

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

7.1 COMENTÁRIOS SOBRE OS RESULTADOS

As formas de onda das tensões e correntes medidas e simuladas, para os mesmos ângulos, foram bem similares no ensaio de desempenho. As distorções presentes nas formas de onda da tensão medidas são, em sua maior parte, causadas pelo alto grau de *ripple* (ondulação) da tensão contínua utilizada para energização do motor a relutância chaveado quando a exigência por corrente se acentua em velocidades menores.

As formas de onda do torque não acompanham tão bem os resultados esperados obtidos via simulação. Esse fato pode estar relacionado com as características construtivas do motor a relutância sob teste, com aspectos de interação mecânica entre os motores e de vibração da bancada de testes. Contudo, as Tabelas 6.1 e 6.2 indicam que o processo de medição de torque apresenta resultados razoáveis, mas, que são passíveis de melhoria.

No ensaio de determinação das curvas de magnetização o motor a relutância chaveado não foi submetido, para posição de pólos alinhados, a níveis de corrente que o levasse a saturação. Assim, com as curvas de magnetização obtidas foi possível apenas determinar o comportamento indutivo do motor na faixa linear. Para pequenas tensões, ainda para posição de pólos alinhados, ocorreram desvios na curva de magnetização que podem estar relacionados com a pequena corrente estabelecida, limitação em realizar a medição e questões algorítmicas.

7.2 ASPECTOS DESENVOLVIDOS NO TRABALHO

Este trabalho apresentou uma bancada automatizada de ensaios para motores a relutância chaveados. Foi apresentada também uma proposta de ensaios, a qual se fundamenta na fixação da velocidade de rotação dos motores sob teste através de uma máquina de indução

trifásica de grande potência, cujo acionamento é realizado por meio de um conversor de frequência.

O nível de automação com o qual o sistema da bancada foi construído se mostrou bastante satisfatório, já que propiciou a execução de forma fácil e rápida dos ensaios. Como visto, a automação está circunscrita em quatro aspectos principais:

- Variação da tensão de corrente contínua aplicada ao motor a relutância através de um retificador alimentado por uma fonte senoidal programável;
- Variação e fixação da velocidade de ensaio do motor a relutância através de uma máquina de indução trifásica, cujo acionamento é realizado através de um conversor de frequência;
- Variação do ângulo de disparo das chaves semicondutoras do conversor de potência; e
- Aquisição e processamento dos dados obtidos.

7.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Listam-se a seguir algumas sugestões para a continuidade deste trabalho:

- Levantamento do desempenho para uma faixa ampla de velocidade;
- Levantamento do desempenho de torque para outras topologias de circuitos acionadores de motores a relutância;
- Utilização da bancada desenvolvida para o controle de velocidade de motores a relutância chaveados sob carga monitorando-se o torque de forma direta;
- Inclusão de sensores de temperatura na máquina sob teste para melhorar a análise, assim levando em consideração a temperatura dos enrolamentos de forma mais precisa;
- Obtenção da curva de torque estático.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W. H. *Projeto e Construção de um Protótipo e Implementação de Estratégias de Chaveamento de um Motor à Relutância Chaveado*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

CARDOSO, J. R. *Introdução ao Método dos Elementos Finitos*. 1ª Edição. São Paulo: Publicação Independente, 1992.

CEDRAT GROUPE. *Flux® 10 2D/3D Applications*. Vol. I. Meylan, 2007.

FERRERO, RACITI A., e URZI, C. *An Indirect Test Method for the Characterization of Variable Reluctance Motors*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, dezembro de 1993: pág. 1020.

FITZGERALD, et. all. *Máquinas Elétricas*. 6ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

KOSTENKO, M. e PIOTROVSKI, L. *Máquinas Elétricas*. Porto: Lopes da Silva, 1979.

KRISHNAN, R. *Switched Reluctance Motor Drives: Modeling, Simulation, Analysis, Design, and Applications*. Nova Iorque: CRC Press LLC, 2001.

LIMA, J. P. F. *Sistema de Caracterização de Materiais Magnéticos Moles: Aplicação à Caracterização de Aços ao Silício*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2006.

MCPHERSON, G. e LARAMORE, R. D. *An Introduction to Electrical Machines and Transformers*. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 1990.

MILLER, T. J. E. *Electronic Control of Switched Reluctance Machines*. Londres: Newnes, 2001.

VIJAYAKUMAR, K, et. all. *Switched Reluctance Motor Modeling, Design, Simulation, and Analysis: A Comprehensive Review*. *IEEE Transactions on Magnetics*, dezembro de 2008: págs. 4605-4617.

YOKOGAWA M&C Corporation. *Kelvin Bridge 2769 User's Manual*. 3º Edição, Japão: 1999.

GLOSSÁRIO

<i>bit</i>	(Informática) inglês: <i>Binary digiT.</i>
<i>Buffer</i>	(Informática) registro, buffer, área usada para armazenamento temporário de dados na memória do computador durante operações de entrada/saída.
<i>byte</i>	(Informática) unidade de informação básica composta de 8 <i>bits</i> .
<i>char</i>	(Informática, computadores) abreviação de <i>character</i> .
<i>checksum</i>	(Informática) Acrônimo para <i>SUMmation CHECK</i> , verificação do número de <i>bits</i> que são transferidos para descobrir erros na transferência.
<i>chipset</i>	(Informática) Grupo de circuitos integrados (<i>Chips</i>) que fazem a ligação entre a Unidade Central de Processamento (<i>CPU</i>) e as demais unidades do computador pessoal (<i>PC</i>).
Chroma	É a maior fornecedora de fontes de potência de instrumentos de testes e sistemas, incluindo fontes CA e CC, cargas CA e cargas eletrônicas CC, instrumentos de medição e sistemas de medição automatizados para dispositivos de potência.
DAQ	Acrônimo para <i>Data acquisition</i> (aquisição de dados).
<i>Efetuar login</i>	(Informática) ou ligar-se é a ação necessária para acessar um sistema computacional restrito inserindo uma identificação, podendo esta ser ou não única para cada usuário, e a senha relacionada a ela. Uma vez <i>logado</i> , o usuário passa a ser identificado no sistema, restringido ou permitido a acessar recursos do sistema.
<i>encoder</i>	Dispositivo eletro-eletrônico usado para medições de velocidade.
<i>exception</i>	(Informática) Exceção, mensagem gerada sob certas condições de processamento ou comunicação.
<i>Frame</i>	Quadro (<i>Internet</i> - protocolo contendo blocos de dados com cabeçalho e rodapé).

<i>Get Started</i>	(inglês) começar, iniciar, dar a partida, ativar, mover; estabelecer.
LEM	é uma líder de mercado, fornecendo soluções inovadoras e de alta qualidade para medição de parâmetros elétricos.
<i>listener</i>	(Informática) Terminologia GPIB empregada para o “ouvinte”
<i>login</i>	(Informática) <i>Login</i> ou <i>Palavra-Senha</i> é um conjunto de caracteres solicitado para os usuários que por algum motivo necessitam acessar algum sistema computacional. Geralmente os sistemas computacionais solicitam um <i>login</i> e uma senha para a liberação do acesso.
<i>Logoff</i>	<i>Logoff</i> se refere a terminar o uso de um sistema computacional, removendo a senha do usuário. Trata-se de um reiniciar rápido, onde todos os programas são fechados e posteriormente é possível iniciar a área de trabalho com outro usuário.
<i>menu</i>	(Informática) lista de comandos ou opções que podem ser selecionadas.
<i>Modbus</i>	Protocolo de comunicação industrial.
<i>NI</i>	Acrônimo para <i>National Instruments</i> , empresa fabricante de placas de aquisição de sinais e do programa LabVIEW entre outros produtos.
<i>PCI Express</i>	(Informática) É um barramento ponto a ponto, onde cada periférico possui um canal exclusivo de comunicação com o <i>chipset</i> .
<i>ripple</i>	é a componente alternada (v_{ca}) que incide sobre uma fonte de corrente contínua (v_{cc}).
<i>Sample</i>	Amostra, normalmente de um sinal analógico que é digitalizado.
<i>splashscreen</i>	(Informática) Tela inicial que aparece enquanto um programa computacional carrega.
<i>strain gauges</i>	Transdutor de torque específico.
<i>SubVI</i>	<i>Instrumento Virtual</i> que pode ser acionado por outro <i>Instrumento Virtual</i> no está inserido.
<i>talker</i>	(Informática) Terminologia GPIB empregada para o “falante”
<i>unlisten</i>	(Informática) Terminologia GPIB empregada para o “surdo”
<i>untalk</i>	(Informática) Terminologia GPIB empregada para o “mudo”

ANEXO A – LABVIEW E AQUISIÇÃO DE SINAIS

A1 – INTRODUÇÃO

O objetivo do desenvolvimento do aplicativo gerenciador de ensaios foi proporcionar uma ferramenta computacional integrada com um sistema de aquisição de dados que permita a realização de ensaios de diversas modalidades de motores. O aplicativo foi desenvolvido em linguagem gráfica através do LabVIEW™ 8.5, é aplicado para aquisição de dados dos ensaios e processamento e tem como fundamento a facilidade de utilização, manutenção simples e de código aberto. Além de permitir a geração de relatórios e armazenamento dos resultados dos ensaios realizados em forma de arquivos de projeto.

A2 – O LABVIEW

A versão Profissional de Desenvolvimento permite a criação de aplicativos executáveis que podem ser instalados em computadores que não tenham o LabVIEW instalado. A Figura A1 mostra a tela de *splashscreen* do LabVIEW™ 8.5

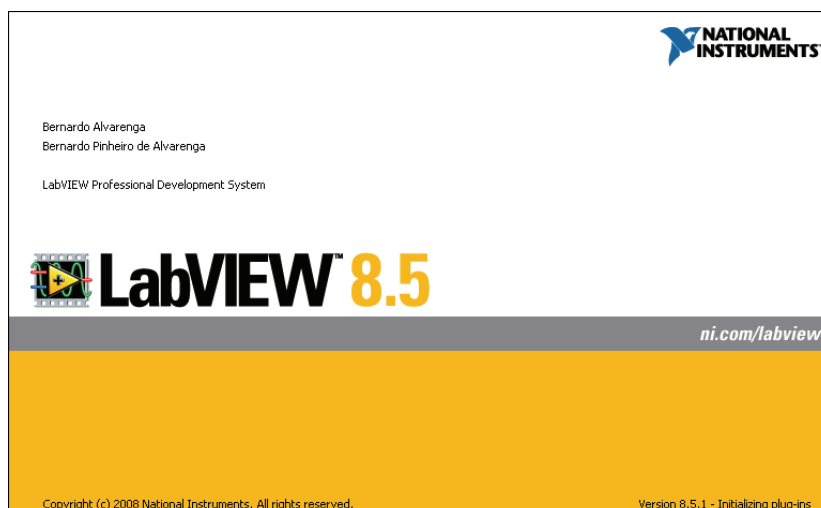


Figura A1 – Tela *splashscreen* LabVIEW™ 8.5.

Além de criar aplicativos executáveis, permite ainda à criação de instaladores que também instala uma máquina virtual (permite o funcionamento de programas LabVIEW em computadores que não possuem o programa de desenvolvimento LabVIEW).

A Figura A2 mostra a tela inicial do programa de desenvolvimento LabVIEW™ 8.5 profissional.

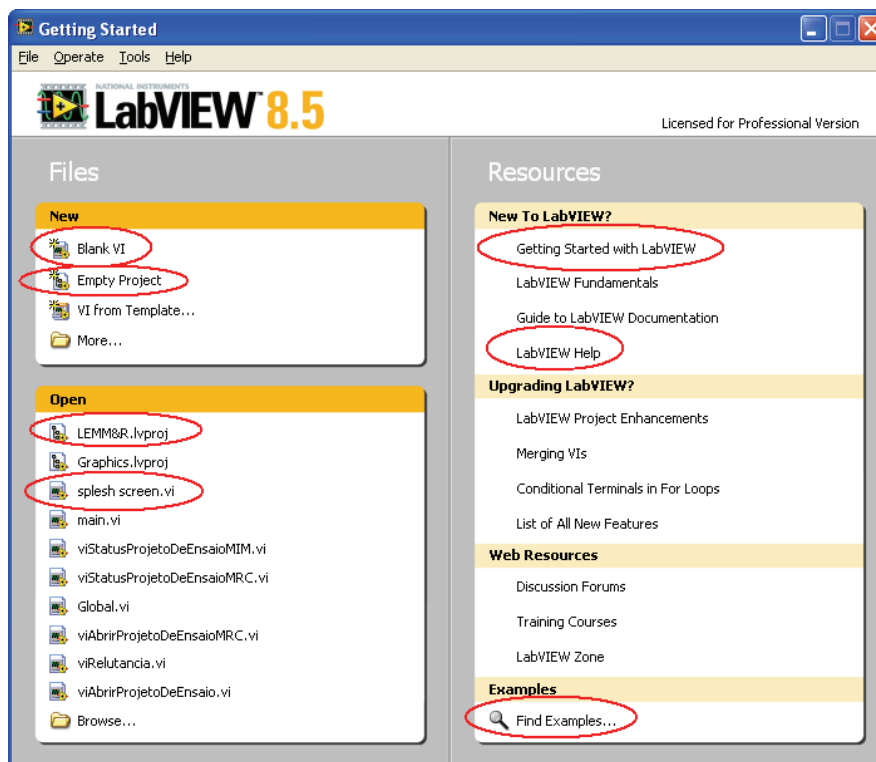


Figura A2 – Tela inicial *Get Started* do LabVIEW™ 8.5.

As ações mais importantes que podem ser tomadas a partir desta tela estão destacadas por alguns caminhos fechados de cor vermelha: iniciar um arquivo de *Instrumento Virtual (Virtual Instrument)* em branco (*Blank VI*) bem como iniciar um *Projeto Vazio (Empty Project)*, abrir arquivos de projetos ou arquivos avulsos que não façam parte de projetos, procurar por exemplos e acessar a ajuda do programa.

É conveniente fazer o desenvolvimento de aplicativos LabVIEW por meio de projetos, já que dentro de um projeto podem conter diversos *VIs* que fazem parte do aplicativo. Desta forma facilitando o entendimento, gerenciamento, reutilização de código e atualização do aplicativo.

A Figura A3 mostra um projeto iniciado ainda não salvo com nome temporário de *Untitled Project 1* e contém um *VI* também não nomeado com nome temporário *Untitled 1*.

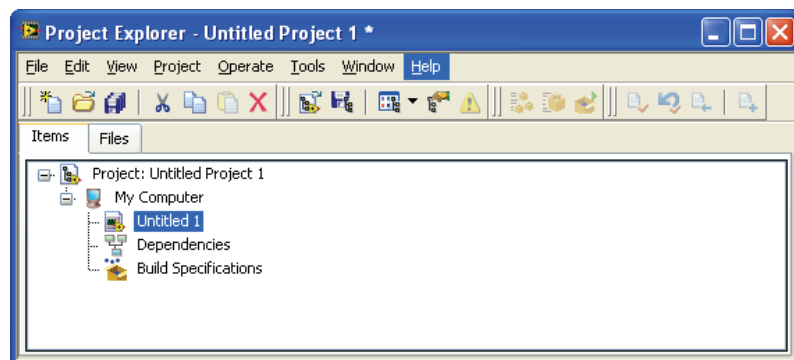
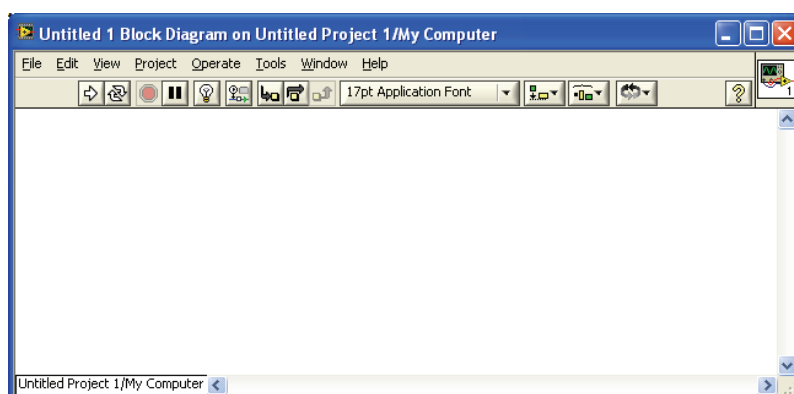
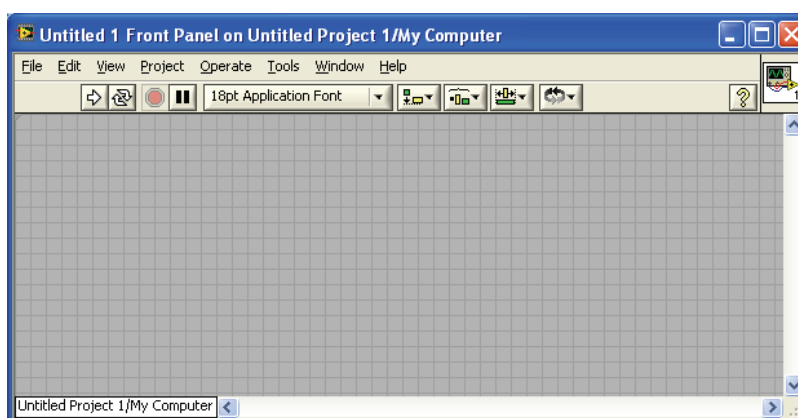


Figura A3 – Projeto LabVIEW em desenvolvimento.

Os VIs apresentam duas janelas de desenvolvimento básicas: o *painel frontal* e *diagrama de blocos*. A Figura A4 apresenta essas duas janelas.



(a)



(b)

Figura A4 – Janelas de desenvolvimento de um VI: (a) Painel frontal (b) Diagrama de Blocos.

O *painel frontal* é a janela que o operador ou usuário do programa em tempo de execução entra em contato para realização das operações que o aplicativo fornece para as quais foi desenvolvido. Quanto à janela de *diagrama de blocos* permite a programação gráfica em blocos, por esta razão, também é conhecida por programação G ou gráfica.

Cada uma das janelas apresenta paletas diferentes de desenvolvimentos que podem ser acessadas através de um clique com o botão direito do mouse:

- *Painel frontal*: paleta de controle (*controls*);
- *Diagrama de Blocos*: paleta de funções (*functions*).

A Figura A5 mostra as paletas de desenvolvimento de código gráfico de um *VI*.

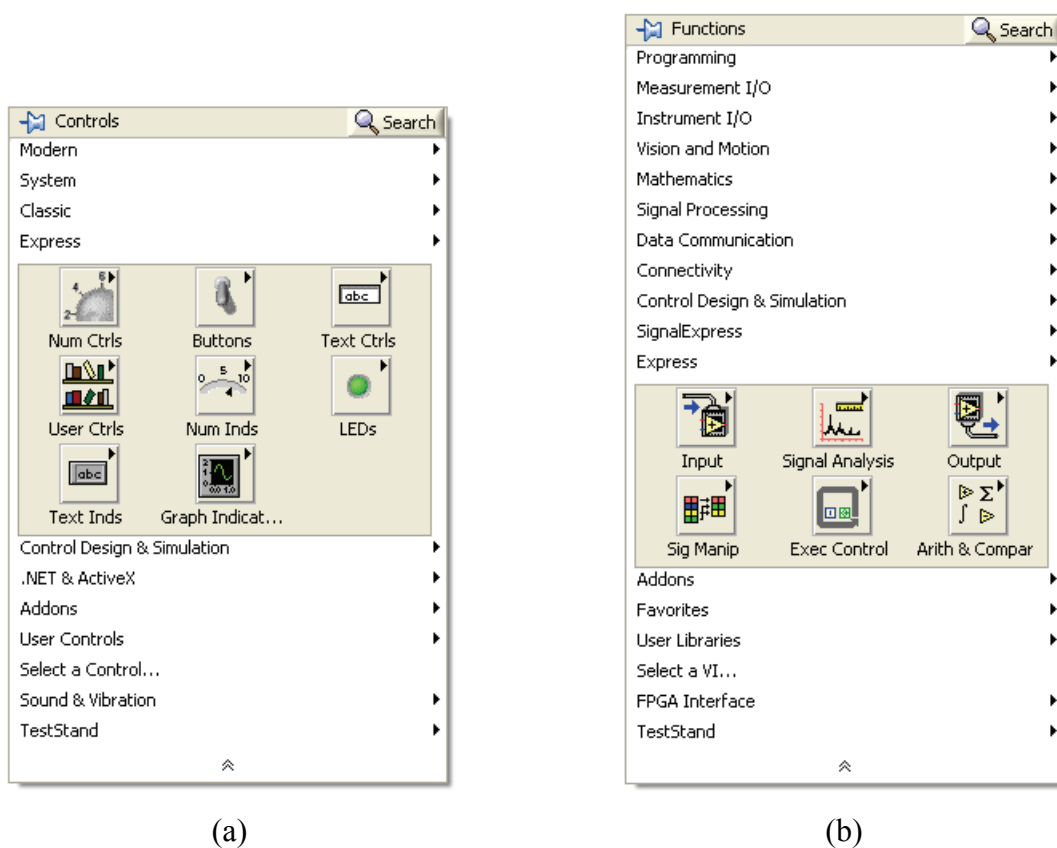


Figura A5 – Paletas de desenvolvimento de um *VI*: (a) Paleta *Controls* do *painel frontal*. (b) Paleta *Functions* do *diagrama de blocos*.

A3 – DA AQUISIÇÃO DE SINAIS ATRAVÉS DO LABVIEW

Na paleta subpaleta *Functions* → *Measurement I/O* → *DAQmx - Data Acquisition* encontramos o bloco mais importante para aquisição e geração de sinais: DAQ Assistant.

A Figura A6 mostra o bloco DAQ Assistant depois de inserido na janela de *diagrama de blocos*.

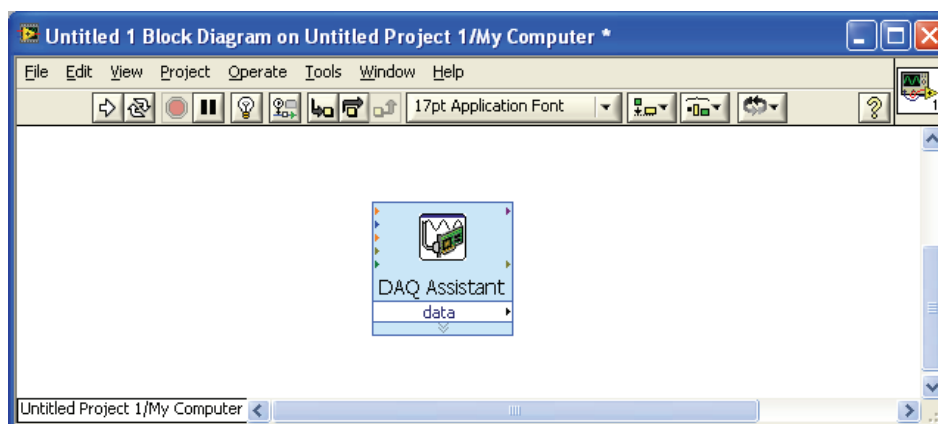


Figura A6 – Bloco de aquisição ou geração de sinais: DAQ Assistant.

Ao se inserir o bloco DAQ Assistant no *diagrama de blocos* surge uma janela (*Create New Express Task...*) na qual se podem escolher as seguintes opções conforme a placa de aquisição disponível:

- Adquirir Sinais
 - Entrada Analógica
 - Entrada Digital
 - TEDs
- Gerar Sinais
 - Saída Analógica
 - Saída de Contagem
 - Saída Digital

Depois de escolhido um dos canais de aquisição ou geração a janela de configuração (*DAQ Assistant*) que pode ser vista na Figura A7. Nesta janela é possível configurar diversas características entre as quais estão:

- Adicionar ou remover canais de aquisição ou geração de sinais;
- Modo de aquisição;
- Tamanho do *Buffer*, amostras a serem adquiridas (*Samples to Read*);
- Taxa de aquisição em Hz;

Pode-se efetuar ainda as seguintes ações:

- Testar a aquisição através do botão *Run* localizado na barra superior.
- Visualizar o diagrama de conexão (*Connection Diagram*) conforme a caixa de bornes disponível.

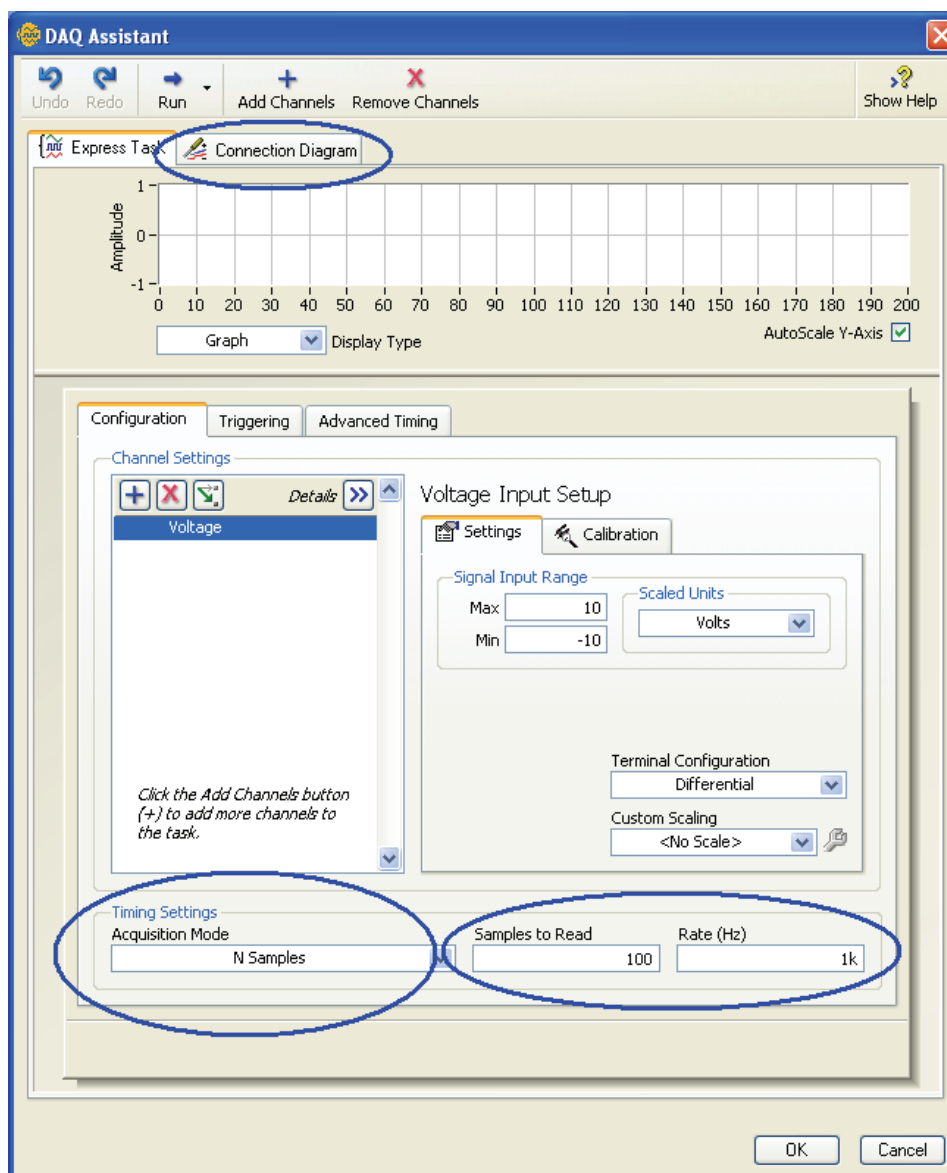


Figura A7 – Configurações de *Buffer* e taxa de aquisição.

Algumas destas configurações podem ser efetuadas de forma automática diretamente no *diagrama de blocos*, entretanto, um duplo clique em cima do bloco DAQ Assistant no *diagrama de blocos* permite o acesso à janela de configuração mostrada na Figura A7.

ANEXO B – RELATÓRIO DE ENSAIOS GERADO

B1 – INTRODUÇÃO

Apresenta-se a partir da próxima página o relatório gerado automaticamente a partir dos ensaios realizados em formato Microsoft Word.

RELATÓRIO DE ENSAIOS DE MOTORES A RELUTÂNCIA CHAVEADOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
Escola de Engenharia Elétrica e Computação
LEPME - Laboratório de Ensaio de Pequenos Motores Elétricos



DADOS DO MOTOR À RELUTÂNCIA ENSAIADO

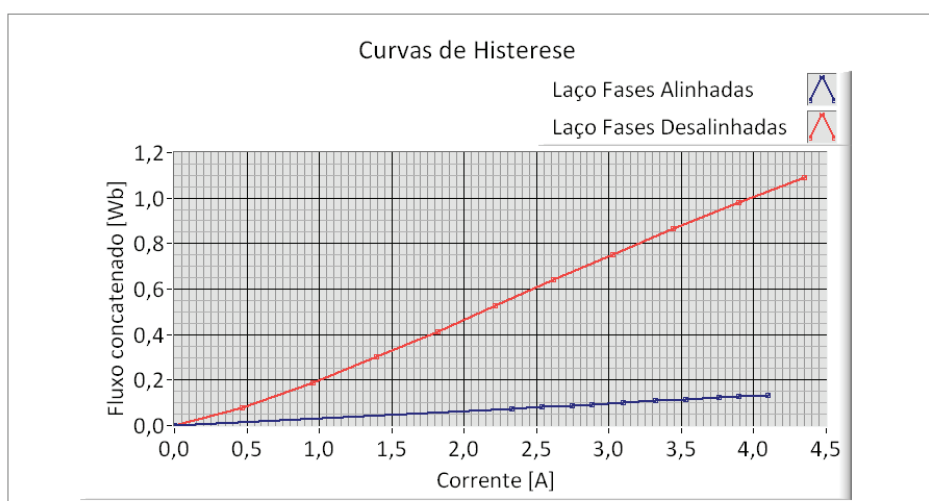
Fabricante: UFG	Potência Nominal (W): 110
Tipo de Motor: Motor à relutância	Corrente Nominal (A): 3,2
Número de série: 99999	Tensão Nominal (V): 100
Código: 99999	Velocidade Nominal (RPM): 1200
Polos Estator/Rotor: 6/4	

Ensaio de Resistência das Fases

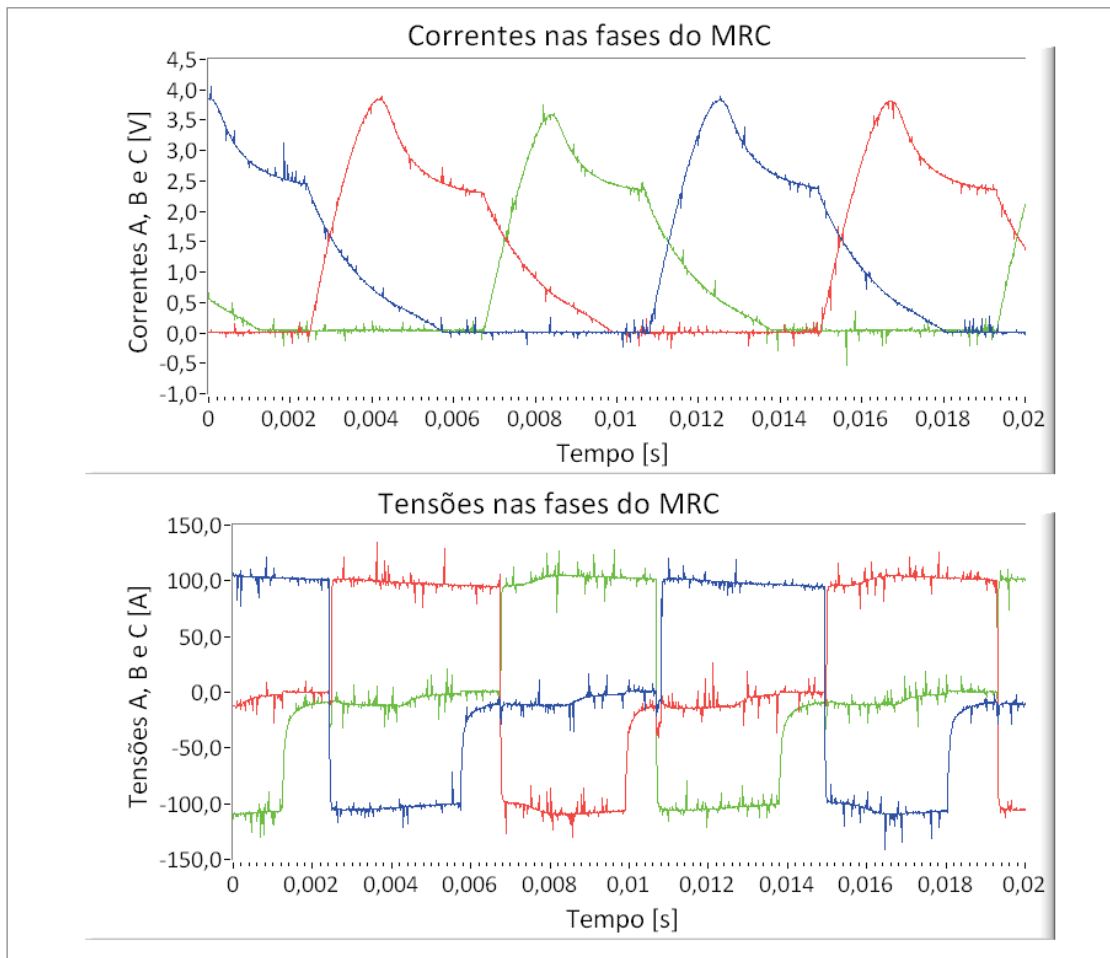
Resistência Ch10	Temperatura [°C]	Resistência Ch10 (60°C)
2,95	24,9	3,34917
Resistência Ch11		Resistência Ch11 (60°C)
2,95		3,34917
Resistência Ch12		Resistência Ch12 (60°C)
2,925		3,32079

*Ch = Canais da Placa de Aquisição de Sinais aos quais são conectadas as fases do MRC sob teste

Ensaio de Histerese



Tensões e Correntes do Ensaio de Torque



Ensaio de Desempenho

Motor à Relutância Chaveado		
Potência de entrada [W]	Perda ôhmica [W]	Velocidade [rpm]
186,808	26,7359	1199,53
Potência de saída [W]	Perdas adicional, rotacional e magnética [W]	Torque médio [Nm]
119,69		0,952835
Perdas Totais [W]	28,8982	Tensão média (Link CC) [V]
67,1184		101,422
Rendimento [%]		
64,071		
Conversor		
Potência (Link CC)	Perdas [W]	Rendimento [%]
192,109	5,30035	97,241

Bernardo Pinheiro de Alvarenga
Gerente Técnico

Weldon Carlos Elias Teixeira
Operador