



SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E DE INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL PARA ENSAIOS DE MÁQUINAS ELÉTRICAS ROTATIVAS

Bruno Lemos Neves*¹, Vinícius Marcos Pinheiro¹, Cássio Alves de Oliveira¹, Luciano Coutinho Gomes¹

¹FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

Resumo - O presente trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de aquisição e de instrumentação virtual, integrado e flexível, capaz de auxiliar nos estudos referentes às máquinas elétricas rotativas. O software Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) permite a interface com o usuário por meio do monitoramento dinâmico das principais grandezas elétricas da máquina em estudo. Com o auxílio de um motor de indução trifásico alimentado por uma fonte programável, pretende-se ainda destacar a validação do projeto por meio da comparação entre os resultados gerados pelo sistema e os resultados gerados pela fonte.

Palavras-Chave - Aquisição de sinais, instrumentação virtual, LabVIEW, máquinas elétricas rotativas.

DATA ACQUISITION AND VIRTUAL INSTRUMENTATION SYSTEM FOR TESTS OF ROTATIVE ELECTRIC MACHINES

Abstract - The current study has the objective to show an acquisition and virtual instrumentation system, flexible and integrated, capable of assisting studies about electrical rotating machines. The software Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) allows an interface with user by a dynamic monitoring of the most important electrical quantities of the studied machine. By a three phase induction motor assistance feed by a programmable source, the objective is to emphasise the project validation relating the results generated by the system and the results generated by the source.

Keywords - Signal acquisition, virtual instrumentation, LabVIEW, electrical rotating machines.

I. INTRODUÇÃO

As máquinas elétricas rotativas são dispositivos eletromecânicos de conversão de energia amplamente utilizados em diversos setores industriais. Por possuir um simples, mas não menos eficiente sistema de conversão eletromecânica de energia, os Motores de Indução Trifásicos (MIT) estão entre as máquinas elétricas mais utilizadas no setor industrial. Devido às características construtivas, eles podem ser adaptáveis à variadas situações de cargas e, se

*contato.brunolemos@gmail.com

estiverem bem dimensionados, podem apresentar eficientes desempenhos.

As fontes esgotáveis de recursos naturais, o quadro econômico de instabilidade e um processo competitivo global pelo qual tem passado a sociedade nesses últimos tempos, têm exigido a minimização dos custos otimizando os investimentos em busca do melhor uso da energia [7]. Esse cenário nos leva à uma inevitável necessidade de conservação de energia elétrica nos setores residencial, comercial e, principalmente, industrial.

Os motores elétricos de indução possuem o rendimento influenciado por vários fatores. O sobredimensionamento, por exemplo, provoca aumento no percentual de perdas em relação ao valor nominal, o que determina uma queda no rendimento. Além disso, os alinhamentos inadequados de eixo e reparos executados de forma incorreta também podem alterar significativamente seu desempenho [5]

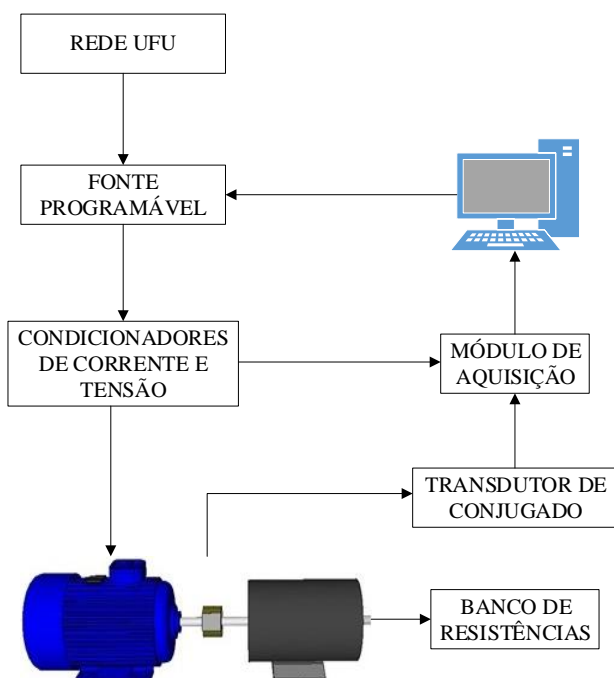
Assim, é possível perceber que os parâmetros elétricos e mecânicos das máquinas rotativas podem se desviar daqueles contidos nas placas de identificação e nos manuais de fabricantes. Portanto, a necessidade de se monitorar esses parâmetros periodicamente e adequar o sistema às especificações da máquina mostra a relevância dos sistemas de monitoramento no que se refere à redução de perdas.

Com a evolução da computação e das tecnologias de eletrônica e de instrumentação, os sistemas de monitoramento clássicos têm sido substituídos por novas técnicas de inteligência artificial e de interfaces digitais. Flexível, confiável, intuitiva e de fácil adequação são alguns fatores que fazem da instrumentação virtual uma relevante ferramenta para a engenharia [3].

II. PLATAFORMA EXPERIMENTAL

Com o objetivo de auxiliar nos estudos referentes às tecnologias de máquinas elétricas rotativas, a plataforma é capaz de simular condições de cargas reais presentes em diversas aplicações industriais. Para garantir sua integridade bem como a segurança do operador, ela conta com sistema de proteção adequado contra possíveis falhas que possam ocorrer durante a realização dos ensaios. A Figura 1 apresenta o diagrama funcional que integra os principais elementos constituintes.

Figura 1: Diagrama funcional da plataforma de ensaios



Para que seja possível a aquisição, manipulação e armazenamento das informações referentes à máquina em estudo, a utilização de alguns elementos e ferramentas virtuais mostram-se de fundamental importância. Os principais dispositivos e ferramentas que compõem a plataforma serão brevemente descritos a seguir.

A. Fonte Programável

A fonte programável que compõe a plataforma experimental é um equipamento de alta eficiência que fornece uma saída precisa com mínima distorção. O modelo CSW11100 fabricado pela AMETEK Programable Power, permite que seus parâmetros de saída possam ser ajustados por meio do seu painel frontal ou por meio do *software* específico fornecido pelo fabricante. As principais características são apresentadas na Tabela I.

Tabela I: Parâmetros da fonte programável

Marca	California Instruments
Modelo	CSW11100
Tensão de entrada	208 – 240 V _{RMS}
Tensão de saída (CA ou CC)	0-156 V _{RMS} (FN) / 0-312V _{RMS} (FN)
Corrente de saída	32,16 A (por fase)
Frequência de saída	CC, 40-5000 Hz

A fonte programável é capaz de oferecer ao usuário uma tensão de saída com parâmetros de frequência, amplitude e conteúdo harmônico ajustável. Além disso, utilizando-se o *software*, pode-se também realizar as leituras das principais grandezas elétricas (tensão, corrente, potência e fator de potência) do equipamento que a fonte alimenta.

B. Máquina de Corrente Contínua

Responsável por estabelecer a carga sobre a máquina que se deseja realizar o ensaio, a máquina de corrente contínua atua como gerador e a energia gerada é dissipada em um banco

de resistências. Suas principais características são apresentadas na Tabela II.

Tabela III: Dados da máquina de corrente contínua

Fabricante	LAVILL
Potência	3,3 KW (4,5 CV)
Velocidade	3600 rpm
Tensão de campo	180 V
Tensão de armadura	180 V
Corrente de armadura	20,4 A
Regime de serviço	S1
Conjugado nominal	8,78 N.m

Dentre as formas de ligação das máquinas de corrente contínua foi escolhida a configuração em que o campo é alimentado de forma independente da armadura. Os terminais da armadura são conectados a um banco de oito resistências as quais podem dissipar, juntas, uma potência máxima de 6400W. Já o campo é alimentado com tensão nominal, cujo valor é 180 V. Assim, ao se variar a resistência equivalente do banco, pode-se, também, alterar a corrente que circula pela armadura. Como o conjugado é diretamente proporcional a esta corrente, é possível perceber que ao alterar os valores de resistências têm-se uma alteração direta no conjugado resistente imposto à máquina motriz em ensaio.

C. Transdutor de Conjugado

Para que seja possível mensurar o conjugado exercido pela máquina motriz, faz-se necessário o uso de um dispositivo conhecido como torquímetro. Ele é instalado entre o acoplamento do eixo da máquina motriz com o da máquina geradora e é capaz de gerar um sinal de tensão proporcional ao torque medido. A Figura 2 apresenta o transdutor de conjugado utilizado.

Figura 2: Transdutor de conjugado

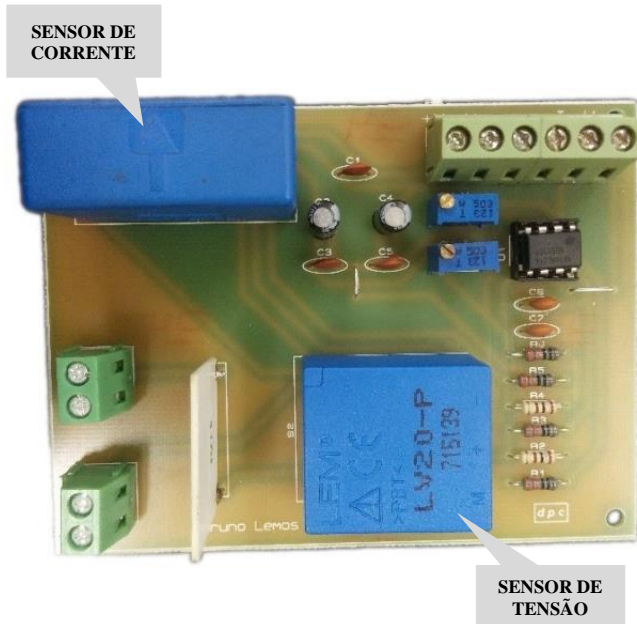


O modelo T22 do fabricante HBM pode medir conjugado de até 50 N.m (positivo ou negativo) e produz uma saída de tensão proporcional que varia de -5 V a +5 V. Um módulo ao qual é conectado os fios de sinais do torquímetro, permite a calibração do sensor e oferece uma saída de tensão proporcional limitada de -10 V a +10 V.

D. Condicionadores de Corrente e Tensão

No que tange à aquisição de sinais, outra ferramenta de fundamental importância são as placas condicionadoras de corrente e tensão. Com o objetivo de reduzir os níveis dessas grandezas a níveis mensuráveis pelo sistema de monitoramento, as placas, que possuem sensores de corrente e de tensão, realizam o condicionamento desses sinais por meio de um circuito eletrônico projetado para oferecer uma saída de -10 V a +10 V. Na Figura 3 é apresentado um dos módulos de aquisição.

Figura 3: Módulo de aquisição e condicionamento de sinais de corrente e tensão



O sensor de tensão LV20P da marca LEM utilizado nas placas, é capaz de medir tensão de 10 V a 500 V com aceitável precisão.

O sensor de corrente, modelo LA55P da fabricante LEM, é responsável por realizar a medição da corrente por meio do efeito hall, sem a necessidade da intercepção do circuito. Robusto e com medições bastante lineares, o modelo pode medir correntes de até 50 A.

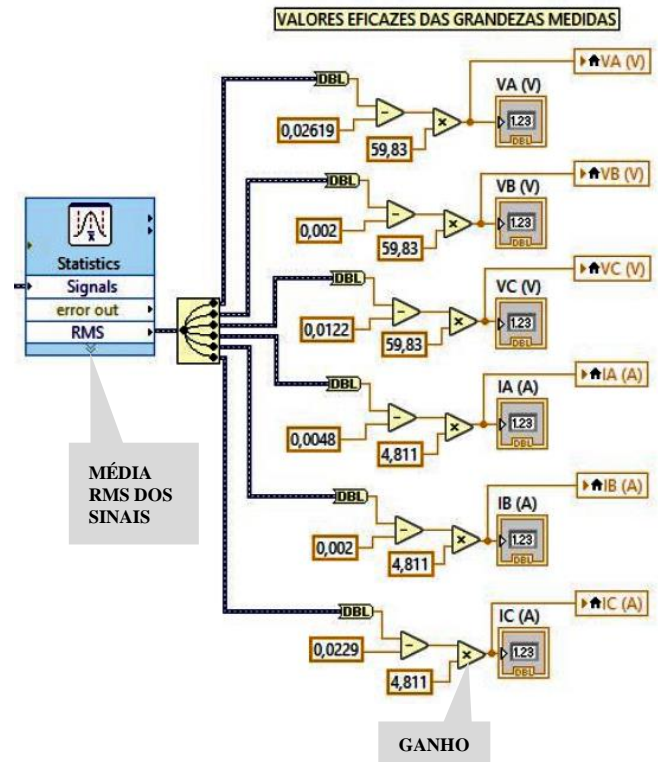
A tensão de saída do sinal, estrategicamente escolhida durante a elaboração do projeto, coincide com a faixa de tensão do módulo que recebe os sinais do conjunto de sensores. O modelo PCI 6229 do fabricante National Instruments utilizado no sistema possui 32 entradas analógicas de 16 bits e pode trabalhar em uma taxa máxima de 250 kS/s.

E. LabVIEW

Para apresentar ao usuário os sinais obtidos pelas placas condicionadoras faz-se necessário o desenvolvimento da aplicação responsável pelo processamento e apresentação dos dados. As informações recebidas pela PCI 6229 instalada no computador permite a troca de informações entre as grandezas medidas e a plataforma de programação LabVIEW. Trata-se de um ambiente de programação em linguagem gráfica que trabalha através de um sistema de blocos ligados por linhas, responsáveis pelo fluxo de dados da programação. A Figura 4

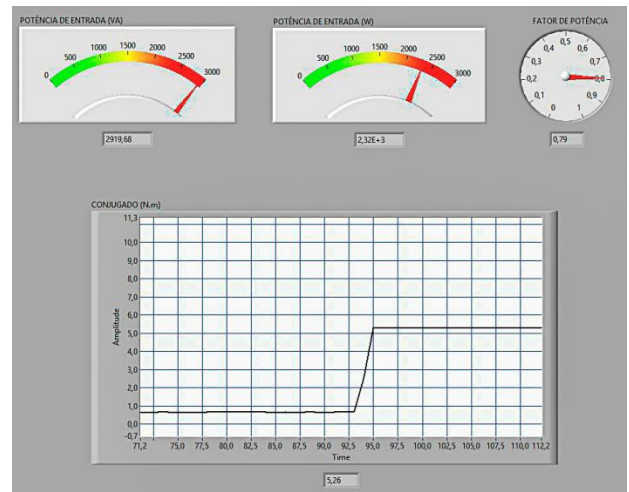
mostra um trecho do código utilizado na manipulação dos dados dinâmicos de tensão e corrente.

Figura 4: Trecho do código desenvolvido no LabVIEW



O desenvolvimento da aplicação se dá através de duas janelas. A primeira, denominada diagrama de blocos, é onde se realizam as conexões e ocorre o fluxo de processamento. A segunda, chamada de painel frontal, é a que efetivamente faz a interface com o usuário. Esta última oferece ferramentas como gráficos, mostradores digitais, além de outros indicadores animados que contribuem com a amigável tela de monitoramento. Uma parte do painel frontal da aplicação desenvolvida é apresentada na Figura 5.

Figura 5: Primeira tela do sistema supervisorio desenvolvido no LabVIEW



Uma grande vantagem em relação às outras linguagens baseadas em texto é a facilidade de se visualizar o fluxo de processamento, visto que este é exibido em paralelo devido à programação gráfica. Interfaces configuráveis definidas pelo usuário, assistentes interativos e uma linguagem de alto nível com desempenho comparável ao de outras linguagens (como a linguagem C) são alguns fatores que favorecem sua utilização no desenvolvimento de aplicações sofisticadas de teste, medição e controle.

F. Motor de Indução Trifásico

Uma vez apresentados os componentes da plataforma de ensaio, é necessário, por fim, uma máquina teste para realizar ensaios e analisar o comportamento do sistema. De ampla utilização e aplicável em diversas operações industriais, o MIT é uma máquina elétrica assíncrona, robusta e adequada para ser estudada na plataforma. A Figura 6 apresenta um MIT.

Figura 6: Motor de indução trifásico



Essas máquinas são denominadas máquinas de indução porque a tensão do rotor, que por sua vez produz a corrente e o campo do rotor, é induzida em vez de ser fornecida por meio de uma conexão física de fios como ocorre, por exemplo, nas máquinas de corrente contínua [1].

Seu circuito equivalente assemelha-se ao de um transformador, com exceção de que a resistência do secundário, no caso do motor, varia com o escorregamento, sendo este a diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade mecânica do rotor. O funcionamento baseia-se na interação entre dois campos girantes, um do estator e um do rotor, os quais são capazes de realizar a conversão de energia elétrica em energia mecânica ou vice-versa.

Estas máquinas de indução se subdividem em 2 tipos: rotor em gaiola de esquilo e rotor bobinado. A de rotor em gaiola de esquilo é a mais utilizada e a de rotor bobinado é destinada a algumas aplicações específicas, atualmente relacionadas à geração eólica [2].

III. METODOLOGIA UTILIZADA E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

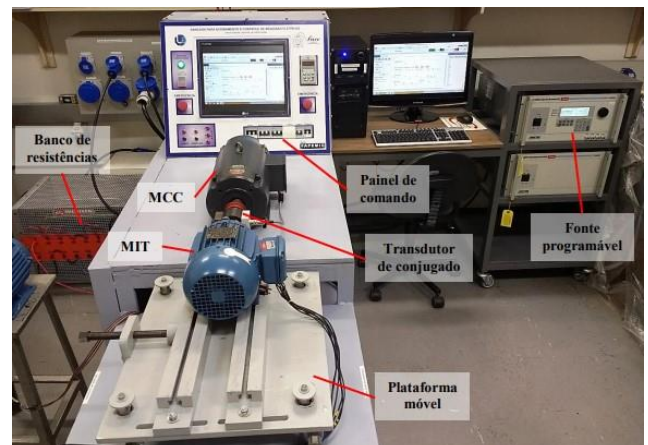
A máquina é instalada e devidamente ajustada na bancada que comporta as ferramentas de acionamento e medições para iniciar a realização dos ensaios. O MIT utilizado possui as características apresentadas na Tabela III.

Tabela III: Dados do motor de indução trifásico

Fabricante	WEG
Potência	3 CV
Tensão (Δ/Y)	220 / 380 V
Corrente (Δ/Y)	8,39 / 4,86 A
Frequência	60 Hz
Velocidade	3450 rpm
Fator de potência	0,84

A plataforma acomoda o sistema de aquisição com 3 placas condicionadoras de tensão e corrente (uma para cada fase), o transdutor de conjugado, a fonte programável e o computador que fará o monitoramento. A Figura 7 mostra a plataforma com todos os dispositivos instalados.

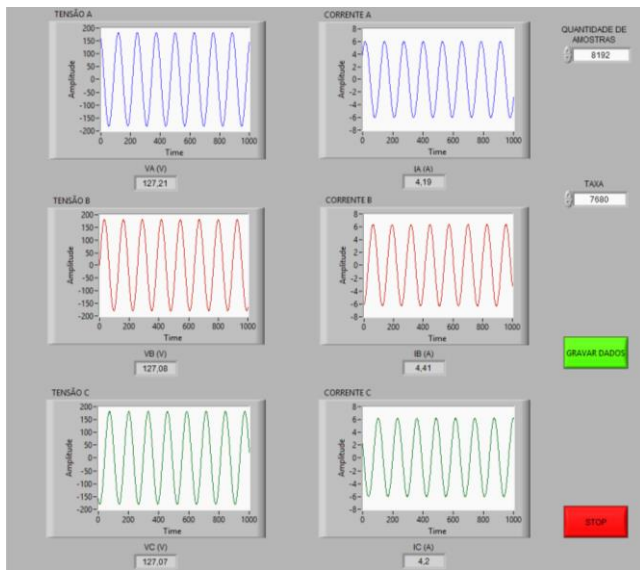
Figura 7: Plataforma experimental



A aplicação desenvolvida em linguagem gráfica conta com duas telas. A primeira refere-se ao monitoramento da potência aparente e ativa de entrada, além de valores de fator de potência e conjugado. A segunda apresenta as formas de onda e os valores eficazes de tensões e correntes para as 3 fases. Esta última também permite ao usuário escolher como será realizada a aquisição de dados.

A taxa de aquisição e quantidade de amostras são parâmetros ajustáveis para o melhor aproveitamento das informações fornecidas. O usuário também possui a opção de salvar dados de valores instantâneos das correntes e tensões para as 3 fases para a dada quantidade e frequência escolhida. A Figura 8 apresenta a janela do painel frontal onde são acessadas estas informações.

Figura 8: Segunda tela do sistema supervisorio desenvolvido no LabVIEW



A Figura 9 apresenta o arquivo de texto gerado para as formas de ondas mostradas na Figura 8. Foram armazenadas 8192 amostras a uma taxa de 7,68 kHz.

Figura 9: Arquivo de texto que armazena os pontos amostrados

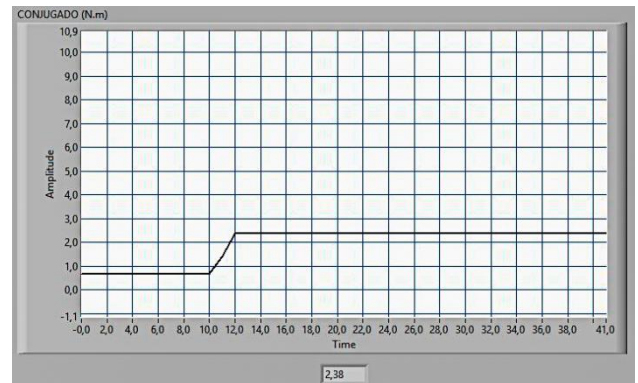
X	Value	voltage_A	voltage_B	voltage_C	current_A	current_B	current_C
0,000000	169,862654	-139,202523	-26,412745	5,771055	-11,845239	5,913794	
0,000130	173,063981	-133,614739	-35,124240	6,274979	-11,807795	5,375547	
0,000260	175,566836	-127,871739	-43,583510	6,800745	-11,745390	4,739012	
0,000391	177,739858	-121,236247	-52,197998	7,335871	-11,654902	4,091555	
0,000521	179,621851	-114,704776	-60,652270	7,850716	-11,539451	3,456390	
0,000651	180,999391	-107,984668	-68,903121	8,237630	-11,330393	2,810684	
0,000781	182,105304	-101,174560	-76,857983	8,568378	-11,051128	2,202231	
0,000911	182,648560	-93,568971	-84,793364	8,866646	-10,735979	1,595338	
0,001042	182,784374	-86,002187	-92,495962	9,195553	-10,494158	1,010287	
0,001172	182,473962	-78,144373	-99,965738	9,540345	-10,240216	0,454597	
0,001302	181,387431	-70,092541	-107,260896	9,896054	-10,029236	-0,135133	
0,001432	180,145704	-62,001906	-114,206518	10,187789	-9,898487	-0,801031	
0,001562	178,612948	-53,717251	-120,822907	10,426500	-9,888170	-1,456289	
0,001693	176,536936	-45,452000	-127,244977	10,616836	-8,831049	-2,111546	
0,001823	174,027884	-36,798710	-133,337811	10,805613	-8,419173	-2,721560	
0,001953	171,104381	-28,126019	-139,177224	10,999070	-8,068142	-3,258247	
0,002083	167,747638	-19,336916	-144,609793	11,167364	-7,740512	-3,729408	
0,002213	164,177874	-10,489609	-149,654322	11,237770	-7,384801	-4,149085	
0,002344	160,025850	-1,719910	-154,466027	11,270533	-6,935481	-4,624927	
0,002474	155,485787	6,894572	-158,676249	11,281454	-6,447158	-5,136822	
0,002604	150,247253	15,897093	-162,711893	11,301736	-5,966635	-5,651498	
0,002734	145,202738	24,847387	-166,281869	11,290985	-5,484553	-6,105498	
0,002864	139,576164	33,358877	-169,580814	11,208128	-4,958786	-6,542337	
0,002995	133,871983	41,915151	-172,412915	11,083317	-4,387776	-6,976055	
0,003125	127,721536	50,413218	-174,663552	10,916382	-3,763721	-7,434736	

Para atestar a validade do sistema é apresentado 3 ensaios com diferentes condições de carga impostas ao motor de indução anteriormente apresentado. Os valores de correntes, tensões, conjugado, potências e fator de potência são comparados com as informações fornecidas pela fonte programável. Estes procedimentos são apresentados a seguir.

A. Ensaio com 40% de carga

Ao se realizar estrategicamente a conexão entre as resistências do banco pode-se realizar a simulação de operação para um degrau de carga correspondente a 40% do conjugado nominal. Além disso, são configurados pela fonte programável valores de frequência e amplitude de tensão correspondente aos dados de placa do MIT. O valor do conjugado medido pela instrumentação virtual é apresentado a partir da captura de tela apresentada na Figura 10.

Figura 10: Degrau de conjugado para 40% de carga



Para a condição de carga apresentada acima, é mostrado na Tabela IV a análise comparativa entre os resultados gerados pelo sistema de instrumentação e pela fonte.

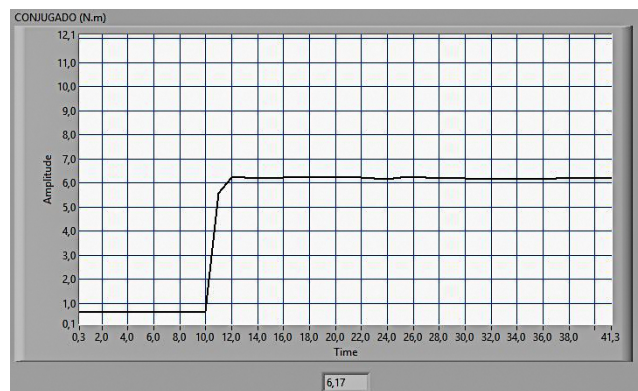
Tabela IV: Resultados obtidos na condição de 40% de carga

Grandeza	Instrumentação	Fonte Programável	Erro (%)
Corrente (A)	5,43	5,38	0,93%
Tensão (V)	220,11	220	0,06%
Potência (KVA)	2,07	2,05	0,98%
Potência (KW)	1,23	1,18	4,24%
Fator de potência	0,59	0,58	1,72%

B. Ensaio com carga nominal

Para as mesmas condições de tensão nominal é agora aplicado um degrau de conjugado correspondente ao valor nominal. Para isso foi novamente alterada a conexão entre as resistências do banco de maneira a aumentar a corrente de armadura que circula pela máquina de corrente contínua. A Figura 11 apresenta o conjugado medido pelo sistema supervisorio.

Figura 11: Degrau de conjugado na condição nominal



Para a condição nominal, é apresentada na Tabela V a análise comparativa entre as informações fornecidas pelo sistema de monitoramento e pela fonte.

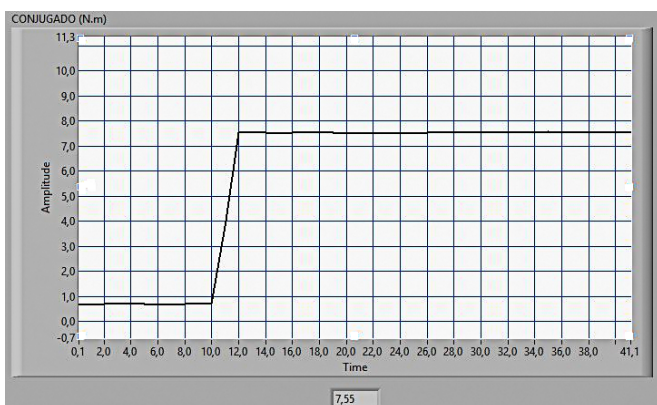
Tabela V: Resultados obtidos na condição de carga nominal

Grandeza	Instrumentação	Fonte Programável	Erro (%)
Corrente (A)	8,63	8,61	0,23%
Tensão (V)	219,78	220	0,09%
Potência (KVA)	3,28	3,23	1,55%
Potência (KW)	2,72	2,63	3,42%
Fator de potência	0,83	0,8	3,75%

C. Ensaio com 120% de carga

Por fim é apresentada a condição de operação na qual exige-se do motor um conjugado maior que o nominal. Esta condição afeta negativamente na vida útil da máquina. Em uma aplicação industrial indicaria algum problema e, portanto a instrumentação virtual permite acompanhar em tempo real que há alguma falha no processo. O conjugado é apresentado pela Figura 12.

Figura 12: Degrau de conjugado para 120% de carga



É apresentado na Tabela V as informações obtidas pelo sistema de monitoramento virtual e pela fonte para a condição de sobrecarga descrita.

Tabela VI: Resultados obtidos na condição de 120% de carga

Grandeza	Instrumentação	Fonte Programável	Erro (%)
Corrente (A)	9,94	10,01	0,70%
Tensão (V)	219,76	220	0,09%
Potência (KVA)	3,78	3,81	0,68%
Potência (KW)	3,24	3,19	1,57%
Fator de potência	0,85	0,84	1,19%

IV. CONCLUSÕES

De acordo com os ensaios realizados é possível observar que o sistema de aquisição e de instrumentação se mostrou consideravelmente preciso ao ser comparado com os parâmetros da fonte programável.

A possibilidade de armazenamento dos valores instantâneos de tensões e correntes, a uma taxa conhecida e configurável, oferece a possibilidade de simulações computacionais em posteriores estudos. A instrumentação virtual auxilia dessa forma nos estudos das máquinas elétricas rotativas ao mesmo tempo em que apresenta seu grande potencial em aplicações industriais.

Pelos resultados dos ensaios, percebe-se também que motores sobredimensionados apresentam baixo fator de potência e menor rendimento se comparado à operação próxima da nominal. Por esse motivo, o sistema de monitoramento também pode auxiliar nessa gestão de equipamentos ao informar como está o desempenho da máquina.

Uma vez que os parâmetros operacionais das máquinas podem diferir daqueles apresentados pela placa e manual do fabricante, o sistema apresenta-se de suma importância na identificação de possíveis falhas, sendo capaz de fornecer informações que auxiliem na manutenção preditiva ou corretiva de um determinado processo industrial.

REFERÊNCIAS

- [1] S. J. Chapman, *Fundamentos de Máquinas Elétricas*, AMGH Editora Ltda., 5ª Edição, Porto Alegre, 2013.
- [2] S. D. Umans, *Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley*, AMGH Editora Ltda., 7ª Edição, Porto Alegre, 2014.
- [3] A. Kahlouche, Y. Bouroudi and A. Ouadi, "Measurement and Monitoring System of AC Machines Using LabVIEW", *2017 International Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, October 2017.
- [4] C. Chen and F. Hu, "Design of Measurement and Control System for Sling Stretch Test Machine Based on LabVIEW", *2010 International Conference on Industrial Mechatronics and Automation (ICIMA)*, 2010.
- [5] V. P. Silva, *Análise Comparativa do Desempenho do Motor de Indução Trifásico de Alto Rendimento e Linha Padrão em Condições de Alimentação Ideal e não Ideal*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.
- [6] C. A. De Oliveira, *Plataforma Para Ensaio de Motores de Indução Trifásicos e Simulação de Cargas Mecânicas: Acionamento, Operação e Monitoramento com auxílio de Fonte Programável*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, 2018.
- [7] Eletrobrás (2019). *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL)*. Acedido em 05 de Agosto de 2019, em: <http://www.eletrobras.gov.br/>.
- [8] National Instruments (2019). *Ambiente gráfico de desenvolvimento de sistemas LabVIEW*. Acedido em 05 de Agosto de 2019, em: <http://www.ni.com/labview/pt/>.