) do transformador de corrente em uma dada fase (A , B ou C).

A Figura 2.4 traz todas as portas da placa da NI.

3. Realizar as conexões elétricas entre o *encoder*, instalado no GI, e a placa da NI, conforme a Tabela 1.2 a seguir.

Tabela 1.2: Conexões elétricas entre o *encoder* e a placa da NI

Função <i>encoder</i> – COR	Porta NI
Canal A – Laranja	81 (PFI 8)
Canal B – Amarelo	85 (PFI 10)
Canal Z – Verde	83 (PFI 9)
Alimentação Pos. – Vermelho	96
GND – Marrom	94

NOTA:

A folha de dados do *encoder* pode ser consultada no arquivo `datasheet_encoder.pdf` na pasta <Datasheets>.

IMPORTANTE:

Para um mesmo *encoder*, a escolha das portas da placa NI onde serão conectadas os canais deve ser feita considerando um mesmo contador. Para a Tabela 1.2 considerou-se o contador 0 ($Ctrl0$), conforme mostrado na Figura 1.4.

4. Ajustar a corrente de campo do MCC (e.g: $I_{campo}^{oper} = 0,3A$ sendo $I_{campo}^{nom} = 0,6A$).
5. Verificar se o MCC e o GI irão girar em sentidos concordantes.

NOTA:

O sentido de rotação da máquina de indução pode ser verificado ajustando o VARIAC do estator até que a corrente seja um pouco menor que o valor nominal da máquina (e.g: $I_{GI}^{este} = 8,0A$, sendo $I_{GI}^{nom} = 8,8A$). Ao tentar rotacionar o eixo “com a mão”, um dos sentidos (horário ou anti-horário) é favorecido ao passo que o outro é dificultado. Em seguida, retirar a alimentação do VARIAC do GI, e verificar o sentido de rotação do MCC girando levemente o VARIAC da armadura quando o eixo começar a girar. Se o MCC estiver girando em sentido contrário ao do GI, inverter os terminais de alimentação do circuito de campo do MCC.

X Series Signal Connections for Counters

The following table lists the default input terminals for various counter measurements on X Series devices. You can use a different PFI line for any of the input terminals attributes/properties.

Measurement	Ctr0	Ctr1	Ctr2	Ctr3
Count Edges	Edges: PFI 8 Count Direction: PFI 10	Edges: PFI 3 Count Direction: PFI 11	Edges: PFI 0 Count Direction: PFI 2	Edges: PFI 5 Count Direction: PFI 7
Pulse Width Measurement	PFI 9	PFI 4	PFI 1	PFI 6
Period/Frequency Measurement (Low Frequency with One Counter)	PFI 9	PFI 4	PFI 1	PFI 6
Period/Frequency Measurement (High Frequency with Two Counters)	PFI 8	PFI 3	PFI 0	PFI 5
Period/Frequency Measurement (Large Range with Two Counters)	PFI 8	PFI 3	PFI 0	PFI 5
Pulse Measurement	PFI 9	PFI 4	PFI 1	PFI 6
Semiperiod Measurement	PFI 9	PFI 4	PFI 1	PFI 6
Two-Edge Separation Measurement	Start: PFI 10 Stop: PFI 9	Start: PFI 11 Stop: PFI 4	Start: PFI 2 Stop: PFI 1	Start: PFI 7 Stop: PFI 6
Position Measurement	A: PFI 8 B: PFI 10 Z: PFI 9	A: PFI 3 B: PFI 11 Z: PFI 4	A: PFI 0 B: PFI 2 Z: PFI 1	A: PFI 5 B: PFI 7 Z: PFI 6

The following table lists the output terminals for counter output. You can use a different PFI line for any of the output terminals.

Ctr0	Ctr1	Ctr2	Ctr3
PFI 12	PFI 13	PFI 14	PFI 15

Figura 1.4: Portas da placa NI para uso dos contadores.

6. A máquina de indução possui um torque de partida e, conseqüentemente, uma corrente de partida bastante elevada. O procedimento aqui adotado é ajustar a velocidade do MCC, por meio do VARIAC da armadura, até um valor significativo ($\omega = 1000 \text{ rpm}$) de forma a contribuir com o torque de partida da máquina de indução.

NOTA:

A leitura de velocidade do eixo para simples inspeção pode ser feita por meio de um tacômetro ou utilizando o programa `leitura_velocidade_MI.vi` localizado na pasta <Programas Labview>, utilizando as configurações ilustradas na Figura 1.5.

7. Dá a partida na máquina de indução ajustando o VARIAC do estator para a tensão nominal de operação do GI ($V_{GI}^{nom} = 220 \text{ V}$).

CUIDADO!

Atenção redobrada para o multímetro que indica a leitura da corrente no estator da máquina de indução, para não ultrapassar o valor nominal desta máquina. Se de forma acidental isto ocorrer, o VARIAC possui fusíveis de proteção que irão abrir contato. Em geral, os fusíveis utilizados fornecem proteção para corrente acima de $10 \sim 12 \text{ A}$.

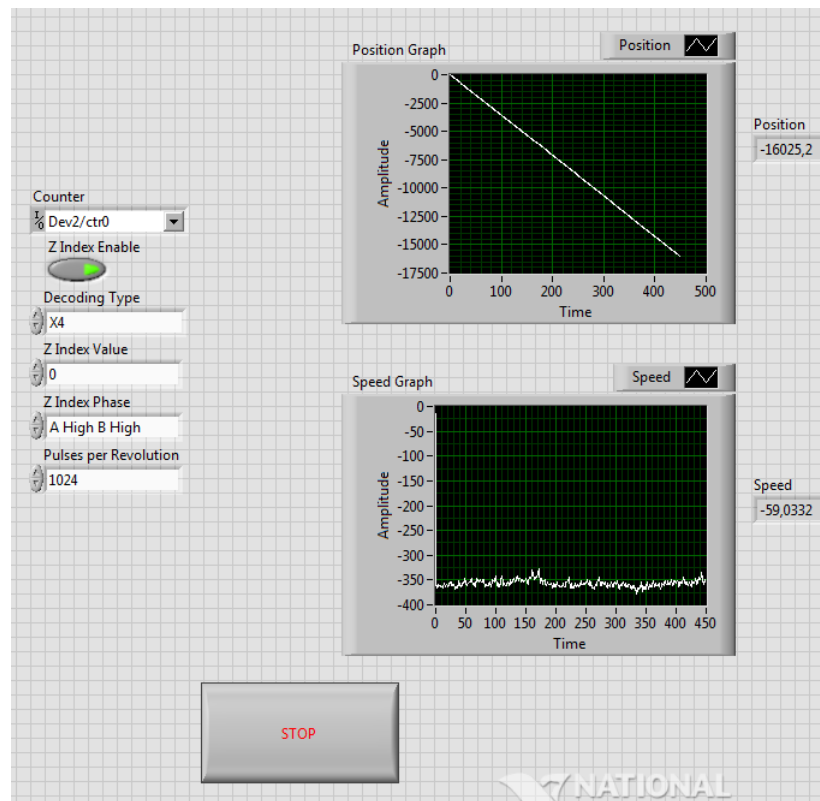


Figura 1.5: Visão (em painel) do programa implementado no LABVIEW para inspeção da velocidade de eixo. Os gráficos são atualizados e as leituras de posição/velocidade são congeladas na tela após pressionar o botão STOP.

8. Tendo como controle o VARIAC da armadura do MCC, ajustar a velocidade do eixo para um valor acima da velocidade nominal do GI ($\omega_{GI}^{nom} = 1800 \text{ rpm}$), de forma que a máquina de indução atue de fato como gerador.

IMPORTANTE:

Durante os ensaios realizados, o MCC apresentou faiscamentos para velocidades superiores a um certo valor (e.g: 2000 rpm). Este problema foi parcialmente atenuado quando o alinhamento das máquinas foi melhor ajustado. Recomenda-se, portanto, um alinhamento ainda melhor com ajuda de um profissional (torneiro) no futuro.

9. O programa `GI_aquisicao.vi` (ver diagrama na Figura 1.6 localizado na pasta <Programas Labview> aquista as medidas de tensão, corrente e posição angular (os dados de velocidade serão obtidos externamente a seguir) fornecidas pela placa da NI, conforme esquemático da Figura 1.1, e realiza suas gravações em um computador local.
Configurar o diretório aonde serão salvos e definir o nome dos arquivos de gravação. É necessário a definição de dois arquivos: um com os dados temporais de tensão e corrente e outro dos com dados temporais de ângulo do eixo, conforme mostrado nas Figuras 1.7 e 1.8, respectivamente.

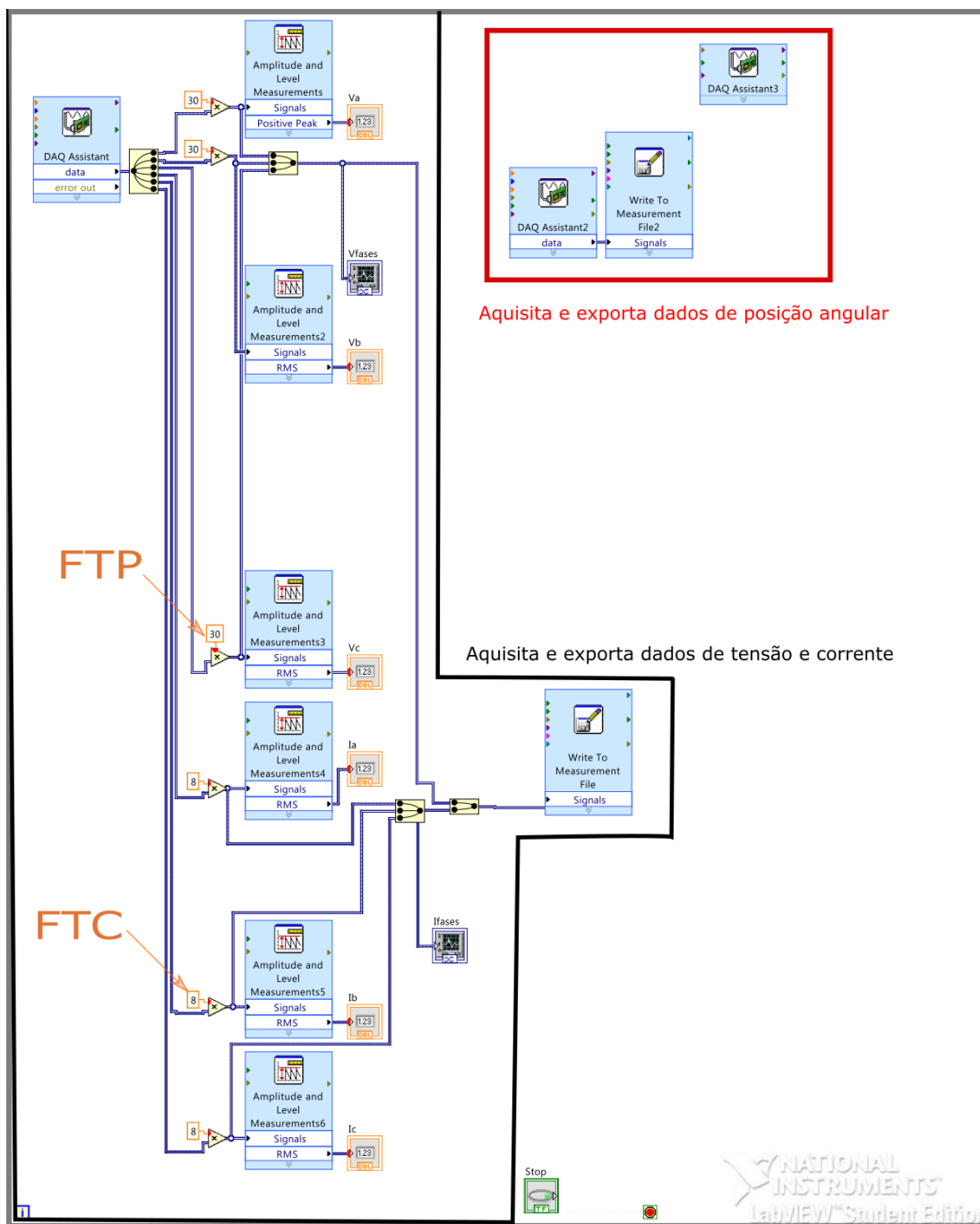


Figura 1.6: Visão (em diagrama) do programa implementado no LABVIEW para aquisição e gravação das medidas do GI

NOTA:

FTP \equiv Fator (de correção de leitura) do transformador de potencial
FTC \equiv Fator (de correção de leitura) do transformador de corrente.

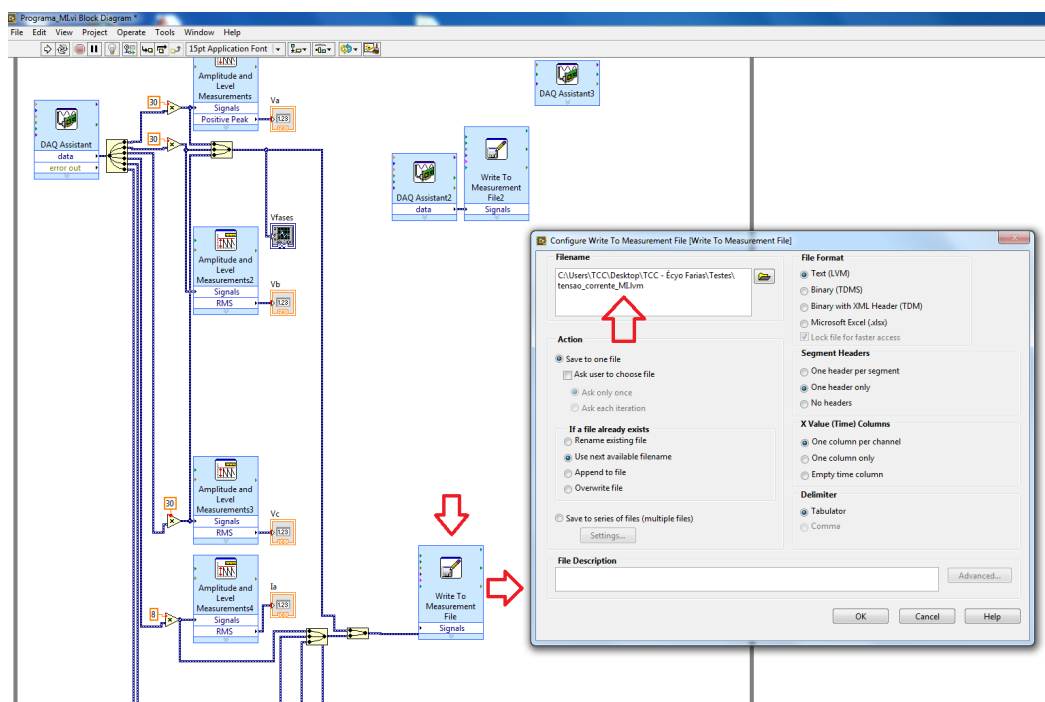


Figura 1.7: Janela para definição do diretório e nome do arquivo com os dados de tensão/corrente.

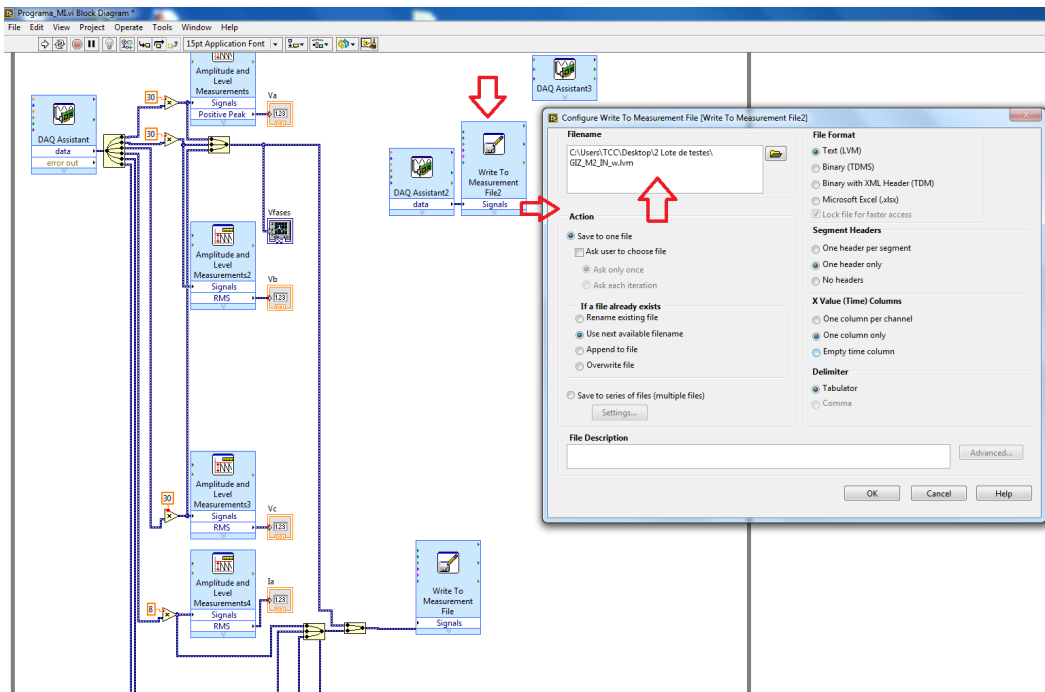


Figura 1.8: Janela para definição do diretório e nome do arquivo com os dados de ângulo.

10. Os arquivos com os dados temporais de tensão/corrente e posição angular são gerados, conforme ilustrados na Figura 1.9.

Excluir este cabeçalho

t	Va	t	Vb	t	Vc	t	Ia	rad
0,000000	-0,010738							
1,000000	-0,030680							
2,000000	-0,049087							
3,000000	-0,069029							
4,000000	-0,087437							
5,000000	-0,105845							
6,000000	-0,123786							
7,000000	-0,144194							
8,000000	-0,162602							
9,000000	-0,182544							
10,000000	-0,200951							
11,000000	-0,220893							
12,000000	-0,239301							
13,000000	-0,257709							
14,000000	-0,277651							
15,000000	-0,296058							
16,000000	-0,316000							
17,000000	-0,334408							
18,000000	-0,352816							
19,000000	-0,372757							
20,000000	-0,391165							
21,000000	-0,411107							
22,000000	-0,429515							
23,000000	-0,447922							
24,000000	-0,467884							
25,000000	-0,485272							
26,000000	-0,506214							
27,000000	-0,524621							
28,000000	-0,543029							
29,000000	-0,562971							
30,000000	-0,581379							
31,000000	-0,601320							
32,000000	-0,619728							
33,000000	-0,638136							
34,000000	-0,658078							
35,000000	-0,676486							
36,000000	-0,694893							
37,000000	-0,714835							
38,000000	-0,733243							
39,000000	-0,751651							
40,000000	-0,771592							
41,000000	-0,790000							
42,000000	-0,809942							
43,000000	-0,828350							
44,000000	-0,846757							
45,000000	-0,865165							
46,000000	-0,883107							
47,000000	-0,903515							
48,000000	-0,921922							
49,000000	-0,941864							
50,000000	-0,960272							
51,000000	-0,978680							
52,000000	-0,998621							
53,000000	-1,017029							
54,000000	-1,036971							
55,000000	-1,055379							
56,000000	-1,073321							
57,000000	-1,093728							
58,000000	-1,113670							
59,000000	-1,132078							
60,000000	-1,150486							
61,000000	-1,170427							
62,000000	-1,188835							
63,000000	-1,208777							
64,000000	-1,227185							
65,000000	-1,245592							
66,000000	-1,265534							
67,000000	-1,283942							
68,000000	-1,302350							

Figura 1.9: Arquivos com os dados de tensão/corrente (esq.) e de ângulo (dir.).

11. Converter os dados de posição angular para velocidade angular e geração de um novo arquivo com os dados de velocidade. Para isto, faz-se uso da rotina `vetor_velocidade.m` localizada na pasta <Pre-Processamento de Dados>.



2. Anexos

Tabela 2.1: VARIAC'S utilizados no SEP montado em laboratório

Modelo da Fonte	Circuito de Alimentação	Especificações Técnicas
AUJE	Estator do GI	Entrada: 220V Saída: 0 ~ 240V $I_{max} = 10A$ $P_{max} = 4200VA$ Fases = 3 Frequência = 50/60Hz
STP	Armadura do MCC	Entrada: 220V Saída: 0 ~ 240V $I_{max} = 11A$ $P_{max} = 4500VA$ Fases = 3 Frequência = 60Hz
STP	Campo do MCC	Entrada: 220V Saída: 0 ~ 240V $I_{max} = 6,3A$ $P_{max} = 1500VA$ Fases = 1 Frequência = 60Hz

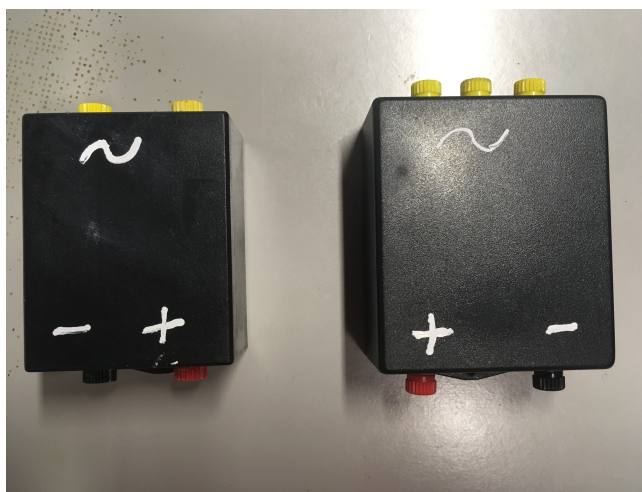


Figura 2.1: Pontes Retificadoras para alimentação dos enrolamentos de campo (ponte monofásica esq.) e de armadura (ponte trifásica dir.) do MCC.

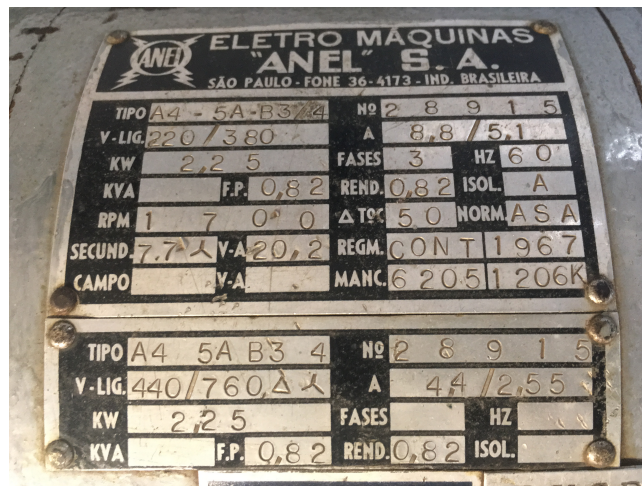


Figura 2.2: Dados de placa do GI.



Figura 2.3: Dados de placa do MCC.

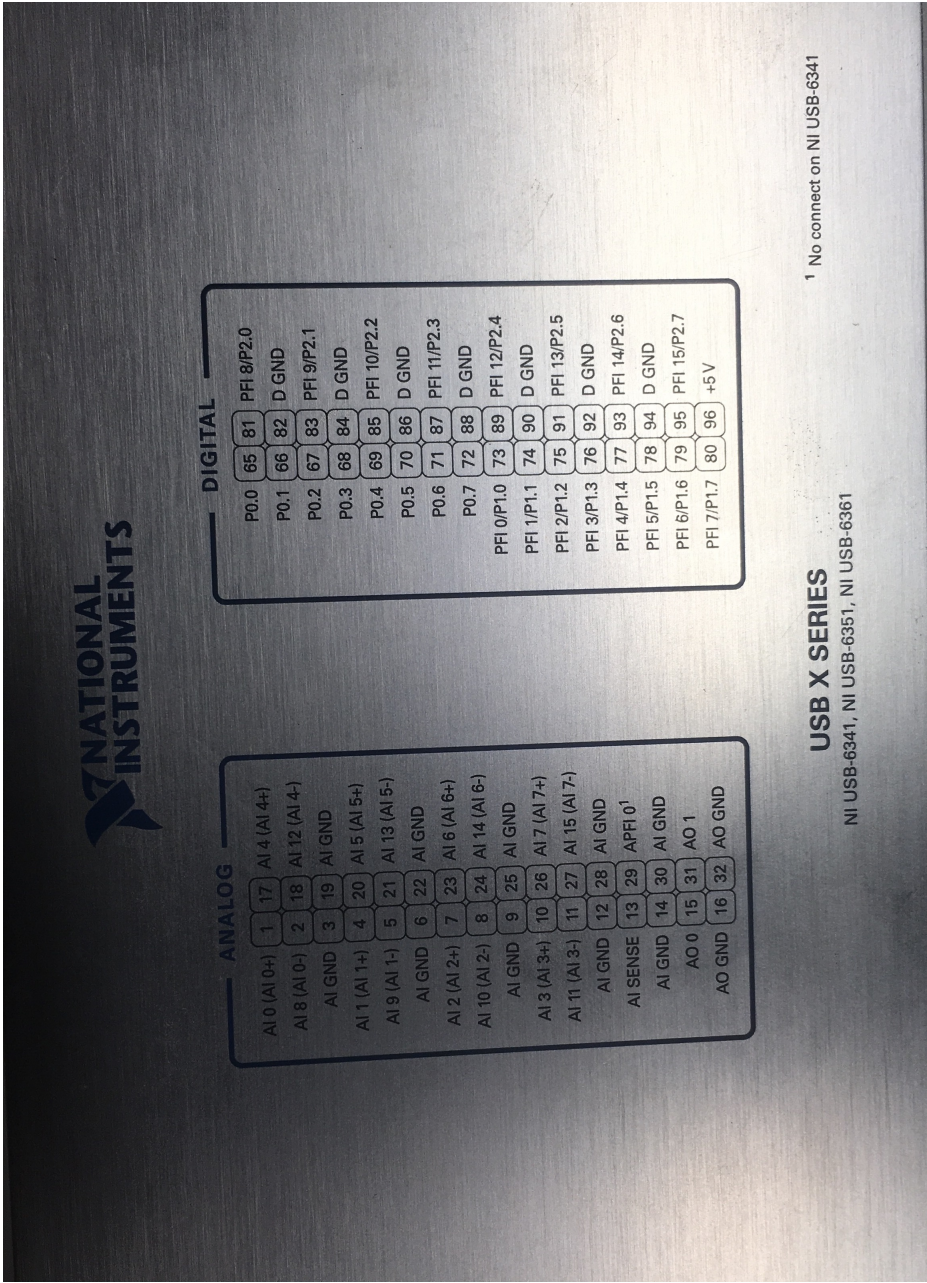


Figura 2.4: Portas I/O do LABVIEW.



Bibliografia

- [1] FARIAS, E. R. C. **Estimação de Parâmetros de um Gerador de Indução baseada no Método de Sensibilidade de Trajetória**. 2016. Trabalho de Conclusão do Curso (Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2016.