



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

PEDRO HENRIQUE SANTIAGO DINIZ

**PROJETO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE
MOTOGERADOR A BIOGÁS VIA PROGRAMAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS**

**FORTALEZA
2017**

PEDRO HENRIQUE SANTIAGO DINIZ

PROJETO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE MOTOGERADOR A
BIOGÁS VIA PROGRAMAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Graduação em Engenharia de
Energias Renováveis da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Dr. William Magalhães
Barcellos.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D612p Diniz, Pedro Henrique Santiago.

Projeto de sistema de aquisição de dados e controle de motogerador a biogás via programação por diagrama de blocos / Pedro Henrique Santiago Diniz. – 2017.
76 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. William Magalhães Barcellos.

1. Biogás. 2. Sistema de Aquisição de Dados. 3. Sistema de Controle. 4. Motogerador. 5. LABVIEW. I.
Título.

CDD 621.042

PEDRO HENRIQUE SANTIAGO DINIZ

PROJETO DE SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE MOTOGERADOR A
BIOGÁS VIA PROGRAMAÇÃO POR DIAGRAMA DE BLOCOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Programa de Graduação em Engenharia de
Energias Renováveis da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Engenheiro em Energias Renováveis.

Aprovada em: 19/12/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. William Magalhães Barcellos (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. George André Pereira Thé
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jarbas Aryel Nunes da Silveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por toda saúde, alegria e conquistas em minha vida, como também as dificuldades, que também foram engrandecedoras para minha caminhada. Sei que não mereço tantas graças, as quais me foram concebidas apenas por misericórdia divina.

Aos meus pais, Deborah e Ricardo, pela educação e dedicação em todos os anos de minha vida, pelos sacrifícios de me dar sempre o melhor possível e seu apoio incondicional para vencer cada obstáculo.

Agradeço igualmente a minha irmã, Mariana, com quem tenho o prazer da convivência diária, por toda a cumplicidade e companheirismo entre nós, compartilhando alegrias e tristezas ao longo da vida. Aos meus avós, Dolores, Lourival e Francimar, por todo o cuidado, apoio e carinho não só comigo, mas juntamente com a minha irmã. Também sou grato por minhas tias, Danya e Morganna, e por meus primos, Rafaella, Aguiar Neto e Rebecca, por ajudarem na minha formação pessoal.

A todos os docentes da Universidade Federal do Ceará, responsáveis pela conclusão desta etapa da minha vida, compartilhando a cada dia os seus conhecimentos com todos os alunos. Especialmente ao professor William Magalhães Barcellos, pela excelente e cuidadosa orientação que vai além do campo acadêmico, bem como os professores George André Pereira Thé e Jarbas Aryel Nunes da Silveira pela presença na composição da banca de apresentação do presente trabalho.

Aos amigos que conheci durante minha graduação ou mesmo até antes, Ana Lídia, Lucas Ribeiro, Pedro Lucas, Giovana, Clícia, Tiago Oliveira, Maria Gabriela, Pedro Lira, Patrick, Leo Araújo, Lauryanne, Washington, Vinícius, Uly, Mariellen, Matheus Silva, Marianna, Rayane, Sérgio, Matheus Nobre, Deusimar Romeu e muitos outros que não cabem nesta monografia. Por meio dessas amizades, além de crescimento pessoal e espiritual, eu pude encontrar apoio, sugestões e críticas para a elaboração deste trabalho.

RESUMO

A microgeração de energia elétrica a partir de motogeradores tem sido largamente aplicada, em geral, utilizando o óleo diesel como combustível. Todavia, o biogás mostra-se como uma alternativa interessante na operação desse sistema de geração, pois além de ser uma fonte renovável de energia, emite menos poluentes, possui grande potencial a ser explorado, dentre outras vantagens. Entretanto, a busca por eficiência desses motogeradores tem ocorrido através da implementação de tecnologias de automação, com base em sistemas de aquisição de dados e controle de atuadores eletromecânicos. Neste contexto, este trabalho tem por objetivo projetar um sistema de aquisição de dados e controle da sala de teste de motogeradores a biogás do Laboratório de Combustão e Energias Renováveis (LACER), do Departamento de Engenharia Mecânica da UFC. O planejamento dos testes contempla situações práticas de operação simulando condições reais de campo, no sentido de permitir a determinação de eficiência na geração de energia a partir do uso biogás em diferentes concentrações de metano. Como parte do escopo de projeto, foi realizada a especificação de instrumentos, o que insere sensores e atuadores eletrônicos de diferentes características técnicas instalados no motogerador, como também, foram especificados o hardware e software para aquisição de dados e controle de operação. O fabricante escolhido para fornecimento do sistema de aquisição de dados e controle é a National Instruments, a qual utiliza o software LABVIEW, o qual tem ampla versatilidade de programação, permitindo estabelecer taxas de medições apropriadas a cada instrumento. Como resultado deste trabalho, tem-se todo aparato de instrumentos instalados no motogerador e a execução de um código com linguagem de programação por diagrama de blocos, adequado ao pleno controle de operação, inclusive com a possibilidade de estabelecimento de critério de teste com cargas discretas gradativas.

Palavras-chave: Biogás, Sistema de Aquisição de Dados, Sistema de Controle, Motogerador, LABVIEW.

ABSTRACT

The electrical energy microgeneration from generating set has been widely applied, in general, using diesel fuel. However, biogas is an interesting alternative in the generating system operation, because it is a renewable energy source, emits less pollutants, has great potential to be explored, among other advantages. The search for efficient generating set occurs through the automation technologies implementation, based on data acquisition and control systems. Thus, the study objective is design a data acquisition and control system for a test room biogas generating set on the Laboratory of Combustion and Renewable Energies (LACER) on the Department of Mechanical Engineering on the UFC. The tests planning contemplates practical operation situations simulating real field conditions to enable the power generation measurement from the use of biogas in different methane concentrations. Then, the instrument specification was made, which includes different sensors and actuators that will be installed in the generating set, as well the hardware and software for data acquisition and control specification was made too. The manufacturing company chosen to supply the data acquisition and control system is National Instruments, which uses LABVIEW software, whose wide programming versatility allows appropriate measurement rates for each instrument. As a result, we have all instruments, actuators and modules I/O specifications and a block diagram code that enables the data acquisition and control, which includes the discreet resistance management.

Keywords: Biogas, Data Acquisition System, Control System, Generator-engine, LABVIEW.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de trabalho de MCI de quatro tempos.	18
Figura 2: Gráfico p-v e T-s do ciclo-padrão a ar Otto.	19
Figura 3: Gráfico p-v do ciclo Otto real.	19
Figura 4: Componentes básicos de um MCI.	20
Figura 5: Curvas de consumo, torque e potência de um MCI.	21
Figura 6: Vista esquemática de um gerador síncrono monofásico com um único enrolamento e dois polos.	22
Figura 7: Vista esquemática de um gerador síncrono trifásico com ímã permanente.	23
Figura 8: Diagrama de fluxo de potência de um gerador CA trifásico.	23
Figura 9: Operação de Instrumento em malha aberta.	24
Figura 10: Operação de Instrumento em malha fechada.	24
Figura 11: Controle à realimentação.	28
Figura 12: Controle antecipativo.	28
Figura 13: Chicote do motor de combustão interna.	30
Figura 14: Anemômetro de fio quente.	37
Figura 15: Medidor de vazão de biogás do tipo turbina.	38
Figura 16: Transmissor de pressão.	38
Figura 17: Transmissor de temperatura e umidade.	39
Figura 18: Analisador de gases do escapamento.	39
Figura 19: Multimetro de grandezas elétricas.	40
Figura 20: Termopar tipo k.	41
Figura 21: Transdutor de pressão acoplado à vela de ignição do motor.	41
Figura 22: Possíveis posições da chave de ignição.	44
Figura 23: Módulo para sensores com saída 0 a 5 Vcc e 4 a 20 mA.	46
Figura 24: Chassi, controladora e FPGA integrados.	48
Figura 25: Montagem final do hardware.	49
Figura 26: Interface do LABVIEW.	51
Figura 27: Resumo das funções do LABVIEW utilizadas.	54
Figura 28: Painel frontal do sistema de aquisição de dados e de controle.	56
Figura 29: Painel frontal do sistema em execução.	57
Figura 30: Painel frontal do sistema em execução após partida do MCI.	57
Figura 31: Painel frontal do sistema após execução.	58
Figura 32: Diagrama de blocos do sistema de aquisição de dados e de controle.	59
Figura 33: Botão de partida contido no primeiro <i>flat sequence structure</i>	59
Figura 34: Botão de parada contido no segundo <i>flat sequence structure</i>	59
Figura 35: Armazenamento de variáveis a cada 5 segundos.	60
Figura 36: Planilha do excel contendo os valores armazenados.	61
Figura 37: Sistema de alarme para aviso que a ventoinha do radiador está em operação.	61
Figura 38: Sistema de alarme para aviso de troca de óleo.	62
Figura 39: Sistema de alarme para aviso de verificação do eletrólito da bateria.	62
Figura 40: Acionamento do motor de partida.	63
Figura 41: Exemplo de conexão entre hardware e software.	63
Figura 42: Disposição dos canais do módulo para sensores com saída 0 a 5 V e 4 a 20 mA.	64
Figura 43: Diagrama de ligações do módulo para sensores com saída 0 a 5 V e 4 a 20 mA.	64
Figura 44: Disposição dos canais do módulo para o sensor hall e o medidor de vazão de biogás.	65
Figura 45: Diagrama de ligações do módulo para o sensor hall e o medidor de vazão de biogás.	65
Figura 46: Disposição dos canais do módulo para termopar.	66
Figura 47: Diagrama de ligações do módulo para termopar.	66

Figura 48: Disposição dos canais do módulo para tensão trifásica	67
Figura 49: Disposição dos canais do módulo para corrente trifásica	67
Figura 50: Diagrama de ligações do módulo para tensão trifásica.....	67
Figura 51: Diagrama de ligações do módulo para corrente trifásica.....	68
Figura 52: Disposição dos canais do módulo para controle de relé	68
Figura 53: Disposição dos canais do módulo para controle de governador eletrônico	69
Figura 54: Diagrama de ligações do módulo para controle de relé.....	69
Figura 55: Diagrama de ligações do módulo para controle de governador eletrônico.....	69
Figura 56: Visão geral dos diagramas de ligações.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sensores utilizados no sistema de aquisição de dados.....	33
Tabela 2: Grandezas a serem controladas pelo sistema.....	34
Tabela 3: Quantidade e sinal de saída de cada sensor utilizado no sistema de aquisição de dados.....	43
Tabela 4: Quantidade de atuadores para controle de cada grandeza.....	44
Tabela 5: Resumo dos canais do cRIO disponíveis para futura ampliação do sistema de aquisição de dados e controle.....	48
Tabela 6: Custo de implementação do sistema de aquisição de dados e controle.....	52
Tabela 7: Resumo da comparação com trabalhos correlatos.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor Analógico Digital
AFR	<i>Air-Fuel Ratio</i> (Razão Ar-Combustível)
Arms	Amperagem (ou corrente) eficaz
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
C_e	Consumo Específico
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CJC	<i>Cold Joint Compensation</i> (Compensação por Junta Fria)
CPU	<i>Central Processing Unit</i> (Unidade Central de Processamento)
cRIO	<i>Compact Reconfigurable Input and Output</i> (Entradas e Saídas Reconfiguráveis Compactas)
DAQ	Aquisição de Dados
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (Unidade de Controle Eletrônico)
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEM	Força Eletromotriz
FPGA	<i>Field-Programmable Gate Array</i> (Conjuntos de Portas Programáveis em Campo)
GNV	Gás Natural Veicular
IO	<i>Input and Output</i> (Entrada e Saída)
LABVIEW	<i>Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench</i> (Bancada virtual para instrumentação de laboratório de engenharia)
LACER	Laboratório de Combustão em Energias Renováveis
MAP	<i>Manifold Absolute Pressure</i> (Pressão Absoluta do Coletor de Admissão)
MATLAB	<i>Matrix Laboratory</i> (Laboratório de Matriz)
MCI	Motor de Combustão Interna
P_{atm}	Pressão Atmosférica
PCI	<i>Peripheral Component Interconnect</i>
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
p-v	Pressão versus volume
PXI	<i>PCI eXtensions for Instrumentation</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i> (Memória de Acesso Aleatório)
SCADA	<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i> (Sistema de Supervisão Controle e Aquisição de Dados)

SP	<i>Setpoint</i>
T	Torque
THD	<i>Total Harmonic Distortion</i> (Total de Distorção Harmônica)
T-s	Temperatura versus entropia
UFC	Universidade Federal do Ceará
V _{cc}	Voltagem (ou tensão) de Corrente Contínua
V _{ca}	Voltagem (ou tensão) de Corrente Alternada
V _C	Volume da Câmara
V _D	Volume Deslocado
VI	<i>Virtual Instruments</i> (Instrumentos Virtuais)
V _{rms}	Voltagem (ou tensão) eficaz
W	Trabalho
\dot{W}	Potência

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 Motores de Combustão Interna de Ciclo Otto	17
3.2 Geradores de Corrente Alternada	21
3.3 Sistema de Aquisição de Dados e de Controle de Atuadores	24
3.4 Parâmetros de Medição e Controle.....	29
4 METODOLOGIA	35
4.1 Infraestrutura da Sala de Teste de Motogeradores.....	35
4.2 Sensores e atuadores	36
4.3 Condicionadores de Sinal, Dispositivo de Aquisição de Dados e de Controle	44
4.4 Software.....	49
4.5 Custo de Implementação	51
4.6 Programação do sistema de aquisição de dados e controle	52
4.7 Diagrama de ligações elétricas	54
5 PROJETO	56
5.1 Sistema de Aquisição de Dados e de Controle	56
5.2 Projeto de Instalação.....	63
6 DISCUSSÕES	71
6.1 Comparação com trabalhos correlatos.....	71
6.2 Aplicabilidade do Sistema Projetado.....	72
7 CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Segundo o relatório da EPE do Ministério de Minas e Energia do ano base de 2016, a matriz energética brasileira é bastante dependente do consumo de combustíveis fósseis, os quais são a fonte de mais de 40% do total de energia consumida no País. Ainda segundo tal estudo (BEN), apenas 8,2 % da energia elétrica é oriunda da biomassa, categoria qual está inserido o biogás.

Já, segundo estudo realizado pelo CENBIO em 2012, apenas 0,8% da energia proveniente da biomassa são resultantes do uso de biogás, assim, se projetarmos essa porcentagem para 2016 e compararmos com os dados do BEN, obter-se-á a estimativa de que aproximadamente apenas 0,07% da energia elétrica consumida no Brasil nesse ano foi proveniente de biogás.

Esse baixo aproveitamento do biogás também é observado no funcionamento de motogeradores, operando normalmente com Diesel, o que contamina mais o meio ambiente, devido às grandes emissões de material particulado e de compostos de enxofre. Tais emissões, além de serem cancerígenas, contribuem para o aparecimento de doenças cardiovasculares e respiratórias, podendo ainda colaborar para o aumento da acidificação de águas, dos solos e de plantas (SANTANA, 2012).

Já o biogás possui um alto poder calorífico o qual varia em função da presença de metano em sua composição (ZILOTTI, 2012), emite poucos poluentes (ROYA et. al, 2011), apresenta alta octanagem, isto é, qualidade de queima (GEREMIA, 2013), e pode ser produzido a partir de diferentes tipos de biomassa, muitas delas encontradas nos grandes centros urbanos ou atividades agrícolas e agroindustriais (OLSSON; FALDE, 2015).

Assim, conforme Zanette (2009), pode-se perceber que o aproveitamento desse combustível no Brasil ainda é pouco explorado quando comparado ao seu potencial energético. Sendo a principal causa sua composição variável de acordo com o material orgânico e o processo através do qual é produzido (ZANETTE, 2009), dificultando sua utilização em motores, e, normalmente, além do metano, contém componentes, como dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), siloxanos ($\text{R}_3(\text{OSi})_n$), os quais podem causar danos aos componentes mecânicos do equipamento e à instalação como um todo, resultando em aumento de custos referentes a manutenção (BORSCHIVER; SILVA, 2014).

Portanto, percebe-se a necessidade de pesquisa nesta área, visto que, além de ser um combustível mais complexo que o Gás Natural e o Diesel, há poucas instalações no Brasil capazes de testar motogeradores a biogás. Em vista disso, é importante a concepção de um

laboratório de teste equipado com cargas resistivas para simular diversas situações de operação sem comprometer a rede elétrica local com prováveis flutuações de energia (COSTA, 2017).

Neste cenário de realização de experimentos a fim de quantificar parâmetros pertinentes e permitir posteriores estudos relacionados a desempenho, eficiência, taxa de emissões de gases poluentes, entre outras linhas de investigações, é fundamental um sistema de aquisição de dados e controle para monitorar as condições de teste de maneira rápida, fácil e confiável (GESTEIRA, 2014).

Há infindáveis exemplos de utilização de sistema de aquisição de dados e controle no campo da engenharia, os quais vão desde pesquisas de laboratório até automação industrial de sistemas complexos e integrados. Tal sistema deve obter a medição dos parâmetros desejados e enviar sinal para comando de variáveis, tudo isso de maneira automatizada (BAPTISTA, 2008).

Vale ressaltar, que a utilização de um sistema de aquisição de dados e controle é ainda mais recomendável em processos que existe risco ao operador ou o impossibilita de acompanhar o teste de perto, como é o caso de um grupo gerador, o qual possui medidas de segurança tanto por conter uma máquina térmica quanto uma elétrica (ALVES, 2010).

Neste contexto, idealizou-se equipar a Sala de Teste de Moto geradores do Laboratório de Combustão e Energias Renováveis (LACER), do Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia da UFC, com um sistema capaz de medir e controlar variáveis consideradas importantes na operação do motogerador submetido a teste de carga, de modo que os operadores responsáveis pelo monitoramento e controle tivessem condições adequadas para realizar os ensaios devidos, segundo normas pertinentes. Com esse recurso de automação, em termos de hardware e software apropriados ao sistema computacional de aquisição de dados e controle, tornou-se possível os operadores trabalharem em uma sala de controle anexa à sala de teste propriamente dita, a qual fica isolada por paredes reforçadas de concreto e por uma porta acústica de aço.

Desse modo, pode-se garantir a segurança dos operadores, segundo as normas aplicáveis, além de assegurar a confiabilidade dos dados adquiridos e dos controles realizados nos diversos testes com o motogerador, sob as mais variadas condições de carga e metodologias de operação da unidade geradora de energia.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal projetar o sistema de aquisição de dados e de controle da Sala de Teste de Motogeradores a biogás do LACER/DEM/CT/UFC, utilizando programação por diagrama de blocos.

Quanto aos objetivos específicos, destacam-se:

- Definição dos parâmetros operacionais a serem medidos;
- Definição dos parâmetros operacionais a serem controlados;
- Especificação dos sensores e atuadores a serem utilizados;
- Especificação do software e do dispositivo de aquisição de dados e de controle apropriados ao desenvolvimento do sistema;
- Projeto de sistema de aquisição de dados e de controle que possibilite o teste de motogeradores a biogás em diferentes condições operacionais;
- Projeto de instalação do hardware e software para operação do sistema.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Motores de Combustão Interna de Ciclo Otto

Conforme Ferguson e Kirkpatrick (2016), Motores de Combustão Interna (MCI) são constituídos com o objetivo de transformar a energia química de um combustível em energia mecânica, na forma de trabalho, por meio de um processo de combustão dentro da própria máquina. Os dois principais tipos de motores são o de ciclo Otto, que precisam de uma fonte de calor para iniciar o processo de combustão (ignição por centelha) e o de ciclo Diesel, o qual começa o processo de queima do combustível devido à alta pressão no interior da câmara de combustão (ignição por compressão).

Além dessa classificação conforme o mecanismo de ignição, os MCI podem ser agrupados em diversas categorias, como ciclo de trabalho, design básico do motor, configuração da câmara de combustão, método de resfriamento, entre outros (HEYWOOD, 1988).

Particularmente, o motor de ciclo Otto, o qual é analisado neste estudo, é vantajoso para aplicações que exigem potência até aproximadamente 225 kW, ou 300 HP (MORAN et. al 2015), e pode ser, facilmente, adaptado para operação com outros combustíveis, além daquele designado pelo fabricante, como Gás Natural Veicular (GNV) e Biogás (COSTA, 2017).

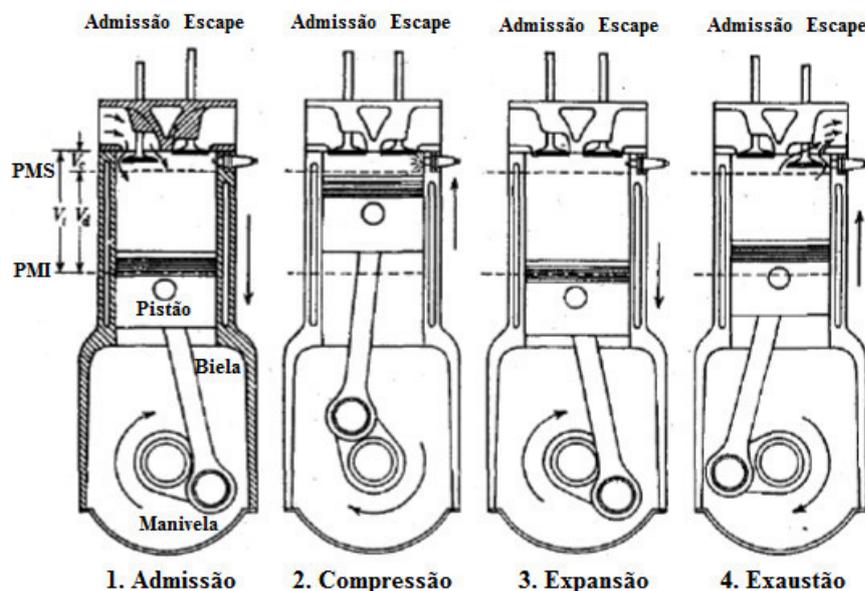
A maior parte dos MCI opera segundo o ciclo de trabalho de quatro tempos, no qual o pistão executa quatro cursos distintos (Figura 1) dentro do cilindro para cada duas rotações do eixo de manivela, essas etapas se repetem durante o funcionamento do equipamento, realizando o seguinte ciclo teórico (MORAN et. al 2015):

1. Admissão. Com a válvula de admissão aberta, o pistão aspira mistura fresca de ar e combustível para dentro do cilindro, executando um curso do PMS ao PMI, que corresponde ao volume deslocado (V_D) ou a cilindrada;
2. Compressão. Com ambas as válvulas fechadas, o pistão comprime a mistura de ar e combustível dentro do cilindro do PMI até o PMS, ficando a mistura sob alta pressão contida apenas no volume da câmara (V_C) ou volume morto. Segundo Moran et. al (2015), os motores de ignição por centelha possuem valores típicos de taxa de compressão entre 8 e 12;
3. Expansão ou Explosão. Também é denominado curso de potência. A vela de ignição lança uma centelha elétrica no interior da câmara de combustão e dá início ao processo de queima, o qual libera uma grande quantidade de

energia, impulsionando o pistão ao PMI. Segundo Heywood (1988), o trabalho realizado no pistão ($W > 0$) nesse tempo é cerca de cinco vezes maior que o trabalho do pistão ($W < 0$) no curso de compressão;

4. Exaustão ou Escape. Com a válvula de escape aberta, os produtos da combustão saem do cilindro, primeiramente, porque a pressão no interior da câmara é substancialmente maior que a pressão externa e, em segundo, devido ao movimento do pistão em direção ao PMS.

Figura 1: Ciclo de trabalho de MCI de quatro tempos.

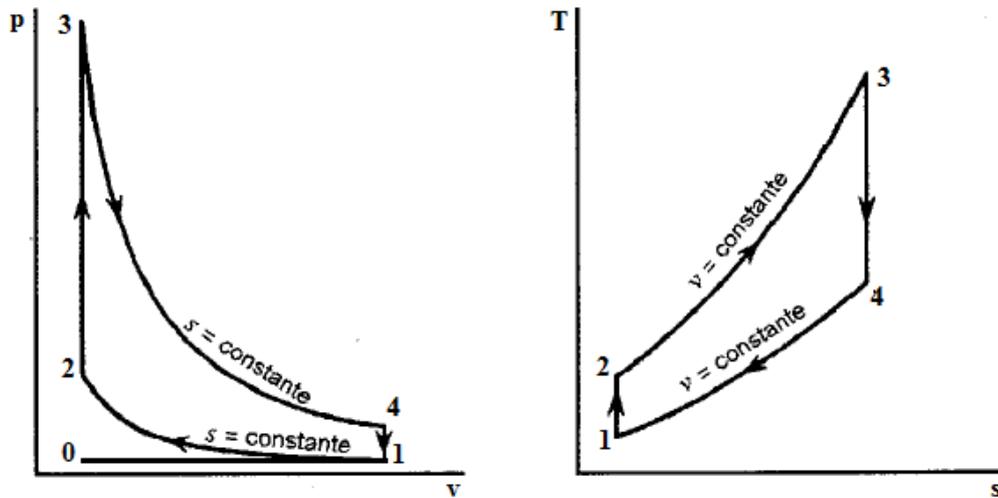


Fonte: Heywood (1988). Adaptado pelo autor.

É possível ainda representar esse ciclo teórico de motores Otto, por meio de gráficos de pressão versus volume ($p-v$) e de temperatura versus entropia ($T-s$), como mostrado na Figura 2 abaixo, o qual contém cinco estados termodinâmicos, cujos caminhos entre um e outro ponto resultam nos quatro tempos já explicitados, da seguinte maneira: admissão (do 0 até o 1), compressão (do 1 até o 2), expansão (do 2 até o 3) e exaustão (do 3 até o 0). As outras trajetórias são ganho e perda de calor a volume constante, respectivamente, do 2 até o 3 e do 0 até o 1.

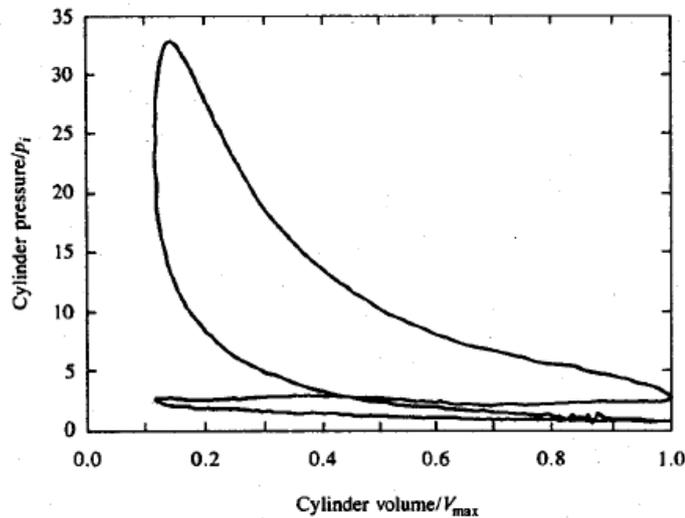
Entretanto, destaca-se que os gráficos da Figura 2 são teóricos e, na prática, há irreversibilidades, cruzamento de válvulas (intervalo de tempo em que as válvulas de admissão e escape estão ambas abertas), entre outros conjuntos de fatores que propiciam que o ciclo não opere como idealizado. Desse modo, o gráfico $p-v$, na realidade, é algo semelhante à Figura 3 (HEYWOOD, 1988).

Figura 2: Gráfico p-v e T-s do ciclo-padrão a ar Otto.



Fonte: Sonntag, Borgnakke e van Wylen (2013). Adaptado pelo autor.

Figura 3: Gráfico p-v do ciclo Otto real.



Fonte: Heywood (1988), p. 162.

Vale ressaltar que também existe MCI que funciona com o ciclo de trabalho denominado dois tempos, que foi concebido para proporcionar um projeto de válvulas mais simples e maior potência de saída para um motor de mesmo tamanho. Entretanto, devido ao alto consumo de óleo, menor rendimento e outros fatores, esse ciclo de trabalho, em geral, só é utilizado em MCI de grande porte, enquanto os de médio e pequeno são, normalmente, de quatro tempos (HEYWOOD, 1988).

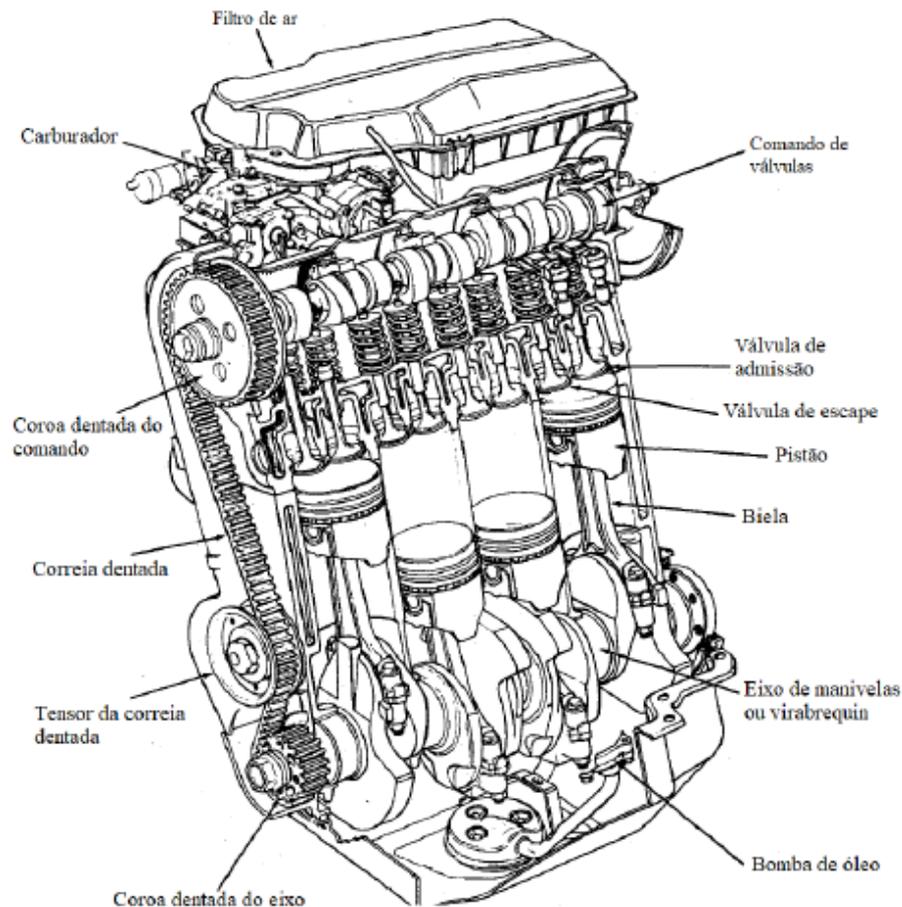
Outrossim, é importante acentuar que os MCI, normalmente, são constituídos de vários cilindros, de forma que em cada período de 180° de giro de eixo de manivela, pelo menos um dos cilindros estará no seu tempo motor (período em que o pistão está no curso de expansão, ou seja, a energia química do combustível se transforma em energia mecânica)

dentro de um ciclo, sendo que o balanço energético do motor é sempre positivo, pois caso contrário o motor cessaria seu movimento (COSTA, 2017).

Desse modo, quando ocorre a expansão em determinado cilindro o conjunto pistão-biela-manivela (o qual converte um movimento oscilatório vertical em circular) rotaciona o eixo de manivelas (ou virabrequim), o qual fornece energia mecânica para ser utilizada no eixo comando de válvulas e nos outros controles do motor (FERGUSON; KIRKPATRICK, 2016). Além de remanescer potência útil, o qual, usualmente, pode ser utilizado para movimentar o carro ou em outras aplicações, como movimentação do eixo de um alternador a fim de gerar energia elétrica.

Além dos componentes do MCI já citados como, pistão, biela, manivela, virabrequim, eixo de comando válvulas, vela de ignição, há outros elementos básicos, mostrados na Figura 4. Fundamentalmente, o motor é dividido em três partes: cárter (que é um reservatório de óleo lubrificante), bloco (onde estão os cilindros) e cabeçote (o qual contém o eixo comando de válvulas, vela de ignição).

Figura 4: Componentes básicos de um MCI.

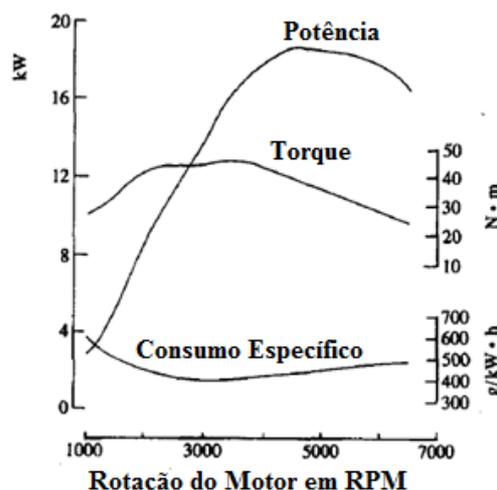


Fonte: Heywood (1988). Adaptado pelo autor.

Pode-se ainda destacar, outros elementos, por exemplo, correia dentada (que transmite o movimento do virabrequim para o eixo comando de válvulas); bomba de óleo (a qual mantém a pressão e a vazão de óleo dentro do sistema, garantindo sua adequada lubrificação); carburador (cuja função é criar e dosar a mistura ar-combustível de maneira totalmente mecânica, mas, nos novos motores, está sendo substituído pela injeção eletrônica).

É fundamental conhecer as curvas de desempenho do MCI a ser utilizado a fim de definir qual a melhor rotação de funcionamento deste equipamento, dependendo da sua aplicação. Essencialmente, há três curvas características (Figura 5), as quais são obtidas em função do giro do motor: torque (T), potência (W) e Consumo específico (C_e), os quais possuem, respectivamente, as unidades N.m, kW e g/kW.h no SI. A

Figura 5: Curvas de consumo, torque e potência de um MCI.



Fonte: Heywood (1988). Adaptado pelo autor.

3.2 Geradores de Corrente Alternada

Geradores síncronos ou alternadores são máquinas elétricas, cuja rotação é proporcional à frequência da corrente de sua armadura, utilizadas para converter energia mecânica em potência elétrica CA (CHAPMAN, 2013). Esses equipamentos podem facilmente operar em paralelo, de modo que os sistemas de fornecimento de energia elétrica dos países industrializados contêm centenas deles operando em paralelo (FITZGERALD; KINGSLEY JUNIOR; UMANS, 2014).

Conforme Nascimento Junior (2012), os componentes básicos de um gerador síncrono (Figura 6) são rotor ou campo (parte rotativa, constituída por lâminas de um material ferromagnético envolvidas por um número par de enrolamentos de condutores de cobre, que tem como finalidade produzir um campo magnético constante para interagir com o campo do

enrolamento do estator) e estator ou armadura (peça fixa, também composta por lâminas de um material ferromagnético envoltas por um conjunto de enrolamentos, montada em volta do rotor de modo que este possa girar no seu interior).

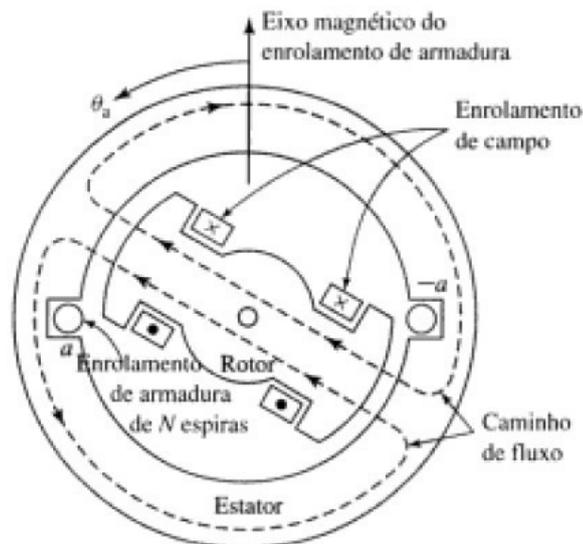
Em geral, o funcionamento pode ser resumido como o campo magnético, o qual é alimentado por uma tensão contínua, criado através do giro em velocidade constante a partir de uma fonte de potência mecânica conectada ao seu eixo, por exemplo um MCI, de modo que ao movimentar o rotor, o campo magnético gerado pelos seus polos tenha um movimento relativo aos condutores do enrolamento do estator (NASCIMENTO JUNIOR 2012).

Acarretando, assim, numa variação da intensidade do campo magnético que atravessa os enrolamentos da armadura ao longo do tempo e, desse modo, conforme a lei de Faraday-Lenz-Newmann (Equação 1), haverá uma tensão induzida aos terminais do estator (FITZGERALD; KINGSLEY JUNIOR; UMANS, 2014).

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (1)$$

Onde ε é a força eletromotriz (FEM) induzida; N é o número de voltas idênticas do fio; Φ_B é o fluxo magnético através de uma única espira.

Figura 6: Vista esquemática de um gerador síncrono monofásico com um único enrolamento e dois polos.

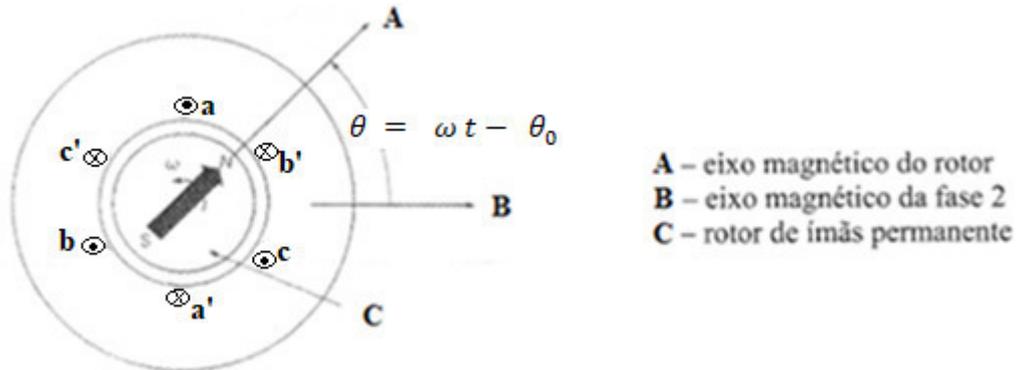


Fonte: Fitzgerald, Kingsley Junior e Umans (2014), p. 178.

Vale ressaltar ainda que o rotor pode ser constituído por um ímã permanente (Figura 7) em vez de um eletroímã (dispositivo que utiliza corrente elétrica de um fio espiralado ao redor de um núcleo ferromagnético a fim de gerar um campo magnético), tendo

princípio de funcionamento semelhante ao já explicitado, sendo neste caso denominado máquina síncrona de ímã permanente (NASCIMENTO JUNIOR 2012).

Figura 7: Vista esquemática de um gerador síncrono trifásico com ímã permanente.

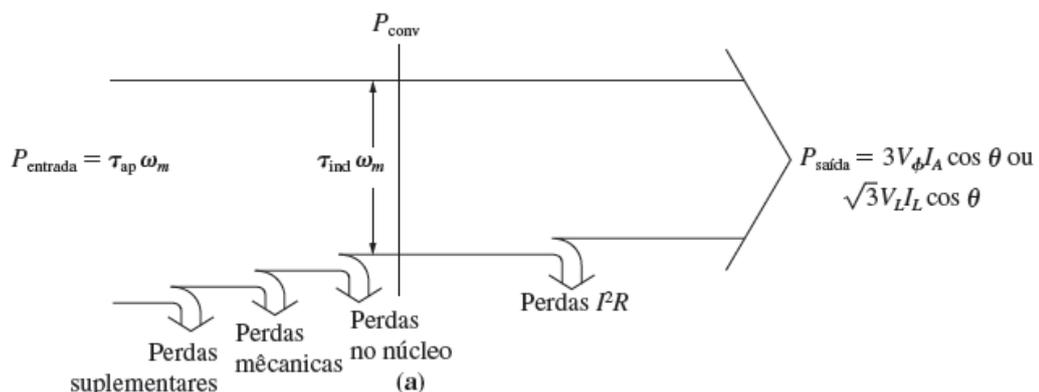


Fonte: Dias et. al (2005). Adaptado pelo autor.

Ademais, é importante evidenciar que, como todo processo físico real, há perdas (Figura 8) associadas ao processo de conversão de potência mecânica em elétrica, cujas causas são classificadas em (CHAPMAN, 2013):

- Perdas no cobre ou perdas elétricas. Ocorrem devido ao efeito joule, isto é, o aquecimento devido ao efeito resistivo dos enrolamentos utilizados;
- Perdas no ferro ou perdas no núcleo. Decorrem por causa da histerese magnética e das correntes parasita (ou correntes de Foucault);
- Perdas mecânicas. Causadas, em geral, pelo atrito entre as partes móveis do gerador e pela resistência do ar ao movimento do rotor;
- Perdas suplementares. Definidas, essencialmente, como as perdas que não se enquadram nas classificações anteriores.

Figura 8: Diagrama de fluxo de potência de um gerador CA trifásico.

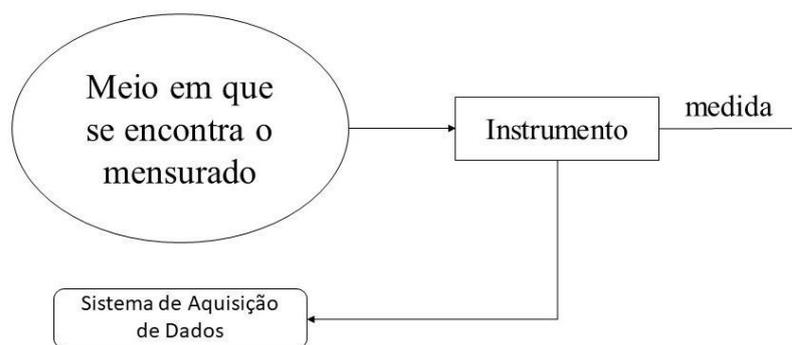


Fonte: Chapman (2013), p. 185.

3.3 Sistema de Aquisição de Dados e de Controle de Atuadores

Segundo, Aguirre (2013), sensor é todo equipamento que converte um estímulo físico e/ou químico em outra grandeza física para fins de medição e/ou monitoramento. E quando o valor medido (ou mensurando) não está atrelado a um sistema de controle (têm-se apenas o sistema de aquisição de dados ou ainda a leitura diretamente no dispositivo instalado), intitula-se a operação desse instrumento como sendo de malha aberta (Figura 9).

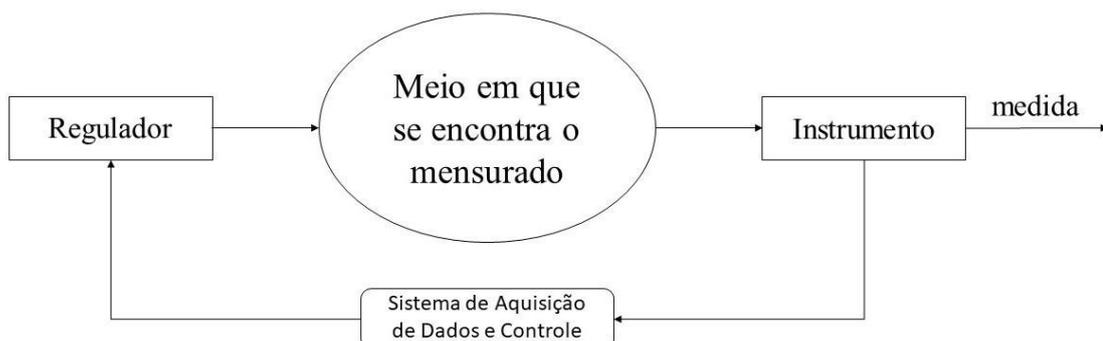
Figura 9: Operação de Instrumento em malha aberta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para que haja um sistema de aquisição de dados, faz-se necessário que os sensores transformem as variáveis medidas em sinais elétricos mensuráveis, a fim de ser possível que esses dados sejam obtidos e armazenados. Já para o desenvolvimento do controle, o sistema deve comparar esses valores adquiridos com os desejados e, assim, definir ações (ALVES, 2010). Esse tipo de operação é definido como malha fechada (Figura 10), isto é, quando a medição é realimentada para controlar o processo por meio de um atuador ou regulador (AGUIRRE, 2013).

Figura 10: Operação de Instrumento em malha fechada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Um sistema de controle confiável está diretamente ligado a uma combinação de qualidade do DAQ, dos sensores, dos atuadores, do circuito de condicionamento de sinais e da boa calibração de cada instrumento utilizado (ASAD et. al, 2011).

Os sensores convertem um fenômeno físico ou químico em um sinal elétrico analógico, cujas características passarão por modificações (como amplificação, atenuação, filtragem, entre outras) para conseguir um sinal mais adequado a ser transmitido do condicionador de sinais ao dispositivo DAQ, o qual converte tal sinal de modo que um computador possa interpretá-lo e armazená-lo (GESTEIRA, 2014).

Esse equipamento DAQ contém um barramento de comunicação (USB, PCI, PCI Express, Ethernet, entre outros) e, muitas vezes, um conversor analógico-digital (ADC) embutido em sua configuração. Além dele, faz-se necessário o uso de um software capaz de garantir que o usuário controle o dispositivo de aquisição de dados, crie janelas de visualização e armazene os dados adquiridos (GESTEIRA, 2014).

Ademais, é indispensável conhecer a terminologia própria da área de instrumentação e controle de processos para melhor estabelecer as características necessárias dos sensores, dispositivo DAQ e atuadores a serem adquiridos. A nomenclatura é padronizada de modo que fabricantes, usuários, projetistas e organismos ou entidades que atuem no campo utilizem uma mesma linguagem. Alguns dos principais termos desse ramo são (BEGA, 2011):

- Faixa de medida ou *range*. É o conjunto de valores da variável medida que estão compreendidos dentro dos limites superior e inferior da capacidade de medição do instrumento. Vem expressa estabelecendo os seus valores extremos;
- Alcance ou *span*. É a diferença entre os limites superior e inferior da faixa de medida do instrumento;
- Fundo de escala. Valor máximo da faixa de medição do sensor.
- Precisão ou *accuracy*. É a tolerância de medição do instrumento. Em geral, define-se o limite dos erros em porcentagem do alcance, da leitura, do valor máximo da faixa medida ou do comprimento da escala, ou ainda em unidades da variável medida. Normalmente, varia em cada ponto da faixa medida, mas os fabricantes a especificam em toda a faixa do instrumento;
- Sensibilidade ou *sensitivity*. É o valor mínimo de variação da variável medida para notar-se mudança no valor da leitura. Usualmente, é expressa em porcentagem do alcance.

- Sinal Digital. Permite o uso de apenas dois tipos de estado (0 ou 1), por exemplo, ligado ou desligado, aberto ou fechado, presente ou ausente, entre outros.
- Sinal Analógico. Permite uma faixa de variação entre o nível baixo e o alto, como, a medição de temperatura (que pode medir vários valores dentro do range do instrumento, não só os valores máximo e mínimo).
- Variável manipulada ou variável de entrada. É aquela que se varia a fim de controlar o sistema;
- Variável controlada ou variável de saída. É aquela que se deseja controlar. Essencialmente, também é uma variável medida, já que para conter certo parâmetro em um determinado intervalo de valores, é necessário medi-lo com algum sensor, para garantir que ele está na faixa desejada;
- Ponto de ajuste, valor de referência ou *setpoint* (SP). É o valor alvo no qual o sistema de controle é ajustado para controlar o processo;
- Erro ou *offset*. É a diferença entre o valor da variável medida/controlada e o valor do ponto de ajuste;
- Elemento final de controle, atuador ou regulador. É o equipamento que comanda a variável manipulada. Pode ser uma válvula, bomba, compressor, resistência, entre outros dispositivos;
- Controlador. É o componente o qual compara o sinal de um ou mais sensores com o SP e transmite algum comando para o elemento final de controle;
- Erro residual ou estacionário. É um resto do *offset* que o controlador não conseguiu anular, permanecendo, assim, na resposta deste componente;
- Distúrbio ou variável de perturbação. É uma entrada no processo a qual não pode ser manipulada.

Além disso, é necessário compreender as principais orientações de como fazer as medições, as quais mudam de acordo com o sinal de saída do sensor. Caso o sinal seja em corrente, há dois métodos que podem ser utilizados. O primeiro consiste em um galvanômetro de D'Arsonval, o qual nada mais é que uma bobina de fio ligada a um ponteiro com uma mola que gira dentro do campo de um ímã permanente, assim, quando não há corrente, a mola mantém o ponteiro na posição zero e, ao passar corrente contínua pela bobina, um campo magnético é gerado no sentido contrário ao do ímã permanente, deslocando o ponteiro para a

medida indicada. Já o segundo método é o mais utilizado e baseia-se na lei de Ohm, empregando voltímetros com um resistor de precisão, então, medindo-se a tensão é possível inferir o valor de corrente (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017).

Em geral, utiliza-se a transmissão de sinal de 4 a 20 mA, no qual 4 mA representa zero por cento (valor mínimo do range) e 20 mA simboliza cem por cento (valor máximo da faixa de medição). Esse padrão é definido de modo que o chamado zero vivo (sinal de 4 mA) permita a distinção entre o sinal zero e um fio quebrado ou um instrumento desativado. Com o zero vivo é possível alimentar diretamente instrumentos de baixa potência com o loop, economizando o custo de fios extras. Vale destacar também que pode-se colocar um outro resistor de precisão (chamado shunt) para medir correntes maiores (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017).

No caso de sinal em tensão (diferença de potencial elétrico entre dois pontos), mede-se com um voltímetro ou multímetro, mas é crucial atentar para o ponto de referência da medição, cujo nível de tensão serve de referência para a medição. Desse modo, há dois métodos básicos de medição: com referência ao terra e diferencial (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

A medição de tensão com referência ao terra, consiste em utilizar o fio terra (está, normalmente, em torno de 0 V) como ponto de referência. Já a medição de tensão diferencial, consiste em medir tal grandeza entre dois pontos do circuito elétrico, assim, acarreta na desvantagem de reduzir pela metade o número de entradas do dispositivo de aquisição de dados. Esse método é altamente recomendável para canais que atendam qualquer uma das seguintes condições: sinais de entrada de níveis baixos (abaixo de 1 V), cabos os quais conectam o sinal ao dispositivo de aquisição de dados maiores que 3 m, o sinal de entrada requer um ponto de referência de terra ou sinal de retorno separado, os cabos de sinais passam por ambientes com muito ruído (NATIONAL INSTRUMENTS, 2017).

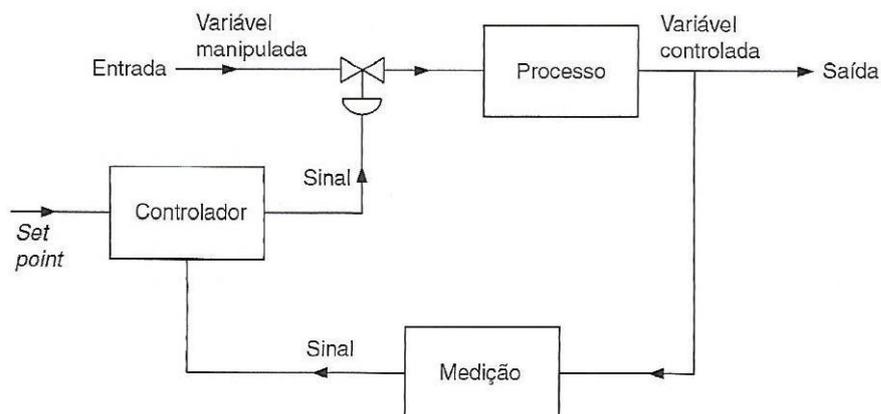
Já no caso da medição de temperatura por meio de um termopar, recomendam-se outros cuidados especiais, visto que os sinais de saída tipicamente estão na faixa de milivolts e, geralmente, têm uma sensibilidade de tensão/temperatura muito baixa. Tal atenção resume-se, basicamente, em evitar as principais fontes de erro em medições desse tipo, as quais são: erros de CJC (*Cold Joint Compensation* ou Compensação por Junta Fria), de ganho, de ruído, do termopar (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

O erro de CJC é, principalmente, devido ao gradiente de temperatura entre a junção fria e o sensor de CJC. Já os erros de ganho são proporcionais à tensão de entrada, assim, eles exercem maior impacto quando os termopares medem temperaturas próximas ao limite superior do seu *range*. O erro de ruído pode ser introduzido pelas linhas de alimentação

de 50 e 60 Hz, pela soldagem direta do termopar em um material condutor, pela sua submersão em líquidos condutores, entre outras causas. E o erro do termopar pode ser, por exemplo, consequência de impureza nos metais (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

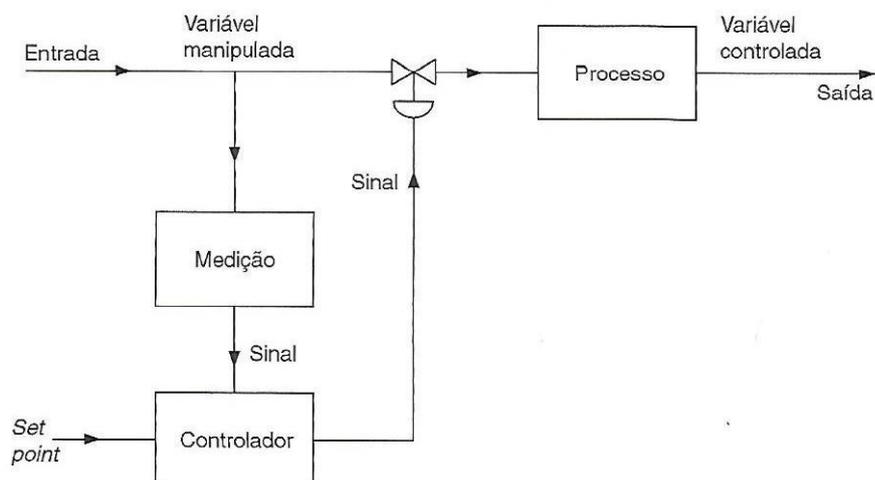
É fundamental também conhecer as estratégias mais básicas de controle: realimentação e antecipativo. A realimentação ou *feedback* (Figura 11) é quando a informação é realimentada da saída, subtraída do valor de referência para, então, alterar a variável manipulada de entrada. Já o antecipativo ou *feedforward* (Figura 12), possui uma ação corretiva na entrada do sistema, detectando o distúrbio antes que se propague no processo e realizando a alteração apropriada na variável manipulada, de modo a manter a saída igual ao valor desejado. De modo geral, pode-se afirmar que a realimentação detecta tanto problemas do processo quanto da entrada, entretanto possui uma resposta mais lenta, sendo recomendável para casos em que há distúrbios na entrada do processo (ALVES, 2010).

Figura 11: Controle à realimentação.



Fonte: Alves (2010), p. 6.

Figura 12: Controle antecipativo.



Fonte: Alves (2010), p. 6.

Dessas estratégias de controle mais básicas, sucedem técnicas mais avançadas, como controle em cascata (em que o controlador mestre ou *master* utiliza um ponto de medição secundário além do convencional para manipular o SP do controlador escravo ou *slave* o qual lida com a variável controlada); de relação ou razão (onde uma variável é manipulada em relação à outra para manter a razão entre as duas variáveis); seletivo (no qual a quantidade de variáveis manipuladas é superior ao de variáveis controladas); entre outras (SMITH; CORRÍPIO, 2008).

Outrossim, também é essencial saber os principais tipos de controladores: liga/desliga, *on/off* ou de duas posições (onde há um intervalo de valores de referência, adotando-se uma ação caso a variável controlada ultrapasse o limite superior do SP e outro ato se for menor que o valor mínimo); proporcional (no qual a resposta do controlador é proporcional ao *offset*); derivativo (que possui uma ação preditiva ou antecipatório, pois a resposta está relacionada com a taxa de variação do erro); integral (cuja função é minimizar o erro residual por meio da integral do *offset*); além de associações desses modelos, como o controle proporcional derivativo integral (Equação 2) (BAYER; ARAÚJO, 2011).

$$u(t) = k \cdot e(t) + \frac{k}{\tau_I} \cdot \int e(t) dt + k \cdot \tau_D \cdot \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Onde $u(t)$ é o sinal de saída do controlador; k é o ganho proporcional; $e(t)$ é o *offset*; τ_I é o tempo integrativo; τ_D é o tempo derivativo.

3.4 Parâmetros de Medição e Controle

Na indústria de processamento contínuo (aquelas cujo processo produtivo envolve de maneira mais significativa variáveis contínuas no tempo), os parâmetros mais usuais em um sistema de aquisição de dados e de controle são temperatura, pressão, vazão e nível, embora existam diversas outras (ALVES, 2010). A seguir, serão listadas as principais variáveis a serem medidas e controladas em um laboratório de testes de motorizador a biogás.

Primeiramente, serão utilizados os sensores originais de fábrica no motor, que garantem seu adequado funcionamento. Esses dispositivos possuem um sistema de cabos e conexões (conhecido como chicote) para que o controlador eletrônico interligue-se com os sensores e atuadores do MCI. Então, as medidas do motor podem ser adquiridas, por meio do chicote (Figura 13), pelo sistema de controle a ser desenvolvido neste trabalho, assim, serão obtidos parâmetros como, teor de oxigênio no escape (medido pela sonda-lambda), rotação do

motor, posição da borboleta, temperatura do líquido de resfriamento (antes dele passar pelo radiador), pressão do óleo, entre outros (RADÜNZ, 2015).

Em segundo, além dessas medições, estabeleceram-se outras variáveis que serão importantes mensurar no teste de motogeradores a biogás, tais como:

- Vazão de ar na tubulação de admissão do laboratório;
- Vazão de biogás;
- Pressão, temperatura e umidade relativa da sala de teste durante o ensaio;
- Teor de gases (como HC, CO₂, CO e NO_x) no escape do motor;
- Analisador de grandezas elétricas (por exemplo, tensão, corrente, potência, harmônicas e oscilografia de perturbações em sistemas elétricos de geração).

Figura 13: Chicote do motor de combustão interna.



Fonte: Catálogo da empresa TC Chicotes (2011).

A vazão de ar admitido na sala de testes é importante para arrefecer este ambiente devido ao calor emitido pelo motor, gerador, silencioso, escapamento, entre outras fontes localizadas no interior do aposento, além de garantir o fluxo de ar necessário para a combustão adequada do MCI. Assim, é importante monitorar essa grandeza a fim de garantir o seu adequado suprimento (CUMMINS POWER GENERATION, 2011).

Já a vazão de biogás é relevante ser medido, a fim de garantir o fornecimento apropriado de combustível ao motor, assegurando a razão ar/combustível próxima a estequiométrica. Com os dados de fluxo do ar e do biogás, pode-se também calcular o balanço energético, bem como o consumo específico do motor (MORAN et. al 2015).

Outrossim, conforme Guirardi (2008), a medição das variáveis de pressão, temperatura e umidade relativa do ambiente de testes é necessária, visto que esses parâmetros provocam alterações na potência produzida, rendimento térmico e consumo de combustível, de acordo com o que será explanado a seguir.

Um incremento da pressão da sala de testes ocasiona um crescimento da massa específica do ar e, conseqüentemente, da vazão mássica de ar admitida. Assim, tanto numa máquina térmica ideal quanto numa real, o consumo de combustível, bem como a potência gerada aumentam com a pressão (GUIRARDI, 2008).

Em uma máquina térmica ideal, a potência produzida varia inversamente com o quadrado da temperatura de admissão e o rendimento térmico depende apenas da relação de pressões. Entretanto, na prática, a temperatura do ambiente interfere positivamente no comportamento termodinâmico do equipamento, tanto na potência quanto na sua eficiência (GUIRARDI, 2008).

Um aumento da umidade provoca uma diminuição da massa molecular e um incremento do calor específico do ar, todavia, o crescimento deste é maior que a redução daquele, assim, a potência gerada de uma máquina térmica ideal aumenta com a umidade. Já no caso real, um incremento na umidade ocasiona um crescimento tanto na potência produzida quanto no consumo de combustível (GUIRARDI, 2008).

Ainda, segundo Guirardi (2008), é possível realizar simulações, fixando dois dos três parâmetros e variando-se apenas um. Ademais, de acordo com Sonntag, Borgnakke e Van Wylen (2013) a medição dessas variáveis é fundamental para o balanço energético do sistema, bem como o cálculo de grandezas, como eficiência térmica.

Por outro lado, o teor dos gases de escapamento é crucial ser determinado a fim de atender as normas nacionais e internacionais, que englobam esforços crescentes com objetivo de aperfeiçoar a combustão, visando reduzir as emissões de gases poluentes advindos da queima incompleta do combustível (MENDONÇA, 2017).

Dentre os gases de escape de um MCI, vale destacar os óxidos de nitrogênio (NO_x), os quais são formados mais abundantemente, quanto maior for a temperatura de trabalho do equipamento; o monóxido de carbono (CO), que possui produção proporcional ao excesso de combustível (fato observado em misturas denominadas ricas); os hidrocarbonetos (HC), os quais têm formação relacionada também com misturas ricas ou ainda com pontos frios na câmara de combustão (MENDONÇA, 2017).

Destaca-se ainda a necessidade de analisar como os diversos cenários simulados afetam as grandezas elétricas, a fim de selecionar os melhores ajustes e de propor soluções para que o sistema elétrico possa funcionar de forma eficiente, minimizando possíveis

problemas e tornando o sistema mais confiável. Tais medidas devem ser tomadas não só em valores instantâneos, mas por meio de gráficos os quais podem ser obtidos com o analisador de grandezas elétricas a ser adquirido (VALENTE, 2013).

Salienta-se que esse monitoramento das grandezas elétricas é fundamental também para a segunda estratégia de funcionamento do grupo motogerador que permitirá que a energia produzida seja injetada na rede elétrica da Universidade. Esse modo de operação, será implementado depois que houver certo domínio do comportamento do MCI à utilização de diferentes composições de biogás, até esse momento, serão usadas cargas elétricas resistivas.

Em terceiro, ressalta-se, que também serão utilizados termopares do tipo k (usado, em geral, de modo genérico) em pontos do sistema para cálculo de balanço energético, de transferência de calor, entre outros. Serão medidas temperaturas como do líquido de resfriamento (depois dele passar pelo radiador), superficial do grupo motogerador, e outras medições.

Em último, vale destacar que serão medidos instantaneamente os valores da pressão dentro do cilindro e do ângulo de manivela (com conseqüente determinação do PMS). Essas medições são indispensáveis para o diagnóstico da combustão do motor e para o cálculo do trabalho realizado, entretanto salienta-se que, para a obtenção desses resultados, é essencial a utilização de software de cálculo especializado para este fim. De posse destas informações, pode-se analisar melhor o regime de funcionamento do MCI em diferentes situações e propor possíveis melhorias (BUENO; VELÁSQUEZ; MILANEZ, 2012).

Na Tabela 1 têm-se um resumo de todos os sensores que serão empregados no sistema de aquisição de dados. Vale ressaltar que as primeiras oito linhas da tabela são referentes aos sensores já existentes no MCI e que terão seus sinais lidos a partir do chicote do motor. Salienta-se também que todos os sinais provenientes das variáveis medidas são do tipo analógicos.

Já no controle do grupo gerador, será importante comandar as seguintes variáveis:

- Partida do motor;
- Ângulo de abertura da borboleta (acelerador);
- Acionamento das cargas elétricas resistivas discretas.

O controle de dar a partida do MCI já é algo existente, entretanto, com o objetivo de respeitar as normas de segurança, durante o funcionamento do motogerador, o operador deverá ficar na sala de controle, a qual é separada da sala de testes por uma porta acústica e

antichamas e, assim, deverá realizar a partida do motor da sala de controle. Tal tipo de controle será do tipo liga ou desliga, ou seja, digital.

A válvula borboleta regula a vazão de ar admitida pelo motor para, então, a Unidade de Controle Eletrônico (ECU) realizar os cálculos de controle da injeção de combustível e o momento de lançamento da centelha para o sistema de ignição eletrônica, assim, a borboleta atua no regime de funcionamento do MCI, é o que, usualmente, é denominado de acelerar ou desacelerar (GUEDES, 2013).

Tabela 1: Sensores utilizados no sistema de aquisição de dados.

	Sensor	Grandeza Medida
C H I C O T E	Sensor de pressão	Pressão do óleo
	Sensor de pressão	Pressão do combustível
	Sensor MAP (<i>Manifold Absolute Pressure</i>)	Pressão do ar no coletor de admissão
	Sensor de temperatura	Temperatura do ar de admissão
	Sensor de temperatura	Temperatura do líquido de resfriamento
	Potenciômetro	Posição da borboleta
	Sonda lambda	Concentração de O ₂ no escape
	Sensor hall	Rotação do motor
	Anemômetro de fio quente	Velocidade de ar de admissão
	Medidor de vazão	Vazão de biogás
	Transmissor de pressão	Pressão da sala de testes
	Transmissor de temperatura	Temperatura da sala de testes
	Transmissor de umidade	Umidade relativa da sala de testes
	Analizador de gases	Teor de gases no escape
	Multimedidor de Grandezas Elétricas	Tensão, corrente, potência, entre outras
	Termopar	Temperaturas do líquido de resfriamento (depois dele passar pelo radiador), superficial do motogerador, entre outras
	Sensor de pressão	Pressão interna do cilindro do MCI e ângulo de manivela

Fonte: Elaborado pelo autor.

Comandando o ângulo de abertura dessa válvula poder-se-á controlar a rotação do motor para diferentes porcentagens de torque. Controle esse necessário para realização de

testes de diagnóstico, análise dos gases e material particulado, entre outros. Ensaios os quais são todos normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como NBR 15634, NBR 10972, entre outras. Tal tipo de controle será do tipo analógico, visto que é possível escolher diferentes valores para o ângulo da borboleta (e, conseqüentemente, para a rotação do motor) dentro do *range* e não só os valores máximo e mínimo.

Já o acionamento das cargas elétricas resistivas discretas é importante para simular diversos cenários de operação sem comprometer a rede elétrica local com possíveis flutuações de energia, assim, pode-se estudar técnicas direcionadas ao aumento da eficiência na geração de energia proveniente do biogás e, conseqüentemente, o desenvolvimento de tecnologias em termos de sistemas de propulsão.

Esse comando pode ser feito de maneira manual, abrindo ou fechando o circuito elétrico de cada carga elétrica resistiva, mas, a fim de garantir uma maior segurança e conforto do operador, o acionamento ocorrerá via sistema de controle, cujo sinal será do tipo digital, visto que é do padrão aberto ou fechado.

Na Tabela 2 a seguir têm-se um resumo das grandezas que se pretende controlar com o sistema de controle, bem como o tipo de sinal utilizado (analógico ou digital).

Tabela 2: Grandezas a serem controladas pelo sistema.

Grandeza Controlada	Tipo de Controle
Partida do motor	Digital
Ângulo de abertura da borboleta (acelerador)	Analógico
Acionamento das cargas elétricas resistivas discretas.	Digital

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 METODOLOGIA

4.1 Infraestrutura da Sala de Teste de Motogeradores

O estudo desenvolvido neste trabalho apresenta-se como continuação de um projeto de implantação de laboratório de teste de motogeradores a biogás de pequeno porte (potência menor que 100 kW). Para tal, tomou-se como referência normas ABNT e internacionais (ISO, DIN, AS, BS, ASTM, entre outras) regulamentadoras de avaliação de desempenho para o desenvolvimento de sistemas de ventilação industrial, atenuação de ruído, isolamento de vibração, cargas elétricas resistivas. Tal projeto foi desde a concepção de cada sistema, passando pela intervenção civil, compra e fabricação, até a instalação de cada componente dimensionado.

Assim, o estudo feito anteriormente no LACER obteve como resultado um laboratório de teste de grupo gerador de pequeno porte subdividido em dois compartimentos distintos: uma sala de testes propriamente dita e uma sala de controle. Na sala de controle foi construído uma bancada e adquiridos computadores para que os operadores pudessem realizar ensaios no motogerador sem estar dentro da sala de testes, salvo exceções que se fazem indispensáveis a presença do operador e por permanência reduzida.

Já a sala onde situa-se o grupo gerador foi construída com parede reforçadas de concreto, além de uma porta acústica em aço, garantindo, assim, adequado isolamento acústico e térmico entre os dois compartimentos, bem como, evitando a propagação de possíveis incêndios. Também para atenuar a propagação de ruído, foi dimensionado outros componentes como atenuadores de anteparas paralelas e inclinadas nas tubulações de admissão e exaustão de ar da sala de testes.

Ressalta-se que essas tubulações constituem o sistema de ventilação juntamente com ventiladores industriais. Tal sistema foi calculado para proporcionar à sala de teste um número de trocas de ar acima do mínimo requerido pela norma, determinando-se assim uma vazão mínima de ar. Na determinação das características dos ventiladores industriais, foi dimensionado também uma pressão estática mínima maior que as perdas de carga total na admissão e exaustão. Vale salientar que esse sistema ainda possui uma filtragem simples, composta por grade proteção contra particulado sólido macroscópico e pequenos animais

Foi dimensionado o sistema de isolamento de vibração do motogerador a fim de atenuar os efeitos destrutivos causados pela operação desse equipamento ao piso do laboratório. Para tal, analisou-se as vibrações provocadas pela máquina e consultou-se fabricantes nacionais a fim de encontrar a melhor solução comercial para a aplicação proposta.

Por fim, foi especificado um banco de resistências de dosagem de cargas de 3 kW que possibilite simular o motogerador submetido a cargas variáveis operando em situações reais de funcionamento. Esse sistema de cargas resistivas discretas é fundamental para o estudo do comportamento do grupo gerador funcionando com diferentes composições de biogás e deve ser feito a fim de dominar o combustível estudado para, então, poder injetar a energia elétrica produzida na rede.

Assim, tinha-se como resultado antes do estudo desenvolvido neste trabalho uma instalação adequada para o teste de motogeradores a biogás de pequeno porte, mas sem um sistema de aquisição de dados e controle apropriado para a realização de ensaios. Nesse contexto, o atual projeto executado permitirá o acontecimento dos testes nas mais diferentes situações de operação de maneira rápida, segura e confiável.

4.2 Sensores e atuadores

O principal objetivo deste trabalho, conforme já mencionado, é o projeto de um sistema de aquisição de dados e de controle de um laboratório de motogerador a biogás. Para tal, realizou-se um vasto estudo bibliográfico, quais parâmetros seriam monitorados pelo sistema de aquisição de dados (Tabela 1) e quais seriam comandados pelo sistema de controle (Tabela 2).

Após a definição dessas variáveis, empenhou-se em especificar os sensores e atuadores capazes de atender aos requisitos mínimos necessários, como faixa de medição do instrumento maior ou igual aos valores da variável medida, temperatura de operação do equipamento que abranja aos possíveis intervalos de temperatura na sala de testes, tempo de resposta do sensor adequado de acordo com a grandeza medida (visto que há variáveis que variam mais rapidamente, necessitando de um tempo de resposta menor, enquanto outras mudam de maneira mais suave), entre outras condições impostas (ALVES, 2010).

Em seguida, procurou-se entre os fabricantes do mercado aqueles que atendiam a todas as especificações, pesquisando, primeiramente, nas empresas nacionais (a fim de favorecer o desenvolvimento da produção local frente à internacional) e, caso fosse encontrado mais de uma opção de compra, escolhia-se o produto de menor preço.

De modo geral, nas especificações requereu-se que os instrumentos sejam capazes de funcionar nas faixas de temperatura de 20 a 50 °C e de pressão de 0 a 1,5 bar, as quais contêm todos os possíveis valores dessas grandezas na sala de testes enquanto o grupo gerador estiver em operação. Além de claro, terem um *range* que abranja os potenciais valores da variável medida.

Ratifica-se que os primeiros oito sensores descritos na Tabela 1 já estão presentes no motor para que a Unidade de Controle Eletrônico faça o comando de operações como acionamento do radiador do MCI, regulagem da mistura ar combustível a ser injetada na câmara de combustão, entre outras atuações. No caso de tais instrumentos, não será necessário definir requisitos mínimos de especificação, pois eles já foram dimensionados corretamente pelo fabricante do motor, entretanto, será preciso ser feita uma adaptação para obter as medições do chicote do motor. Esses sensores possuem sinal de saída analógica na faixa de 0 a 5 Vcc, com exceção do sensor hall o qual possui sinal de saída de ondas quadradas de 0 a 12 Vcc.

Continuando a lista de sensores descritos na Tabela 1, o anemômetro de fio quente para medição da velocidade do ar de admissão da sala de testes deverá conseguir operar em faixas de temperaturas de 20 a 50 °C e de pressão de 0 a 1,5 bar, ter um tempo de resposta menor ou igual a 0,5 s e possuir faixa de medição de 0 a 15 m/s.

Procurando no mercado nacional, encontrou-se diversos fabricantes que atendessem as especificações, então, selecionou-se aquele que obedecia a todos os requisitos e possuía menor preço: o sensor FMA904A da empresa Ômega (Figura 14) o qual consegue operar em faixas de temperatura de -40 a 121 °C e de pressão de 0 a 6 bar, tem um tempo de resposta de 250 ms e mede com um *range* de 0 a 25,4 m/s. Tal instrumento tem sinal de saída analógica de 0 a 5 Vcc ou 4 a 20 mA (o cliente pode escolher qual prefere) e precisão de 2% de fundo de escala, e deve ser alimentado com tensão de 15 a 24 Vcc.

Figura 14: Anemômetro de fio quente.



Fonte: Catálogo da empresa Ômega (2017).

O medidor de vazão de biogás deverá conseguir operar em faixas de temperaturas de 20 a 50°C e de pressão de 0 a 3bar, ter um tempo de resposta menor ou igual a 0,5s, possuir faixa de medição de 0 a 5 m³/h e não funcionar segundo processos térmicos a fim de reduzir o risco de explosão na linha de alimentação de combustível.

Após encontrar mais de um produto disponível no mercado nacional, escolheu-se aquele que atendia a todas as especificações e continha o menor preço, obtendo-se como resultado o medidor do tipo turbina TCM19BBER-10R-BL da empresa TechMeter (Figura 15), que consegue operar em faixas de temperatura de 0 a 120 °C e de pressão de 0 a 50 bar, tem um tempo de resposta de 2 ms e mede num *range* de 0 a 33m³/h. Além disso, tal instrumento tem sinal de saída de ondas quadradas de 0 a 24 Vcc, precisão de 1% de fundo de escala e diâmetro de ¾ de polegada, e deve ser alimentado com tensão de 24 Vcc e corrente de 20 mA.

Figura 15: Medidor de vazão de biogás do tipo turbina.



Fonte: Catálogo da empresa TechMeter (2017).

O Transmissor para medir a pressão da sala de testes deverá conseguir operar na faixa de temperatura de 20 a 50 °C, ter um tempo de resposta menor ou igual a 5 s e possuir faixa de medição de 0 a 1,5 bar. Há vários produtos nacionais os quais atendem tais parâmetros, sendo assim, optou-se por aquele sensor com menor preço: NP640 da empresa Novus (Figura 16), o qual pode operar no intervalo de temperatura de -20 a 70 °C, tem um tempo de resposta de 30 ms e um *range* de 0 a 4 bar. Outrossim, esse sensor possui sinal de saída analógica de 4 a 20 mA, alimentação de 11 a 33 Vcc e precisão de 0,25% do fundo de escala.

Figura 16: Transmissor de pressão.



Fonte: Catálogo da empresa Novus (2017).

Já no caso das medições de temperatura e umidade relativa da sala de testes, constatou-se a possibilidade de realizar tais medições com um único instrumento, o que se mostrou como uma solução mais barata e igualmente confiável em relação a compra de dois sensores separados, assim, definiram-se as especificações de maneira integrada. Esse

equipamento deverá conseguir operar no intervalo de pressão de 0 a 1,5 bar, ter um tempo de resposta menor ou igual a 5 s e possuir faixas de medição de temperatura de 20 a 50 °C e de umidade relativa de 0 a 100%.

Foram encontrados diversos fabricantes nacionais capazes de atender os requisitos, então, selecionou-se aquele cujo produto apresentou menor preço: RHT-WM da empresa Novus (Figura 17), que possui tempo de resposta de 4 s e *ranges* de temperatura de -40 a 120 °C e de umidade de 0 a 100%. Ademais, tem sinal de saída analógica de 0 a 10 Vcc ou 4 a 20 mA (o cliente pode escolher qual prefere), alimentação de 12 a 30 Vcc e precisão de 1 °C para a temperatura e 3% para a umidade relativa.

Figura 17: Transmissor de temperatura e umidade.



Fonte: Catálogo da empresa Novus (2017).

O analisador de gases deve ser apto a medir as seguintes faixas de concentrações nos gases de escapamento do motor: 0 a 15% de CO, 0 a 15% de CO₂, 0 a 25% de O₂, 0 a 10000 ppm de HC e 0 a 5000 ppm de NO_x. Foram encontrados alguns produtos nacionais especializados nessas medições em MCI e que pudessem atender às especificações, assim, optou-se por aquele com menor preço: PC-MULTIGÁS do fabricante Napro (Figura 18), o qual realiza as medições das concentrações de CO, CO₂, HC, O₂ e NO_x nas respectivas faixas de medição: 0 a 15%, 0 a 20%, 0 a 20000 ppm, 0 a 25% e 0 a 5000 ppm.

Figura 18: Analisador de gases do escapamento.



Fonte: Catálogo da empresa Napro (2017).

Tal equipamento mede também o fator lambda e o AFR (*Air-Fuel Ratio* ou Razão Ar-Combustível) em *ranges* de, respectivamente, 0 a 9,99 e 0 a 99,99. Além disso, pode ser alimentado com 12 Vcc ou 110/220 Vca e 60 Hz (o cliente pode escolher qual prefere) e possui saída que se comunica diretamente com software exclusivo da empresa.

O multimedidor de grandezas elétricas deverá fornecer medidas de tensão, corrente, frequência e fator de potência das três fases de energia produzida pelo alternador síncrono. Após encontrar no mercado nacional mais de um produto apto a realizar todas essas medições, selecionou-se aquele cujo preço era o menor, decorrendo no MMW02 da empresa Weg (Figura 19).

Figura 19: Multimedidor de grandezas elétricas.



Fonte: Catálogo da empresa Weg (2017).

Além dessas medidas elétricas já mencionadas, tal equipamento fornece ainda outras informações, como a potência ativa, reativa e aparente instantânea, energia direta ativa, indutiva e capacitiva, THD (*Total Harmonic Distortion* ou Total de Distorção Harmônica) e harmônicas ímpares, entre outras. É fundamental observar também que tal dispositivo possui saída em protocolo MODBUS.

No caso dos termopares do tipo k (Figura 20), sabe-se que eles contêm as mesmas características operacionais independente do fabricante, variando apenas com particularidades construtivas, como tipo de bainha. Então será selecionado o fabricante nacional o qual venda esse produto pelo menor preço. De modo geral, sabe-se que esse tipo de termopar mede em um *range* de -270 a 1200 °C, emitindo um sinal de saída analógico em tensão de -6,458 a 48,838 mV.

Por fim, o transdutor de pressão no interior da câmara de combustão deverá medir tal grandeza relacionando-a ao ângulo de manivela em cada instante de medição. Tal medição deverá ser bem rápida (a fim de obter o maior número de pontos possíveis para um mesmo ciclo), pouco invasiva (para não interferir no funcionamento do MCI) e muito confiável (com

o intuito de que outros circuitos elétricos, como o da bobina de ignição que descarrega altas tensões de até 45000 V, não interfiram nos sinais de saída do sensor).

Figura 20: Termopar tipo k.



Fonte: Catálogo da empresa Heatcom (2017).

Infelizmente, não foi encontrada empresa nacional que comercializasse esse tipo de produto, entretanto, foram identificadas duas empresas internacionais as quais possuíam expertise nessa instrumentação em específico e que comercializavam produtos de preços com mesma ordem de grandeza. O primeiro fabricante utiliza o método de perfurar o cabeçote do MCI e colocar o transdutor de pressão com auxílio de equipamentos especializados para tal finalidade. Já o segundo emprega uma técnica de substituição da vela do motor por um dispositivo fabricado sob medida que contém uma vela de mesmas características e um sensor acoplado. Optou-se pela segunda solução: ZI33-A5S (Figura 21) do fabricante Avl da Áustria, tal mercadoria, além de ser um pouco mais barata, foi considerada menos invasiva, não prejudicando o funcionamento do MCI.

Figura 21: Transdutor de pressão acoplado à vela de ignição do motor.



Fonte: Catálogo da empresa Avl (2017).

Vale destacar, que assim como o analisador de gases de escapamento da Napro, o sensor de pressão da câmara de combustão possui sinal de saída com software próprio do fabricante. Tal software é capaz de realizar o pós-processamento de dados com base em décadas de expertise na área e apresentar os resultados com base em gráficos e outros

métodos que facilitem a interpretação das medidas. Ressalta-se que com o uso de tal sensor aliado ao seu software específico, será possível traçar as curvas termodinâmicas reais do motor (como na Figura 3).

Na Tabela 3 têm-se um resumo de todos os sensores que serão empregados no sistema de aquisição de dados, bem como a quantidade e o seu sinal de saída. Essas informações serão primordiais na determinação do DAQ, a qual será feita posteriormente.

Já para o sistema de controle, conforme já explicitado na Tabela 2, serão controladas as seguintes grandezas: partida do motor, ângulo de abertura da borboleta (que corresponde ao acelerador de um carro) e acionamento das cargas resistivas discretas.

A partida do motor é um controle o qual já existe, de modo que ao colocar a chave na ignição (posição 0 da Figura 22) e girá-la para a posição 1, fecha-se o circuito com a bateria e, ao girar e mantê-la na posição 2 por alguns breves segundos o motor de partida é acionado a fim de permitir que o MCI atinja determinada rotação mínima, então, solta-se a chave (que retorna para a posição 1), o motor de partida é desligado e o MCI consegue funcionar por si só. Já para a parada do MCI, gira-se a chave da posição 1 para a posição 0, então o circuito com a bateria é aberto e o equipamento é desligado.

Na Figura 22, pode-se ver as três posições de chave mencionadas acima, de modo que, na posição 0, o MCI e o sistema elétrico estão desligados e a chave pode ser removida. Na posição 1, o sistema elétrico está ligado e a chave não pode ser removida. E, na posição 2, o sistema elétrico e motor de partida estão ligados e a chave não pode ser removida.

O comando que se pretende implementar é poder ligar/desligar o motogerador apenas com um botão virtual no display do computador que está operando o sistema de controle. Para isso, bastará adicionar ao sistema do MCI já existente um relé a fim de abrir/fechar o circuito com a bateria e outro relé para abrir/fechar o circuito com o motor de partida.

O ângulo de abertura da borboleta também é um controle já existente em carros e em motogeradores. No caso de carros, esse controle é feito por meio do pedal do acelerador e, em grupos geradores, esse controle é feito por um dispositivo denominado governador eletrônico (ou de rotações), o qual, normalmente, vem integrado ao conjunto, e comanda a abertura da borboleta com base na detecção da rotação do alternador, de modo que a energia elétrica produzida atenda aos requisitos mínimos, como frequência.

Como tal equipamento já existe, usá-lo-á de modo a configurar o seu *setpoint* para a rotação que o operador desejar, ou seja, pretende-se configurar o atual governador eletrônico a receber do sistema de controle um sinal analógico de 0 a 10 V o qual seja interpretado como um valor de referência. Por exemplo, o dispositivo recebe o sinal de 4 V que expressa um

valor de referência de 1800 rpm, então, o governador eletrônico controlará a borboleta do MCI de maneira que o gerador mantenha a rotação o mais próximo da desejada. Basicamente, tal controle proposto é do tipo cascata, em que o controlador mestre (no caso, o sistema de controle) regula o *setpoint* do controlador escravo (governador eletrônico).

Tabela 3: Quantidade e sinal de saída de cada sensor utilizado no sistema de aquisição de dados.

Quantidade	Sensor	Saída
1	Sensor de pressão do óleo	0 a 5 Vcc
1	Sensor de pressão do combustível	0 a 5 Vcc
1	Sensor MAP	0 a 5 Vcc
1	Sensor de temperatura do ar de admissão	0 a 5 Vcc
1	Sensor de temperatura do líquido de resfriamento	0 a 5 Vcc
1	Potenciômetro (posição da borboleta)	0 a 5 Vcc
1	Sonda lambda	0 a 5 Vcc
1	Sensor hall	0 a 12 Vcc (onda quadrada)
1	Anemômetro de fio quente	4 a 20 mA ou 0 a 5 Vcc
1	Medidor de vazão de biogás	0 a 24 Vcc (onda quadrada)
1	Transmissor de pressão ambiente da sala	4 a 20 mA
1	Transmissor de temperatura ambiente da sala	4 a 20 mA ou 0 a 5 Vcc
1	Transmissor de umidade relativa da sala	4 a 20 mA ou 0 a 5 Vcc
1	Analizador de gases do escapamento	Software próprio
1	Multimedidor de Grandezas Elétricas	Protocolo MODBUS
6	Termopar	-6,458 a 48,838 mV
1	Sensor de pressão no interior da câmara de combustão	Software próprio

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22: Possíveis posições da chave de ignição.



Fonte: Manual do proprietário sahara (2014). Adaptado pelo autor.

Por fim, o acionamento das cargas elétricas resistivas discretas é de fundamental importância para simular diversas situações de operação sem comprometer a rede elétrica local com prováveis flutuações de energia. Para tal, o LACER dispõe de um banco de dez resistências de 3 kW cada a fim de testar o motogerador em diversas situações de carga. Ressalta-se que o banco de resistências existente já possui acionamento de cada carga resistiva de maneira manual, desse modo, para a realização do controle proposto de acionamento, basta, assim como na partida/parada do motor, relés para abrir/fechar os circuitos elétricos que já existem, sendo assim, necessários mais dez relés para tal atuação.

Na Tabela 4 a seguir têm-se um resumo das grandezas que se pretende comandar relacionando-as com os atuadores utilizados e suas quantidades necessárias.

Tabela 4: Quantidade de atuadores para controle de cada grandeza.

Quantidade	Atuador	Grandeza Controlada
2	Relés	Partida do motor
1	Governador Eletrônico	Ângulo de abertura da borboleta (acelerador)
10	Relés	Acionamento das cargas elétricas resistivas discretas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Condicionadores de Sinal, Dispositivo de Aquisição de Dados e de Controle

A partir da determinação dos instrumentos e atuadores a serem utilizados, pôde-se definir a necessidade da utilização de condicionadores de sinais, os quais apresentam uma

grande variedade de características, como amplificação, isolamento, filtragem, linearização, entre outras propriedades (BAPTISTA, 2008).

Ao mesmo tempo em que se examina a necessidade de usar condicionadores de sinais, deve-se definir o DAQ e o software a ser empregado no desenvolvimento do sistema. Para tal, faz-se necessário uma ampla pesquisa entre produtos especializados nesta área de instrumentação e controle de processos.

É fundamental atentar para algumas condições mínimas do dispositivo de aquisição de dados, como quantidade de canais de entrada maior ou igual ao número de medições, resolução maior ou igual à precisão dos sensores especificados (a fim de garantir que o valor medido será integralmente adquirido pelo sistema), taxa de amostragem mais rápida ou igual aos tempos de resposta dos instrumentos (para assegurar que todas as leituras poderão ser adquiridas pelo DAQ) (BAPTISTA, 2008).

Do mesmo modo, há alguns requisitos mínimos para o hardware de controle, como número de canais de saída maior ou igual a quantidade de grandezas controladas, saídas com sinais dos tipos determinados (Tabela 2), nível de processamento, bem como memória RAM entre outras exigências.

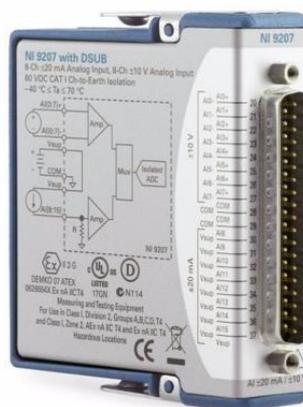
Assim, a partir das especificações dos sensores (Tabela 3) e dos atuadores (Tabela 4), buscaram-se no mercado as soluções para a montagem de tal sistema e optou-se por produtos da National Instruments, os quais possuem soluções integradas de condicionador de sinal e dispositivo de aquisição de dados e controle. Tal empresa é mundialmente conhecida por suas vastas aplicações e por apresentar soluções confiáveis.

Dentre os produtos disponíveis da National Instruments, escolheu-se o CompactRIO (*Compact Reconfigurable Input and Output* ou cRIO), o qual é um controlador industrial embarcado que combina controle em tempo real, módulos IO (*Input and Output*), FPGA (*Field-Programmable Gate Array*) e chassi de expansão ethernet. Tal dispositivo pode ser programado em LABVIEW (linguagem de programação gráfica desenvolvida pela National Instruments), C, C++ ou Java.

O uso de FPGA é fundamental para o controle em tempo real do sistema, com respostas na ordem de nanosegundos, podendo ser utilizado para mecanismo de segurança do sistema, por exemplo, caso haja risco de incêndio, o sistema deve desligar o motorizador. Além do FPGA, o cRIO possui, por meio dos módulos IO, medição e controle da ordem de décimos de segundos, assim as medições podem ser atualizadas na tela e os controles podem ser efetuados nos atuadores em um tempo relativamente rápido. Esses módulos deverão ser dimensionados com base nas Tabelas 3 e 4.

Primeiramente, para todos os sensores do chicote do motor, com exceção do hall, serão 7 sinais de saída de 0 a 5 Vcc e para o transmissor de pressão da sala, transmissor de temperatura e umidade da sala e anemômetro de fio quente serão 4 saídas de 4 a 20 mA. Para esse conjunto de sensores, escolheu-se o módulo NI9207 (Figura 23), o qual possui 8 entradas analógicas de tensão de -10 a 10 Vcc, 8 entradas de corrente de -21,5 a 21,5 e taxa de amostragem de 500 S/s. Desse modo, ainda restarão 1 entrada de tensão e 4 de corrente as quais não serão utilizadas pelo atual projeto e podem ser aproveitadas em aperfeiçoamentos futuros do sistema. Ressalta-se que esse módulo possui modo de alta resolução com rejeição de ruído proveniente de 50/60 Hz.

Figura 23: Módulo para sensores com saída 0 a 5 Vcc e 4 a 20 mA.



Fonte: Catálogo da empresa National Instruments (2017).

Para o sensor hall e o medidor de vazão de biogás, os quais possuem sinal de saída de ondas quadradas em tensão, selecionou-se o módulo NI9411, que tem 6 entradas digitais de tensão de 5 a 24 Vcc. Sobrando, assim, 4 entradas digitais de tensão para possíveis usos futuros. Salienta-se que esse módulo possui isolamento entre os canais IO e também no canal para o fio terra.

Já para os termopares do tipo k, optou-se por um módulo em medições especializado para tal, visto que esses instrumentos possuem sensibilidade tensão/temperatura muito baixa e faixa de medição na ordem de grandeza de milivolts. O módulo escolhido foi o NI 9213, o qual possui 16 entradas, CJC incorporada, taxa de amostragem de 75 S/s/canal e resolução de 24 bits. Salienta-se que selecionou um dispositivo com 10 entradas a mais que o necessário, pois se pretende futuramente aumentar o número de termopares utilizados no sistema. Tal módulo possui isolamento de segurança entre canais e o terra do sistema, além do mecanismo de zeragem automática de canais para a compensação de erros de *offset*.

Para conectar o multimedidor de grandezas elétricas, utilizar-se-á uma porta ethernet a fim de comunicar a saída em protocolo MODBUS com o cRIO, necessitando-se ainda interpretar tal sinal na linguagem de programação do software. Enquanto que para o caso do analisador de gases de escapamento e do sensor de pressão no interior da câmara de combustão não serão comunicados diretamente com o hardware, visto que eles já possuem hardware e software próprio, desse modo, serão utilizados os próprios softwares para mostrar as medições em tempo real.

Assim, consegue-se adquirir todos os dados especificados na Tabela 3, todavia foram também dimensionados mais dois módulos para a medição da qualidade de energia: NI9225 e NI9227. Aquele possui 3 canais para medir tensões de até 600 Vrms e 4 canais que mensuram correntes de até 5 Arms, ou seja, ainda sobrar-á uma entrada do módulo NI9227. Ressalta-se que esses módulos possuem condicionamentos de sinais próprios, como isolamento entre canais e filtros antialias internos.

A análise da qualidade de energia já é realizada pelo multimedidor de grandezas elétricas da Weg, entretanto pode-se usar esses dois módulos citados para desenvolver uma lógica própria de análise da energia elétrica e então comparar os resultados da lógica desenvolvida com as medições do equipamento da Weg como forma de validação. Após validado, haverá domínio suficiente para o estudo e desenvolvimento de tecnologias relacionadas a geração e injeção de energia na rede. Ou seja, não é fundamental tais módulos para o funcionamento do sistema de aquisição de dados, mas a expertise obtida com eles, ajudará na pesquisa por aprimoramentos na área, além de permitir o domínio necessário para operar o motogerador injetando energia elétrica diretamente na rede da UFC.

No caso do controle, foram especificados dois módulos: NI9375 para saída digital para relé e NI9263 para saídas analógicas para o governador eletrônico. Aquele módulo possui 16 saídas e 16 entradas digitais de tensão de 24 Vcc, enquanto esse tem 4 saídas analógicas de - 10 a 10 Vcc, resolução de 16 bits e taxa de amostragem de 100 kS/s. Desse modo, sobrarão 4 saídas digitais e 3 analógicas, as quais poderão ser usadas em aperfeiçoamentos futuros do sistema.

Como pode-se perceber, nem todos os canais de entrada ou saída dos módulos I/O foram utilizados. Na Tabela 5, encontra-se um resumo de quais canais do cRIO estão disponíveis para serem utilizados em uma posterior ampliação do sistema de aquisição e de dados proposto neste trabalho.

Por fim, escolheu-se o chassi cRIO9038 (Figura 24), o qual possui 8 slots, 2 portas ethernet, 3 portas USB, 2 portas seriais, FPGA Kintex-7 de 160T e controladora de processador Intel Atom dual-core de 1.33 GHz e de 8 GB de armazenamento não-volátil. Tal

estrutura seria capaz de processar os sinais de entrada e saída, caso todos os canais de todos os módulos estivessem sendo utilizados.

Tabela 5: Resumo dos canais do cRIO disponíveis para futura ampliação do sistema de aquisição de dados e controle.

Módulo	Canais utilizados	Canais Disponíveis
NI9207	7 entradas analógicas de 0 a 5 Vcc e 4 entradas analógicas de 4 a 20 mA	1 entrada analógica de 0 a 5 Vcc e 4 entradas analógicas de 4 a 20 mA
NI9411	2 entradas analógicas de 5 a 24 Vcc (onda quadrada)	4 entradas analógicas de 5 a 24 Vcc (onda quadrada)
NI9213	6 entradas para termopar	10 entradas para termopar
NI9225	3 entradas analógicas de até 600 Vrms	-----
NI9227	3 entradas analógicas de até 5 Arms	1 entrada analógica de até 5 Arms
NI9375	12 saídas digitais de 0 a 30 Vcc	16 entradas digitais de 0 a 30 Vcc e 4 saídas digitais de 0 a 30 Vcc
NI9263	1 saída analógica de -10 a 10 Vcc	3 saídas analógicas de -10 a 10 Vcc

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24: Chassi, controladora e FPGA integrados.



Fonte: Catálogo da empresa National Instruments (2017).

Assim, obteve-se como resultado final a montagem apresentada na Figura 25 a qual necessita de uma fonte simples de 24 Vcc para funcionar. Vale ressaltar ainda que, o hardware especificado como um todo consegue operar dentro da faixa de -40 a 70 °C, sendo assim, adequado a aplicação proposta neste trabalho.

Ratifica-se que cada módulo possui condicionamento de sinal próprio de acordo com as características empregadas, assim, há, dependendo do módulo, isolamento entre canais, filtro anti alias internos, conversor analógico digital, amplificador, entre outras possíveis particularidades. Assim, analisou-se cada módulo especificado e percebeu-se que não há

necessidade de adquirir condicionadores de sinais fora os já inclusos nos próprios módulos IO.

Figura 25: Montagem final do hardware.



Fonte: Catálogo da empresa National Instruments (2017).

4.4 Software

Juntamente com a análise das características do hardware, é fundamental observar com quais softwares ele possui interface. Em muitos casos, as empresas do ramo de hardware também fornecem software o qual pode até ser o único compatível com o dispositivo físico, tornando o comprador dependente de adquirir ambos os produtos. O software deve possuir alguns requisitos mínimos como linguagem de programação de fácil implementação, área de interface homem-máquina (onde o operador não ver o código, mas somente os resultados que lhe interessam), entre outras condições de projeto (OLIVEIRA, 2013).

Conforme explicitado na seção anterior, o cRIO pode ser programado em LABVIEW, C, C++ ou Java, assim, deve-se escolher por um software que utilize alguma dessas linguagens. Após uma vasta análise das opções do mercado, selecionou-se o LABVIEW (nome tanto do software quanto da linguagem), o qual é também um produto da National Instruments.

Tal software baseia-se numa programação por diagrama de blocos, sendo assim, de alto nível, permitindo que seu usuário utilize mais tempo analisando os dados da pesquisa e menos em tentativas de executar o código do programa. De modo geral, o diagrama de blocos comparado com a programação estruturada é uma configuração mais direta e intuitiva para engenheiros e cientistas, os quais estão mais habituados a utilizar fluxogramas e diagramas (NATIONAL INSTRUMENTS, 2015).

Além da rapidez e facilidade em desenvolver códigos, o LABVIEW possui ainda elevado número de funções pré-prontas específicas para aquisição e envio de sinais e análise de dados. Esse software também possui uma ferramenta de depuração exclusiva a qual pode-se observar os valores de maneira interativa conforme eles movimentam-se pelas linhas de conexão de blocos de um programa. Tudo isso contribui para uma probabilidade maior em conseguir desenvolver o programa desejado.

Ademais, assim como outros softwares, também possui o recurso de paralelismo, sendo que, no caso do LABVIEW, o paralelismo acontece de maneira automática, diferente dos que usam linguagem sequencial. Essa característica do software é denominada de paralelismo implícito e colabora para torna-lo ainda mais fácil e intuitivo.

Outra característica fundamental do LABVIEW para esse projeto de sistema de aquisição de dados e controle é a possibilidade de programar FPGAs utilizando tal software. Assim, será possível arquitetar um intertravamento para segurança do sistema utilizando uma linguagem fácil e intuitiva.

Vale destacar também a capacidade de combinar a programação de diagrama de blocos com diversas formas de programação baseadas em texto, desse modo, fórmulas e equações matemáticas que podem ser representadas mais sucintamente com texto podem ser escritas no código com outra linguagem de programação, como C, MathScript, entre outras.

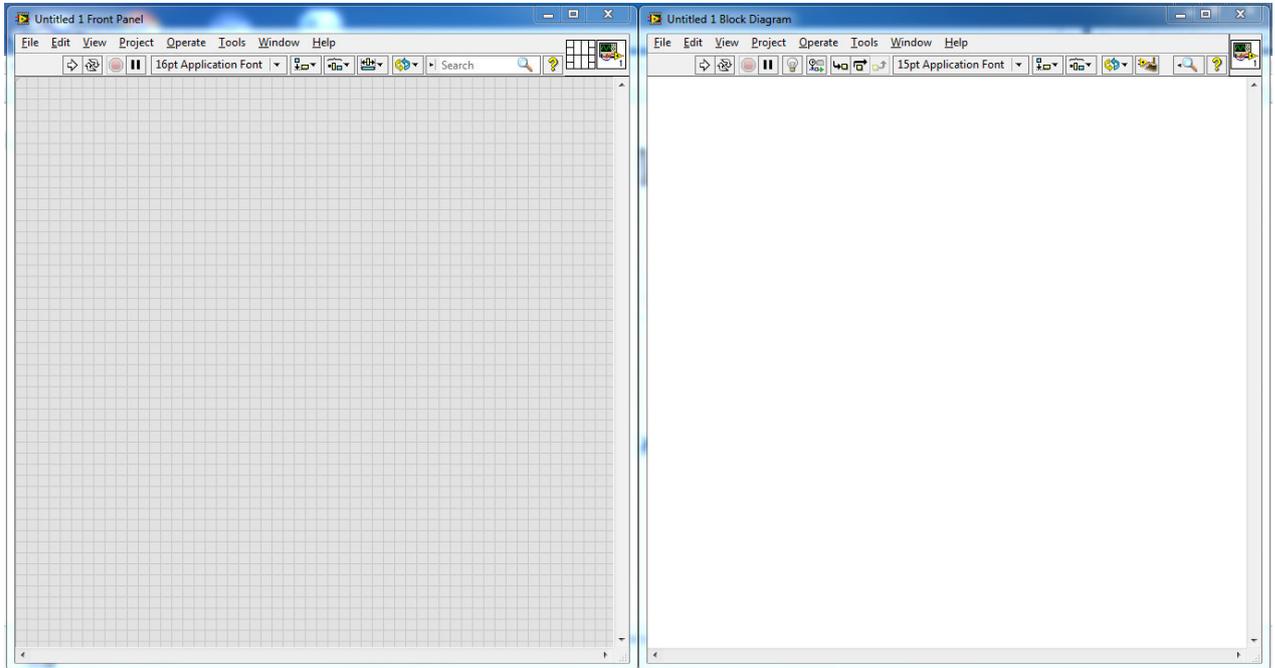
Por fim, é relevante ressaltar que o LABVIEW possui vários *drivers* (os quais podem ser baixados gratuitamente do seu site) de instrumentos de diversas grandezas tanto da National Instruments como de outros fabricantes. Tais *drivers* são responsáveis pela interpretação do sinal por parte do software e são importantíssimos, principalmente, quando a saída do sensor não for linear. Por exemplo, se o transdutor de umidade possuir uma não-linearidade no seu sinal de saída e enviar 5 mA para o cRIO, o programa deverá entender, com a ajuda do *driver*, que esse sinal representa a medida de 15%.

Na Figura 26 abaixo se pode ver um pouco da interface utilizada pelo LABVIEW, ao começar um novo programa (selecionando-se a opção *blank VI*), são abertas duas janelas: *front panel* ou painel frontal (esquerda da figura) e *block diagram* ou diagrama de blocos (direita da figura). No painel frontal é onde o usuário final da lógica implementada irá operar o software, para tal, é possível incluir botões, luzes, gráficos, mudar a tela de fundo, entre outras ferramentas.

Já no digrama de blocos, a pessoa responsável pela programação irá implementar a lógica do programa com auxílio de funções, como soma, subtração, comparação entre valores, recebimento e envio de sinais do hardware, loop while, for, entre outros. Vale

ressaltar, que quando o usuário abrir o programa, só será mostrado para ele o painel frontal, entretanto, ele poderá ver o diagrama de blocos utilizando o atalho do teclado ctrl + E.

Figura 26: Interface do LABVIEW.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.5 Custo de Implementação

Após a especificação dos sensores, atuadores, hardware e software a serem utilizados no sistema de aquisição de dados e controle, é possível obter uma cotação atualizada de cada item a ser comprado. Desse modo, consegue-se uma estimativa de valor total a ser investido para implementação do sistema projetado neste trabalho, conforme pode ser visto na Tabela 6.

Cada categoria (sensores, atuadores, hardware e software) é detalhada nessa tabela de modo que seja possível observar o preço de cada componente do sistema de aquisição de dados. Ratifica-se que alguns componentes já existem no grupo gerador, como os sensores que terão os sinais adquiridos pelo chicote do MCI e o governador eletrônico. Ademais, é importante salientar que o transdutor de pressão a ser instalado dentro da câmara de combustão e que será importado da Áustria e, por isso, possui cotação em euro a qual foi convertida considerando que € 1 = R\$ 3,92.

Tabela 6: Custo de implementação do sistema de aquisição de dados e controle.

Categoria	Item	Preço
Sensores	Anemômetro de fio quente	R\$3.225,00
	Medidor de vazão de biogás	R\$600,00
	Transmissor de pressão da sala	R\$620,00
	Transmissor de temperatura da sala	R\$872,00
	Transmissor de umidade da sala	
	Analizador de gases de escapamento	R\$18.000,00
	Multimedidor de Grandezas Elétricas	R\$1.500,00
	Termopar tipo k	R\$1.116,00
	Sensor de pressão da câmara de combustão	R\$63.000,00
	Sub-total	R\$88.933,00
Atuadores	Comutadora de relé	R\$180,00
Hardware	Módulo NI9207	R\$3.180,00
	Módulo NI9411	R\$1.070,00
	Módulo NI9213	R\$5.515,00
	Módulo NI9225	R\$7.670,00
	Módulo NI9227	R\$5.105,00
	Módulo NI9375	R\$2.195,00
	Módulo NI9263	R\$1.940,00
	Controladora e chassi integrados	R\$27.330,00
	Sub-total	R\$54.005,00
Software	Labview	R\$13.560,00
	Módulo Real-Time	R\$12.170,00
	Módulo FPGA	R\$12.170,00
	Electrical Power Toolkit	R\$5.005,00
	Sub-total	R\$42.905,00
Total		R\$186.023,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 Programação do sistema de aquisição de dados e controle

Apoiado na definição do software foi possível desenvolver o sistema de aquisição de dados e controle. Para tal, primeiro foi estabelecido aquilo que se pretendia que o sistema realizasse:

- Apresentação dos valores medidos pelos sensores;
- Controle das variáveis definidas anteriormente;
- Registro do tempo de cada operação do MCI;
- Registro do tempo de funcionamento total do MCI;
- Registro de data e horário;

- Alarme para avisar sobre a necessidade de troca de óleo;
- Alarme para avisar sobre a necessidade de verificação do eletrólito da bateria;
- Alarme para avisar se a ventoinha do radiador está ou não funcionando;
- Armazenamento das variáveis do sistema em uma planilha de excel.

Deseja-se que o sistema proposto, obviamente, tanto apresente os valores medidos quanto permita os controles definidos, já que essa é a característica principal desse programa. Ademais, pretende-se que o registro dos tempos de operação, bem como da data e horário, ajude na manutenção preventiva do motogerador e permita ser realizado um registro de operações. Tal registro colaborará, em um primeiro momento, para a integração do analisador de gases de escapamento da Napro e do sensor de pressão da câmara de combustão da Avl, os quais possuem software próprios e armazenamento exclusivos dos valores, pois, por exemplo, pode-se comparar data e horário dos armazenamentos e interligar os números armazenados.

É esperado também o desenvolvimento de três alarmes, dois apenas para aviso de manutenção preventiva (necessidade de troca de óleo e de verificação do eletrólito da bateria) do grupo gerador, enquanto o terceiro alarme somente comunica se a ventoinha do radiador está ou não em operação. Por fim, o armazenamento das variáveis do sistema em uma planilha de excel permitirá a exposição e manipulação dos dados posteriormente a realização dos testes.

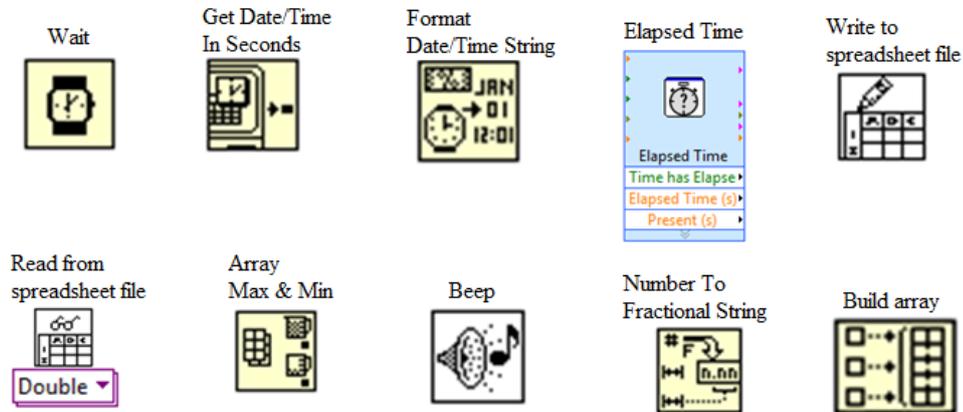
Após definido aquilo que se pretendia que o programa executasse, foi realizado um estudo sobre o LABVIEW a fim de conhecer as funções do software as quais seriam úteis para a realização do foi proposto. A seguir segue um resumo das funções usadas no desenvolvimento da programação por diagrama de blocos:

- *Wait*. Recebe como entrada o tempo em milissegundos em que o laço demorará em ser executado.
- *Get Date/Time In Seconds*. Emite a saída de data e horário do computador.
- *Format Date/Time String*. Recebe a data e horário e retorna como saída tais valores convertidos para o formato *string*.
- *Elapsed time*. Emite a saída do tempo cronometrado enquanto estiver em execução.
- *Write to spreadsheet file*. Recebe um endereço de arquivo e um conjunto de dados e salva os dados em uma planilha no endereço.

- *Read from spreadsheet file.* Recebe um endereço de arquivo e ler seus valores armazenados.
- *Array Max & Min.* Recebe um conjunto de valores e retorna o maior e menor valor.
- *Beep.* Recebe dois números e um sinal de *true* ou *false* e, quando o sinal for verdadeiro, emite um alarme de frequência igual ao primeiro número e de duração igual ao segundo número.
- *Number To Fractional String.* Recebe um número (variável do tipo *double*) e converte para o formato *string*.
- *Build array.* Recebe valores de um mesmo formato (todos *double*, todos *string* ou todos outro formato qualquer) e junta-os num vetor.

Na Figura 27 a seguir encontra-se a representação visual (diagrama de blocos) de cada uma das funções citadas.

Figura 27: Resumo das funções do LABVIEW utilizadas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Posteriormente ao conhecimento dessas funções, pode-se então escrever o código do sistema de aquisição de dados e controle utilizando diagrama de blocos. Vale ressaltar que, paralelamente, também foi projetada a interface homem-máquina do programa (painel frontal) de modo a exibir da melhor forma as variáveis do sistema.

4.7 Diagrama de ligações elétricas

Após a elaboração do programa, deve-se realizar o projeto de instalação do sistema, contendo o diagrama de ligações dos sensores e atuadores até o dispositivo de aquisição de

dados e controle. Assim, o usuário final do projeto concebido neste trabalho, poderá comprar os equipamentos especificados, bem como instalá-los adequadamente para o seu correto funcionamento.

Nesta parte do projeto, se atentará apenas para o esquema de ligações dos sensores e atuadores até o dispositivo de aquisição de dados e controle, visto que as outras ligações são triviais, como ligar uma fonte na tomada, conectar o DAQ ao computador, dentre outras.

Para realização de tal atividade, foi necessário buscar no *datasheet* de cada módulo I/O como os canais são dispostos (usualmente, esse ordenamento é denominado de pinagem), além de conhecer o método para cada sinal enviado/ recebido, visto que, no caso dos sinais em corrente, será usado o método referenciado ao terra, enquanto no de tensão, será necessário utilizar o método diferencial, já que os cabos os quais conectarão o sinal ao dispositivo de aquisição de dados e controle serão maiores que 3 m.

Ratifica-se que o método de tensão diferencial é recomendável para fios maiores que 3 metros, visto que quanto maior for o comprimento do cabo, maior será a resistência interna do fio e, conseqüentemente, maior a queda de tensão, influenciando, assim, no sinal enviado pelo cabo. Entretanto, conforme já abordado, tal método possui a desvantagem de reduzir pela metade o número de entradas de tensão dos módulos.

Após a definição de como será o diagrama de ligações entre cada módulo I/O e os sensores e atuadores interligados a ele, foi desenhado um simples esboço de como cada conexão deveria ser feita e um desenho geral a fim de apresentar como o sistema projetado estaria interligado de maneira geral.

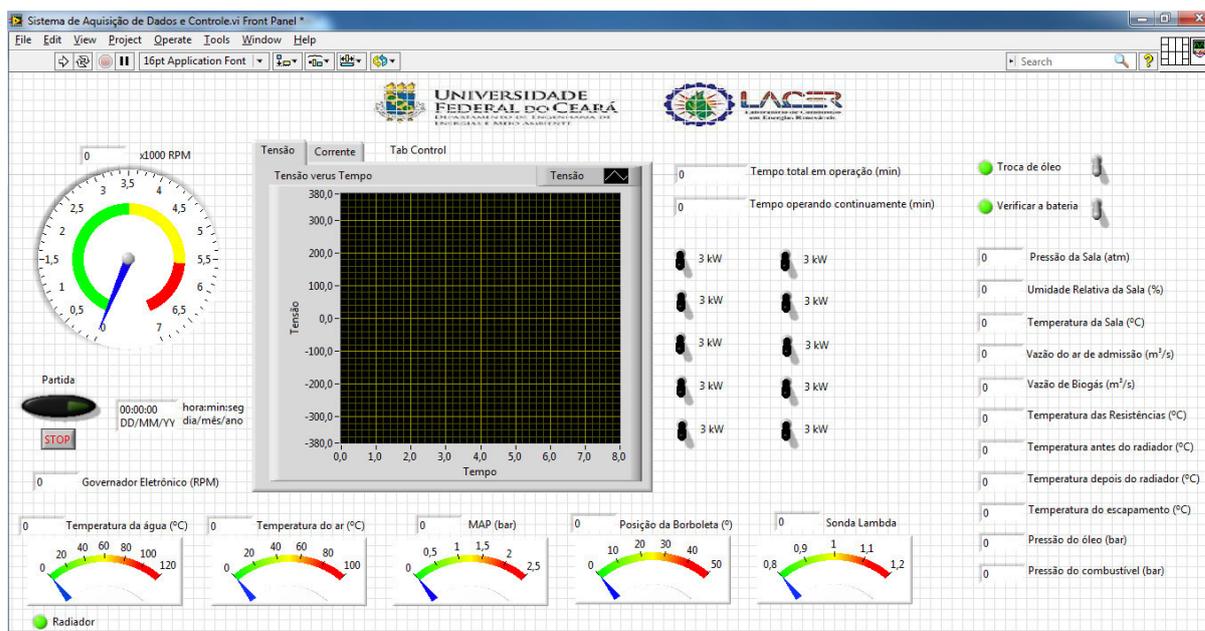
5 PROJETO

5.1 Sistema de Aquisição de Dados e de Controle

Foi elaborado o programa cujo painel frontal (Figura 28) mostra as medições (Tabela 1) e permite os controles (Tabela 2) definidos anteriormente. Vale destacar que se optou por diferentes formas de apresentar as variáveis medidas, para algumas utilizou-se o *meter* (rotação do motor, temperatura do líquido de resfriamento, temperatura do ar de admissão, pressão do ar no coletor de admissão, posição da borboleta e teor de oxigênio no escapamento), para outras, gráficos (tensão e corrente), e, para o restante, indicadores numéricos simples.

Já para o controle, selecionou-se um controlador numérico simples para a rotação (*setpoint* do governador eletrônico) e botões para controle da partida/parada do MCI e para o acionamento das cargas resistivas discretas. Além disso, é possível visualizar no painel frontal a data e a hora momentânea, o tempo de funcionamento do motor sem desligar, o tempo total de todas as operações e alarmes avisando que a temperatura do líquido de resfriamento atingiu certo valor, ligando a ventoinha do radiador do motor e informando sobre a necessidade de troca de óleo e verificação do eletrólito da bateria.

Figura 28: Painel frontal do sistema de aquisição de dados e de controle.

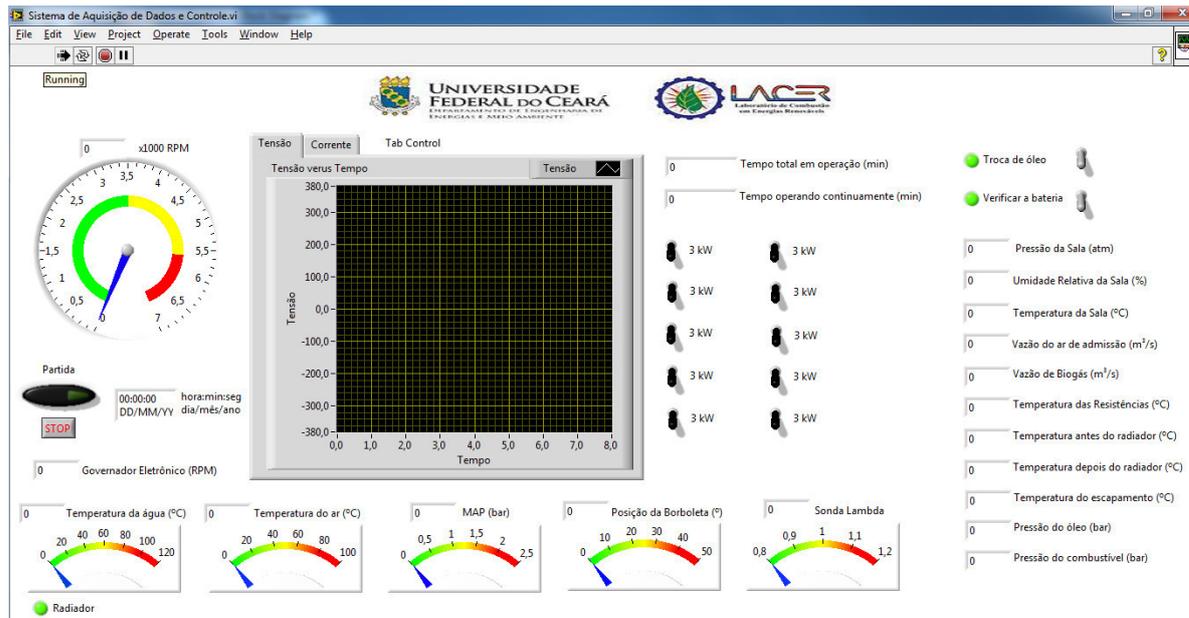


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando o usuário clicar na opção *run* (seta branca apontando para o lado esquerdo na parte superior direita da tela), o programa fica sendo executado continuamente (Figura 29).

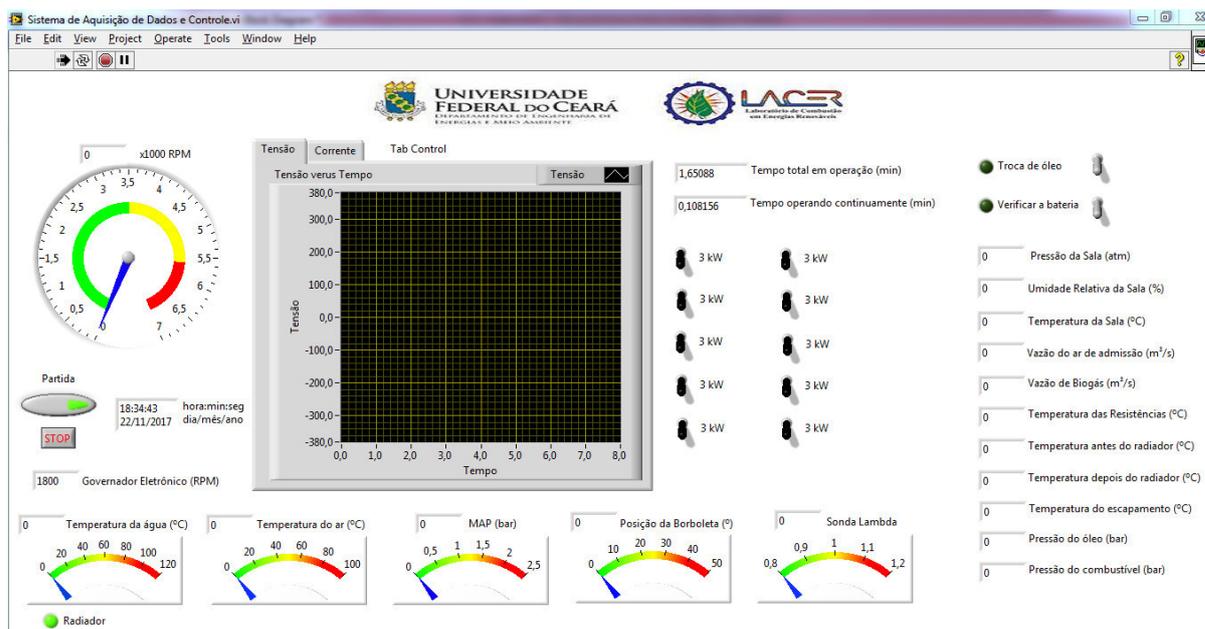
Então, é possível dar partida do MCI, pressionando o botão preto com verde localizado na parte medial esquerda. Tal botão então mudará para cinza com verde e serão mostrados no painel frontal todas as variáveis do sistema (Figura 30). Vale ressaltar que na Figura 36 todas as medições e gráficos mostram zero, pois não há hardware nenhum conectado ao software em execução.

Figura 29: Painel frontal do sistema em execução.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30: Painel frontal do sistema em execução após partida do MCI.

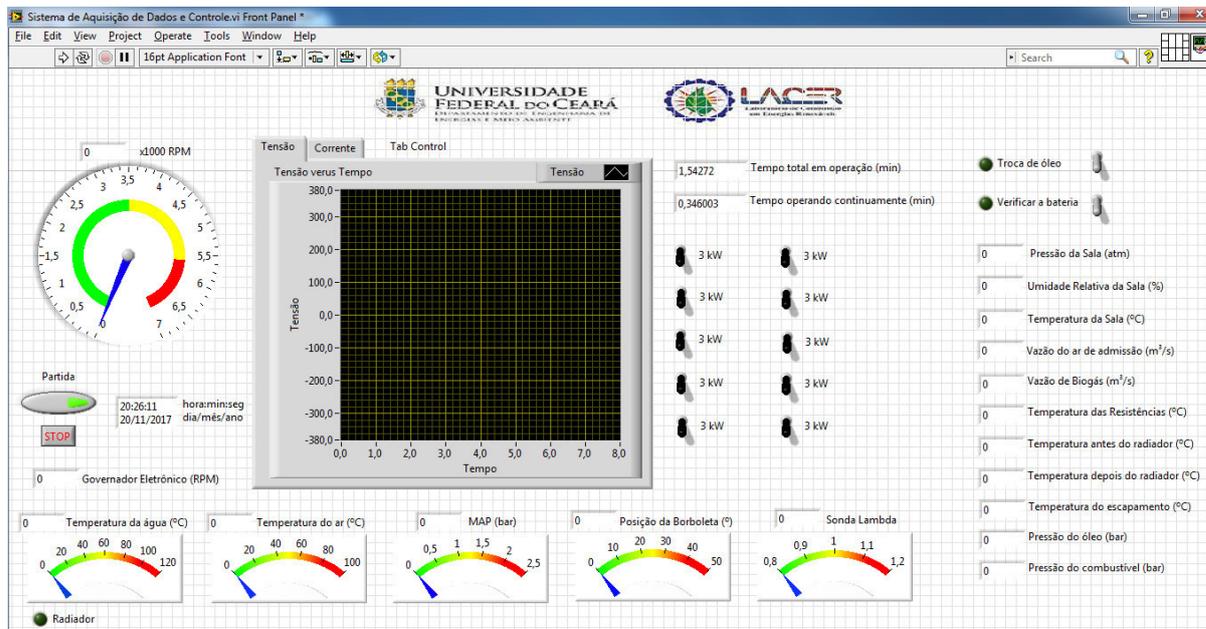


Fonte: Elaborado pelo autor.

Então, pode-se deixar o programa executando continuamente que as medições estarão sendo lidas e o motor operando. A qualquer momento também, pode-se comandar algum outro controle, como definir uma nova rotação para o governador eletrônico ou acionar/desconectar uma ou mais cargas resistivas de 3 kW cada.

Para encerrar a operação do MCI, basta clicar no botão escrito *stop* (localizado imediatamente abaixo do botão de partida), após tal ação, o painel frontal apresentar-se-á de maneira semelhante à Figura 31, onde são mostrados os últimos valores das variáveis antes de o programa parar de ser executado. Ratifica-se ainda que tais valores podem ser lidos posteriormente a realização dos testes por meio da planilha do excel, conforme será detalhada mais à frente.

Figura 31: Painel frontal do sistema após execução.



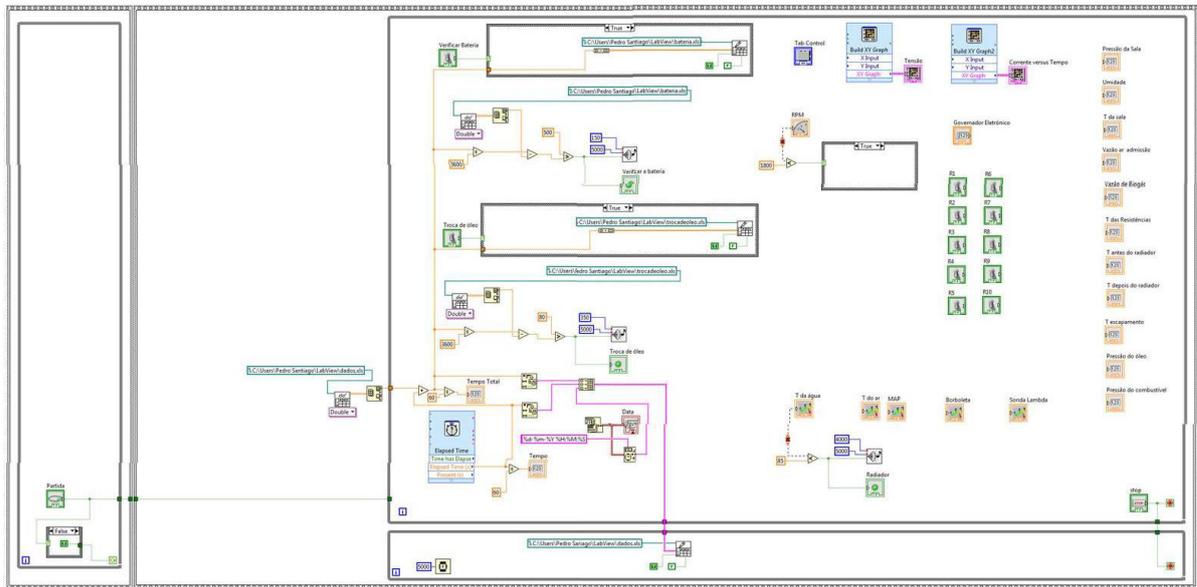
Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na janela de diagrama de blocos (Figura 32) pode-se observar a lógica proposta ao programa. Observa-se que há dois *flat sequence structure*, os quais funcionam de modo que o segundo só é executado após o primeiro encerrar sua execução. O primeiro *flat sequence structure* contém um *while loop* com a condição de *continue if true*, assim o programa avançará quando o botão de partida do motor estiver acionado (Figura 33), enquanto o segundo possui dois *while loops* com a condição de *stop if true*, parando a execução ao pressionar o botão *stop* no painel frontal (Figura 34).

Há dois *while loops* no segundo *flat structure sequence*, pois cada opera em um intervalo de tempo diferente, o de baixo é executado a cada 5 segundos (visto que possui a

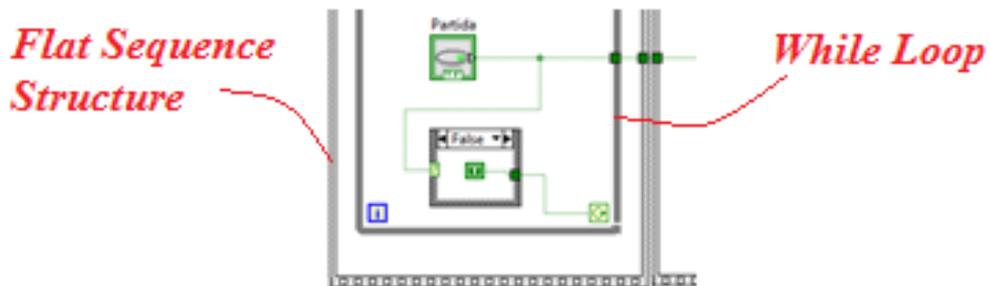
função *wait* com o *input* de 5000 ms), enquanto o de cima funciona de maneira contínua utilizando a máxima amostragem possível.

Figura 32: Diagrama de blocos do sistema de aquisição de dados e de controle.



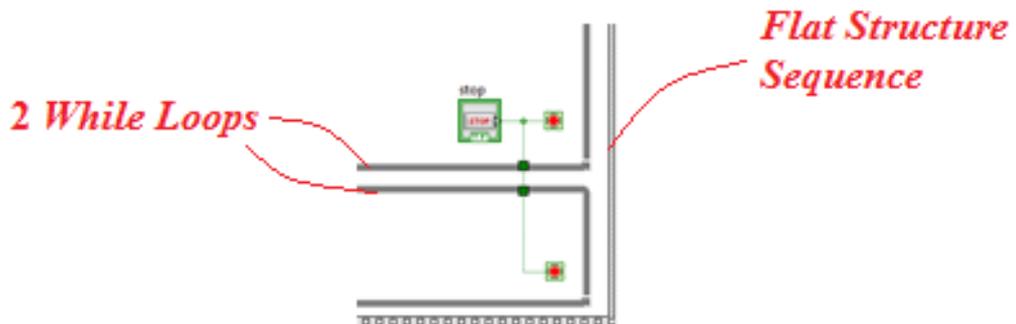
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33: Botão de partida contido no primeiro *flat sequence structure*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 34: Botão de parada contido no segundo *flat sequence structure*.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode-se observar na Figura 35, o *while loop* inferior é utilizado apenas para armazenamento dos dados numa planilha de excel, a medida que o superior executa as demais operações do sistema de aquisição de dados e controle. Ressalta-se que, no programa mostrado na imagem, só está sendo armazenado na planilha (Figura 36) três valores: data e horário, tempo de funcionamento ininterrupto e tempo total. Não se armazenou os valores das medições, visto que, conforme já explicitado, não há hardware nenhum conectado ao software em execução, entretanto, pode-se aumentar, posteriormente, o número de variáveis armazenadas apenas clicando e segurando na extremidade inferior da função *build array* e arrastando para baixo a quantidade de posições que se deseja aumentar.

É importante salientar que para o cálculo do tempo total de operação do motogerador é usada a função *Read From Spreadsheet File* fora do *while loop*, visto que o valor do tempo total lido é o da última operação, número esse que somado ao tempo de funcionamento ininterrupto da operação atual resulta no tempo total de operação atualizado.

Assim, como já exposto, foi pensado também em três alarmes para o sistema a fim de avisar quando a ventoinha do radiador estiver em funcionamento e quando for necessário trocar o óleo e verificar o eletrólito da bateria. O primeiro alarme acende sempre que a temperatura do líquido de resfriamento for maior que 85 °C (Figura 37). Ressalta-se que na Figura 43, o software identificou um erro de ligação, pois não há entrada de sinal, visto que não há ainda as conexões do hardware ao sistema.

Figura 35: Armazenamento de variáveis a cada 5 segundos.

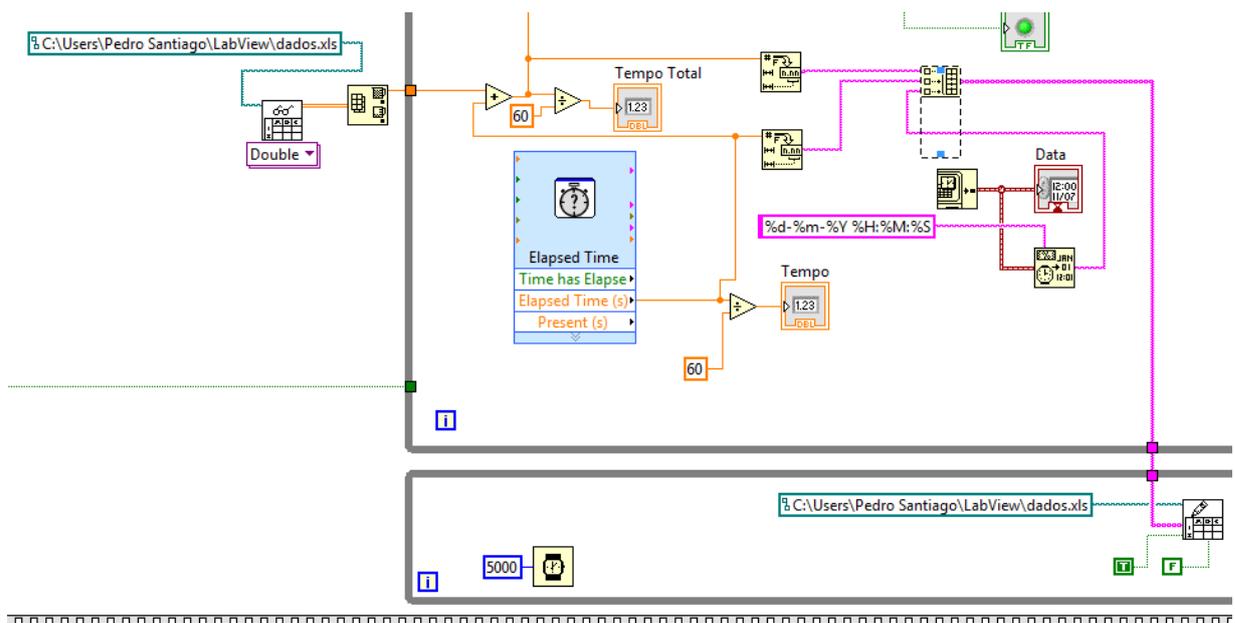
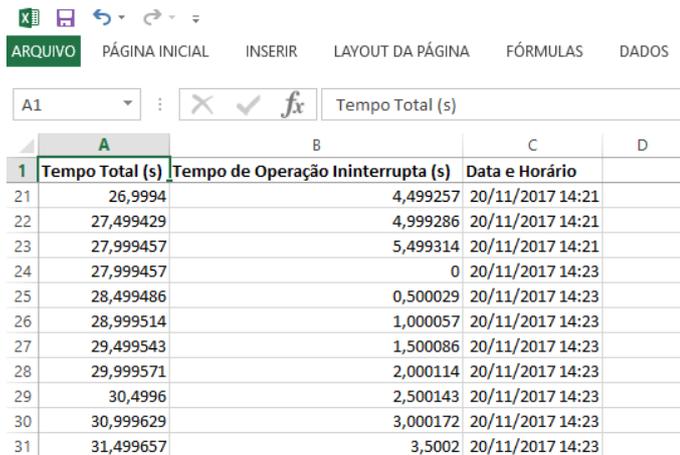


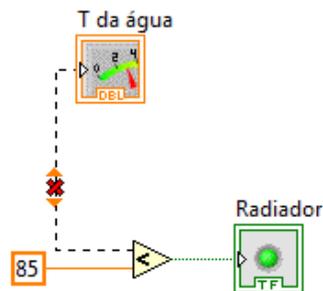
Figura 36: Planilha do excel contendo os valores armazenados.



	A	B	C	D
1	Tempo Total (s)	Tempo de Operação Ininterrupta (s)	Data e Horário	
21	26,9994	4,499257	20/11/2017 14:21	
22	27,499429	4,999286	20/11/2017 14:21	
23	27,999457	5,499314	20/11/2017 14:21	
24	27,999457	0	20/11/2017 14:23	
25	28,499486	0,500029	20/11/2017 14:23	
26	28,999514	1,000057	20/11/2017 14:23	
27	29,499543	1,500086	20/11/2017 14:23	
28	29,999571	2,000114	20/11/2017 14:23	
29	30,4996	2,500143	20/11/2017 14:23	
30	30,999629	3,000172	20/11/2017 14:23	
31	31,499657	3,5002	20/11/2017 14:23	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 37: Sistema de alarme para aviso que a ventoinha do radiador está em operação.



Fonte: Elaborado pelo autor

Já os outros dois alarmes foram programados de maneira parecida. No caso do que avisa a respeito da troca de óleo (Figura 38), o alarme emitirá um sinal sonoro de 350 Hz durante 5000 ms se o tempo total de operação for 80 horas maior que o tempo da última troca de óleo. Para tal, sempre que a troca de óleo for realizada, o usuário deverá clicar duplamente o botão localizado ao lado do alarme no painel frontal, assim, o sistema armazenará a hora em que foi realizada a troca de óleo numa planilha de excel.

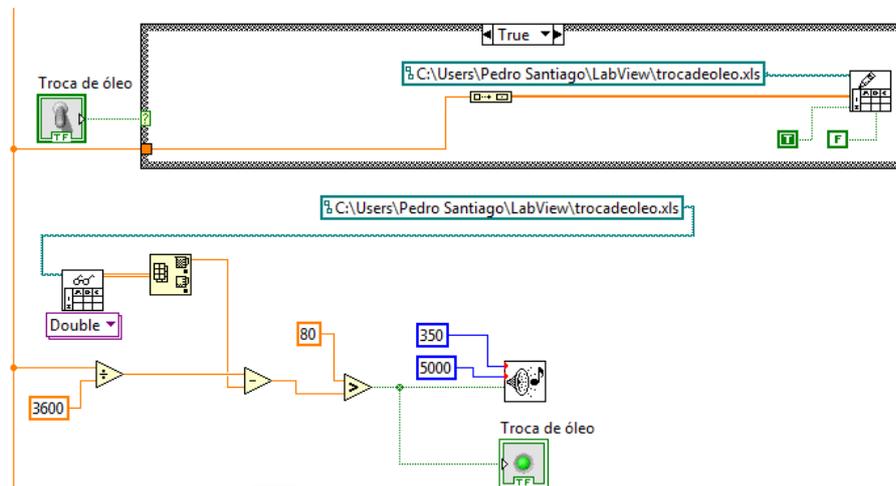
Já no caso do alarme para avisar que deve ser verificado o eletrólito da bateria (Figura 39), as diferenças são que o sinal sonoro é de 150 Hz, ele é emitido quando o tempo total de operação for 500 horas maior que o tempo da última verificação e o botão e a planilha de excel utilizados são diferentes daqueles usados para a lógica do alarme da troca de óleo.

Destaca-se ainda a partida do MCI a qual, conforme já mencionado, é feita com dois relés, um para ligar o circuito com a bateria e outro para ligar o circuito com o motor de partida. O primeiro relé ficará posicionado dentro do *while loop* superior de modo que será acionado assim que o programa começar a executar o segundo *flat sequence structure*, ou

seja, no instante em que o botão de partida for acionado. Já o segundo relé deve ser acionado apenas no início até o MCI atingir certa rotação mínima, para tal fez uma lógica bem simples em que enquanto a rotação medida for menor que 1000 rpm o circuito do motor de partida estará fechado pelo relé (Figura 40).

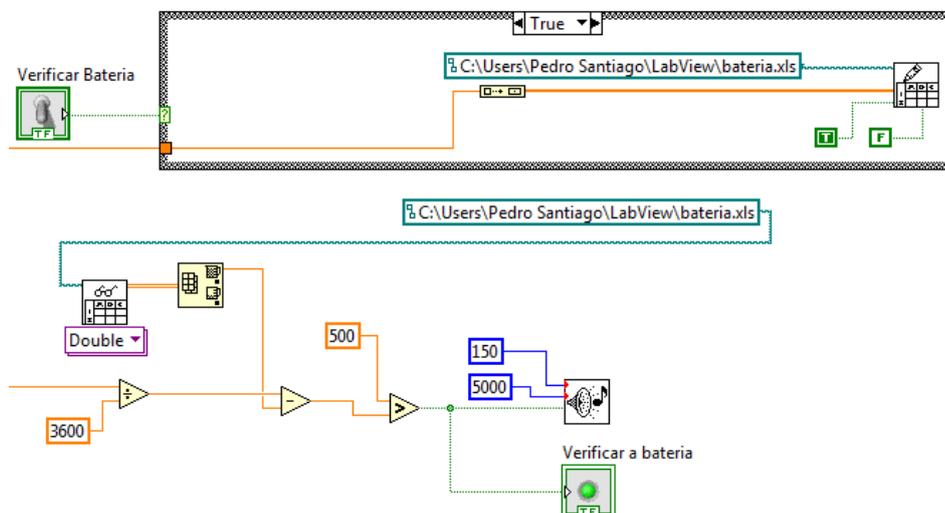
Ressalta-se que, assim como na Figura 37, o software identificou um erro de ligação, pois não há entrada de sinal, visto que não existem ainda as conexões do hardware ao sistema. Ademais, é importante salientar que dentro do *case structure* não há nenhum comando, pois não existem ainda as conexões do hardware e a única ação é enviar o sinal para o relé.

Figura 38: Sistema de alarme para aviso de troca de óleo.



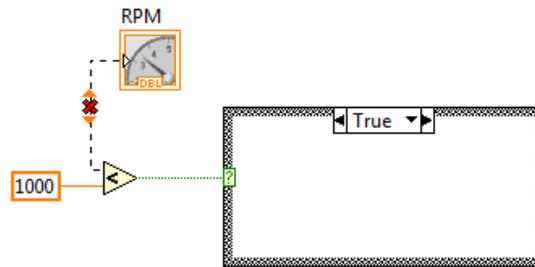
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 39: Sistema de alarme para aviso de verificação do eletrólito da bateria.



Fonte: Elaborado pelo autor.

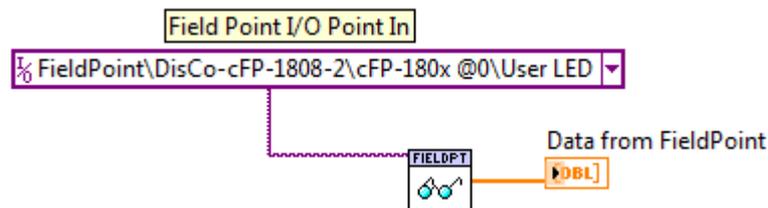
Figura 40: Acionamento do motor de partida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, salienta-se que os demais blocos do sistema serão ligados aos seus respectivos hardwares quando estes estiverem conectados ao software. Por isso que na Figura 32 alguns blocos não estão ligados, aparentando estarem soltos no código. Para posterior conexão do hardware deve-se clicar em *project*, depois em *new* e em *targets and devices* para então selecionar o hardware conectado ao computador. Após tal configuração é possível acrescentar um diagrama de bloco para cada canal do hardware como pode ser visto na Figura 41 a seguir.

Figura 41: Exemplo de conexão entre hardware e software.



Disponível em: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/0EFE203B68668366862577CE005654F1>.

Acesso em: 21 nov. 2017.

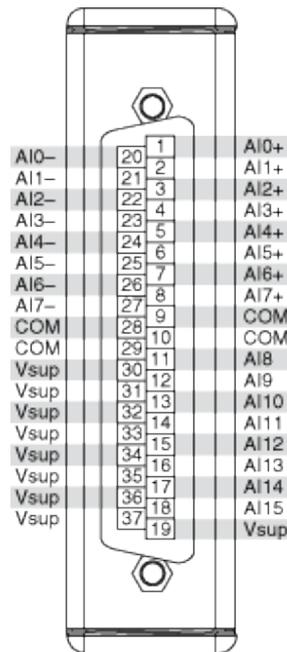
5.2 Projeto de Instalação

No projeto de instalação, será mostrado como o usuário deverá conectar os cabos dos sensores no cRIO, após, obviamente, ter comprado ambos conforme o especificado. Seguindo os diagramas de ligações exposto a seguir, o sistema de aquisição de dados e controle funcionará adequadamente, conforme o projetado. Vale ressaltar que o esboço das conexões foi desenhado após um amplo estudo do *datasheet* dos módulos do cRIO.

Primeiramente, o módulo NI9207 possui seus canais dispostos conforme exposto na Figura 42, onde AI são entradas analógicas (*analog input*), AI0 até AI7 são os canais das entradas em tensão e AI8 até AI15 os canais da entrada em corrente, COM são os canais para

o fio terra ou de referência comum (*common reference*) e V_{sup} são os canais para tensão de alimentação (*supply voltage*). Esse módulo deverá ser conectado a 7 sensores com sinais de saída em tensão (representados por V1, V2, ..., V7) e a 4 instrumentos com sinais de saída em corrente (representados por A1, A2, A3 e A4). Tal diagrama de ligações está expresso na Figura 43 a seguir.

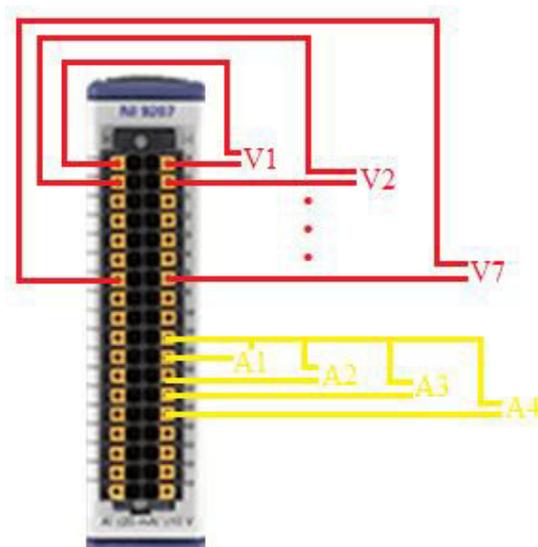
Figura 42: Disposição dos canais do módulo para sensores com saída 0 a 5 V e 4 a 20 mA.



Disponível em: [https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466AC-](https://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370466AC-01/device_pinouts/9207dsubcdaqpinout/)

01/device_pinouts/9207dsubcdaqpinout/. Acesso em: 21 nov. 2017.

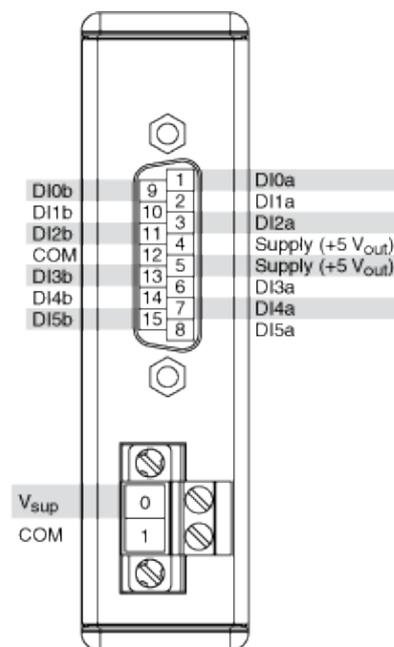
Figura 43: Diagrama de ligações do módulo para sensores com saída 0 a 5 V e 4 a 20 mA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O módulo NI9411 possui seus canais dispostos conforme exposto na Figura 44, onde DI são as entradas digitais (*digital input*), COM são os canais para o fio terra ou de referência comum (*common reference*) e Vsup são os canais para tensão de alimentação (*supply voltage*). Esse módulo deve possuir um esquema de conexões (Figura 45) capaz de ler as medidas de 2 sensores com sinal de saída de ondas quadradas em tensão (representados por V1 e V2).

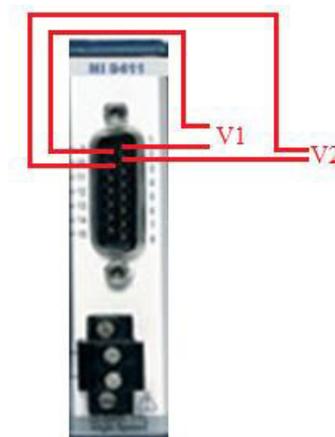
Figura 44: Disposição dos canais do módulo para o sensor hall e o medidor de vazão de biogás.



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9411/.

Acesso em: 21 nov. 2017.

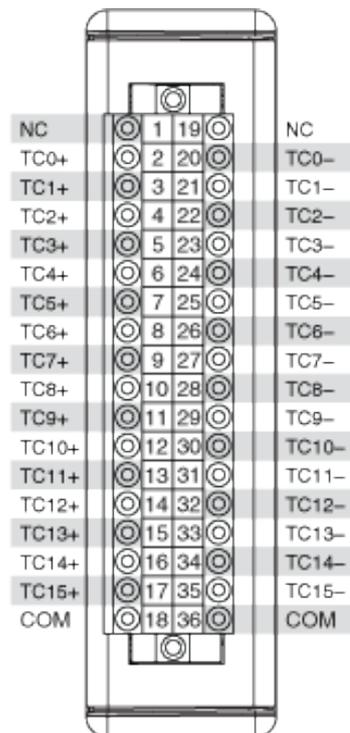
Figura 45: Diagrama de ligações do módulo para o sensor hall e o medidor de vazão de biogás.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O módulo NI9213 possui seus canais dispostos conforme exposto na Figura 46, onde TC são as entradas para os sinais de saída de cada termopar (*thermocouple*), NC são canais sem conexão (*no connection*) COM são os canais para o fio terra ou de referência comum (*common reference*) e Vsup são os canais para tensão de alimentação (*supply voltage*). Para esse módulo, foi elaborado um diagrama de ligações (Figura 47) conectando os 6 termopares (representados por T1, T2, ..., T6)

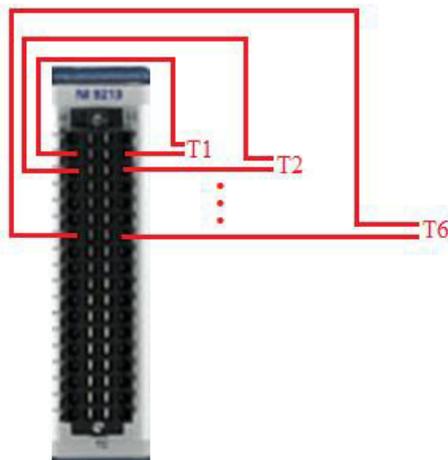
Figura 46: Disposição dos canais do módulo para termopar



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9213/.

Acesso em: 21 nov. 2017.

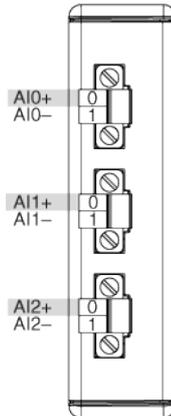
Figura 47: Diagrama de ligações do módulo para termopar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No caso dos módulos NI9225 e NI9227, os canais estão dispostos conforme as Figuras 48 e 49 e os esquemas de conexões são detalhados nas Figuras 50 e 51, onde A, B e C representam as 3 fases e n o neutro.

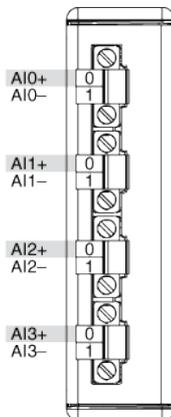
Figura 48: Disposição dos canais do módulo para tensão trifásica



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9225/.

Acesso em: 21 nov. 2017.

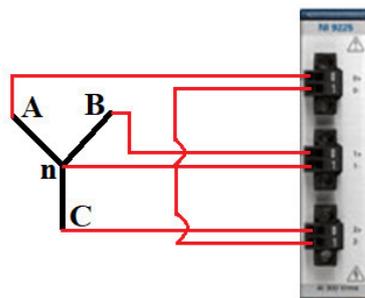
Figura 49: Disposição dos canais do módulo para corrente trifásica



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197J-01/criodevicehelp/ni_9227/.

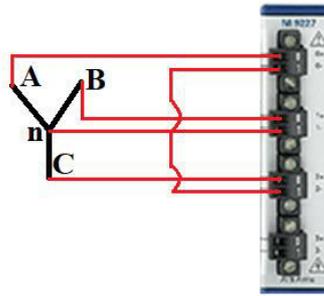
Acesso em: 21 nov. 2017.

Figura 50: Diagrama de ligações do módulo para tensão trifásica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

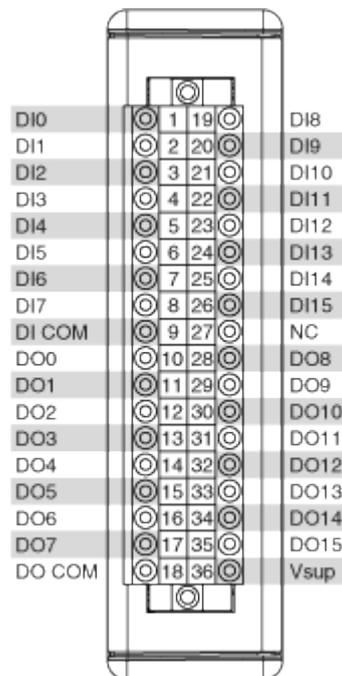
Figura 51: Diagrama de ligações do módulo para corrente trifásica.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a disposição dos canais e os diagramas de ligações dos módulos de controle de relé (NI9375) e de governador eletrônico (NI9263) estão representados, respectivamente, nas Figuras 52 a 55 a seguir. Vale ratificar que todos esses comandos serão realizados enviando sinais de tensão aos atuadores.

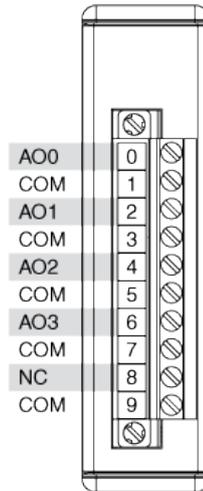
Figura 52: Disposição dos canais do módulo para controle de relé



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9375/.

Acesso em: 21 nov. 2017.

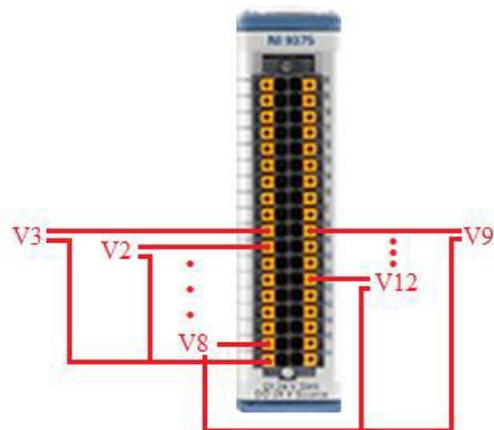
Figura 53: Disposição dos canais do módulo para controle de governador eletrônico



Disponível em: http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/373197B-01/criodevicehelp/ni_9263/.

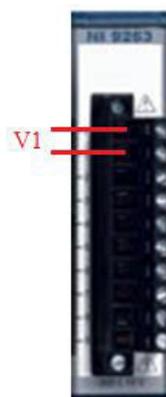
Acesso em: 21 nov. 2017.

Figura 54: Diagrama de ligações do módulo para controle de relé.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 55: Diagrama de ligações do módulo para controle de governador eletrônico.

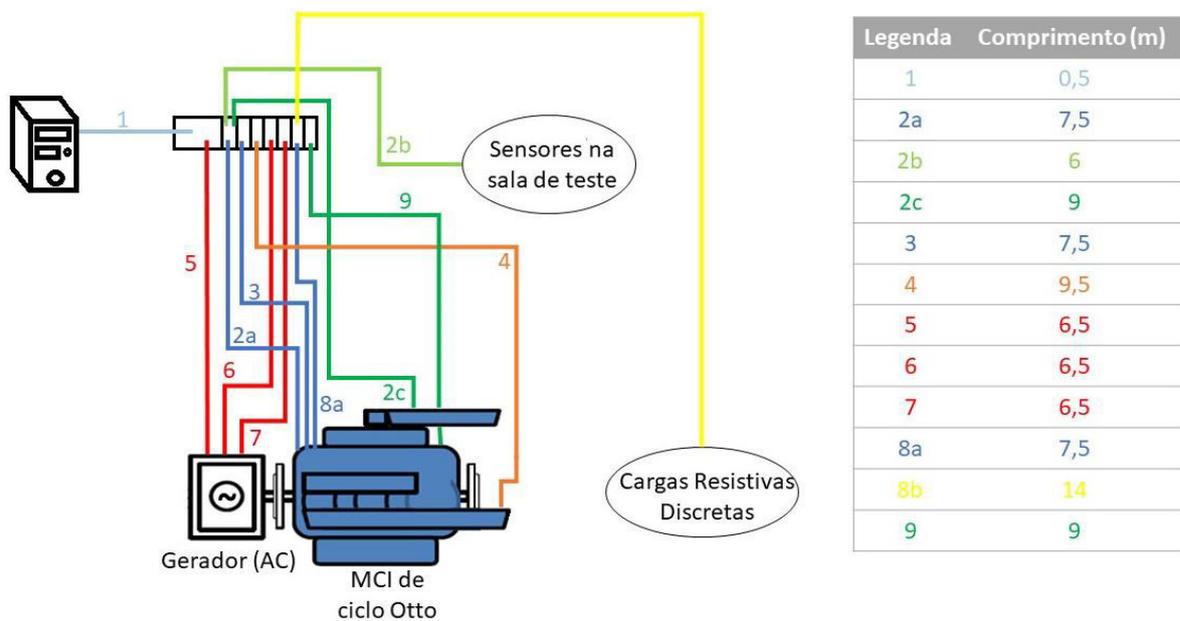


Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, pode-se observar na Figura 56 uma visão geral do diagrama de ligações proposto neste trabalho, onde cada ligação é representada por um número e uma cor. O 1 retrata a conexão de 0,5 m entre a CPU do computador e o cRIO a qual será realizada por um barramento do tipo USB ou Ethernet. O 2a simboliza a vinculação de 7,5 m entre o módulo NI9207 e os sinais do chicote do MCI, enquanto o 2b descreve a associação de 6 m com os sensores ambientes da sala de teste e o 2c a ligação de 9 m com o anemômetro de fio quente. O 3 exprime a conexão de 7,5 m entre o NI9411 e o sensores hall e de vazão de biogás.

Já o 4 corresponde a associação de 9,5 m do NI9213 com os termopares localizados em diferentes posições. O 5 mostra a vinculação de 6,5 m do multimedidor de grandezas elétricas da Weg a qual irá comunicar-se com o cRIO por meio de uma porta Ethernet. O 6 e 7 equivalem, respectivamente, as ligações de 6,5 m dos módulos de qualidade de energia (NI9225 e NI9227) com o gerador síncrono. Enquanto que o 8 e 9 retratam as conexões com os módulos de controle, 8a o comando de partida/parada do motor (7,5 m), 8b o acionamento das cargas resistivas discretas (14 m) e o 9 o controle do governador eletrônico (9 m).

Figura 56: Visão geral dos diagramas de ligações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÕES

6.1 Comparação com trabalhos correlatos

Há vários trabalhos de projeto de sistema de aquisição de dados e controle que utilizam LABVIEW ou outro software aplicável. Por exemplo, GESTEIRA (2014) desenvolveu um sistema de aquisição de dados baseado em LABVIEW para um dinamômetro de chassi. Nesse estudo ele comparou a curva do dinamômetro fornecida pelo fabricante com os resultados obtidos pelo o programa projetado, alcançando erro de $\pm 10\%$ entre os dados.

Nesse trabalho foram especificados o dispositivo de aquisição de dados e os condicionadores de sinais separadamente, em vez de procurar por um produto que incluísse todas as soluções, como é o caso do compactRIO e seus módulos I/O que já possuem tais características de forma integrada. Tal autor também apresentou os desenhos do diagrama funcional de cada componente do sistema de aquisição de dados de maneira a mostrar como cada dispositivo deveria ser conectado.

Já o trabalho desenvolvido por CEZAR (2012) concentrou-se no desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados e controle para bancada de teste de dinamômetro. Para controle da rotação do MCI, o autor optou pela utilização de um servo motor, tal atuador é diferente do especificado neste trabalho, pois, conforme já abordado, preferiu-se utilizar o governador eletrônico já existente no motogerador.

Em contrapartida, CEZAR (2012) não pôde escolher tal elemento final de controle, visto que o sistema foi projetado para um motor e, diferentemente de um grupo gerador, um MCI não possui governador de rotação. Entretanto, pode-se, baseado em tal trabalho, aperfeiçoar o comando do ângulo de abertura da válvula borboleta, desenvolvendo um governo de rotação próprio, o qual mediria a rotação do alternador, compararia com o *setpoint* ordenado pelo operador no painel frontal e, a partir do *offset*, determinaria o aumento ou diminuição do ângulo de abertura da válvula por meio de um controle PID de um servo motor.

Além disso, nesse estudo foram também especificados termopar para medição de temperatura da água e um transdutor de pressão a fim de medir a pressão no coletor de admissão de ar. Tal solução contrasta com aquilo proposto neste trabalho de adquirir o valor dessas e de outras medidas a partir dos sinais do chicote do motor.

Já em Alshami, Albustani e Melhem (2008), é apresentado o desenvolvimento de um sistema de controle de grupo gerador à diesel utilizando o Citect SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Por meio de tal software é possível a escrita da lógica por trás do programa, bem como a criação da interface homem-máquina. Nesse estudo foi

utilizado os sensores já existentes no motor por meio da aquisição dos sinais do chicote do MCI, assim, como foi proposto neste trabalho.

Como é explicado em tal trabalho, o Citect SCADA é um software particular específico para sistemas de automação, aquisição de dados e controle supervisão. Mas vale ressaltar que há softwares livres no mercado, como o SCADABR que é gratuito e com interface 100% web.

Entretanto, esse conjunto de softwares conhecidos como SCADA possuem desvantagens com relação ao LABVIEW (usado neste trabalho), como linguagem de mais baixo nível (ou seja, menos intuitiva e direta para quem não é da área), menor quantidade de funções prontas para análise de dados, entre outras. Assim, enquanto, em geral, o tempo para desenvolver em LABVIEW é da ordem de semanas, para criar em algum software SCADA a ordem de grandeza é de meses.

Por fim, ratifica-se que há vários trabalhos de projeto de sistema de aquisição de dados e controle utilizando LABVIEW ou outro software aplicável, neste subtópico abordaram-se apenas três os quais os sistemas projetados eram na mesma área de interesse deste trabalho. Um resumo dessas discussões pode ser visualizado na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7: Resumo da comparação com trabalhos correlatos.

Autor (ano)	Software Utilizado	Tipo do sistema	Principal característica observada
Gesteira (2014)	LABVIEW	Aquisição de dados para dinamômetro	Especificações separadas de DAQ e condicionadores de sinais, ao contrário de empregar módulos I/O que já integram ambas características
Cezar (2012)	LABVIEW	Aquisição de dados e controle para dinamômetro	Utilização de um servo motor como atuador para controle da abertura do ângulo da borboleta, já que não há a opção de usar o governador eletrônico
Alshami, Albustani e Melhem (2008)	Citect SCADA	Aquisição de dados e controle para motogerador à diesel	Aquisição dos sinais do chicote do MCI

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2 Aplicabilidade do Sistema Projetado

O cRIO e o LABVIEW são amplamente utilizados no mercado internacional, pode-se encontrar diversas aplicações no site da National Instruments por meio dos estudos de caso, os quais são relatos dos clientes sobre como utilizam tais produtos, podendo muitas vezes ser

uma inovação. Tais resultados estão presentes em várias áreas, desde testes em protótipos de máquinas de lavar louça, realização de mineração virtual, processamento de dados de voo para motores a jato, entre outras.

Como primeiro exemplo, pode-se citar o estudo de Ih e Kim (2013) na Hyundai da Coréia do Sul para desenvolver um sistema portátil capaz de identificar fontes de ruído utilizando o compactRIO. Obteve-se como resultado um dispositivo durável, com peso inferior a 2 kg e dimensões da ordem de grandeza de 50 cm, apto a identificar os ruídos, classificá-los em faixas e representar tais intervalos em cores com uma alta taxa de atualização.

A pesquisa de Chen (2015) foi efetuada na empresa VascoLogic em Nova Jérsei com o intuito de criar um robô médico portátil que realize de forma autônoma exames, como o de sangue quando os profissionais da área não conseguirem acesso as veias. Para tal, utilizou-se o cRIO, além do LABVIEW integrado com o MATLAB, alcançando o resultado de uma tecnologia capaz de mapear em tempo real as coordenadas espaciais 3D das veias do antebraço e direcionar uma agulha na veia designada.

Já em Clegg (2012), observa-se um estudo a fim de desenvolver um sistema de transporte de pessoas de/para turbinas eólicas *offshore* independente das condições climáticas e marítimas. Foram empregados o cRIO como hardware embarcado e o LABVIEW como software de desenvolvimento do código, alçando o resultado de um sistema que detecta os movimentos do barco e ajusta a embarcação, por meio de atuadores hidráulicos, a fim de compensar a inclinação devido as condições do ambiente.

Desse modo, é possível constatar que o projeto proposto neste trabalho possui hardware e software de grande aplicabilidade em várias áreas do mercado internacional, sendo confiável para tecnologias embarcadas e portáteis também, sem perder a alta rapidez e capacidade de processamento de dados. Nesse contexto, o sistema projetado neste trabalho pode ser aprimorado a fim de que não seja utilizado apenas para pesquisas, mas também em situações existentes comercialmente.

Por exemplo, após a compra e instalação do projeto, serão realizados testes em motogeradores utilizando diversas composições de biogás como combustível, tais ensaios poderão resultar no desenvolvimento de um sistema de controle para grupos geradores, permitindo-os operar em uma ampla faixa de composição de biogás. Tal possível produto possui um caráter inovador, bem como os já citados exemplos de aplicação desenvolvidos por Ih e Kim (2013), Chen (2015) e Clegg (2012).

7 CONCLUSÃO

O projeto do sistema de aquisição de dados e controle foi realizado seguindo o critério de adequação à operação e aos requisitos de teste, mediante rigor de normas específicas para teste de motogeradores. Com essa premissa, foram definidos os parâmetros operacionais a serem medidos e controlados, para então poder-se especificar os sensores e atuadores e, posteriormente, o hardware (dispositivo de aquisição e controle) e software apropriados ao sistema projetado.

Em princípio, a especificação do sistema e a programação estão condizentes a necessidade dos procedimentos de teste, porque foram desenvolvidos o código e a interface homem-máquina com a linguagem do software e um diagrama de ligações apropriado à instalação dos equipamentos especificados.

Desse modo, tal projeto pode ser instalado e usado na Sala de Teste de Motogeradores a biogás do LACER/DEM/CT/UFC de modo que os operadores tenham condições adequadas para realizar os ensaios, segundo as normas de segurança aplicáveis, além de assegurar a confiabilidade dos dados adquiridos e dos controles realizados nos diversos testes com o motogerador.

Sugerem-se ainda alguns trabalhos futuros que podem ser realizados a partir deste estudo, como a elaboração de lógica de intertravamento para ser utilizada no FPGA do cRIO, criação de controle de mistura de vazões de CH₄ e CO₂, aperfeiçoamento do comando do ângulo de abertura da borboleta.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, Luis Antônio. **Fundamentos de Instrumentação**. Belo Horizonte: Pearson, 2013.

ALSHAMI, Ebraheem; ALBUSTANI, Hassan; MELHEM, Mohammed. **Using Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) System in the Management of a Diesel Generator**. Al-baath University, Homs, 2008

ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e Automação de Processos**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

ASAD, U.; KUMAR, R.; HAN, X.; ZHENG, M. **Precise instrumentation of a diesel single-cylinder research engine**. Measurement. Vol. 44, p.1261–78, 2011.

BAPTISTA, Manuel. **SISTEMAS DE AQUISIÇÃO DE DADOS**. Curso de Engenharia de Sistemas e Informática, Departamento de Informática, Escola Superior de Tecnologia de Viseu, Viseu, 2008. Disponível em: <http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica_Bibliografia/Cap_E_Sistemas de Aquisição de Dados/1-Introdução/Texto de Estudo - Sistemas de Instrumentação - Capitulo 4.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

BAYER, Fernando Mariano; ARAÚJO, Olinto César Bassi de. **Controle Automático de Processos**. Santa Maria: Colégio Técnico Industrial, 2011. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_automacao/quinta_etapa/control_e_automatizado_processos_2012>. Acesso em: 28 set. 2017.

BEGA, Egídio Alberto. **Instrumentação Industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A.I.r.da. MAPEAMENTO TECNOLÓGICO PARA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS E SEU APROVEITAMENTO: PANORAMA MUNDIAL E INICIATIVAS NACIONAIS. **COBEQ**, Florianópolis, 19-22 out. 2014. Disponível em: <<http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/1453-19217-143735.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional**. Rio de Janeiro, 2017.

CHAPMAN, Stephan. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2013.

BUENO, André; VELÁSQUEZ, José; MILANEZ, Luiz. Internal Combustion Engine Indicating Measurements. **Applied Measurement Systems**, 24 fev. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5772/37889>>. Acesso em: 20 set. 2017.

CEZAR, Gustavo Vianna. **Desenvolvimento de uma Bancada de Testes para Motores a Combustão Interna**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Puc, Rio de Janeiro, 2012

CHEN, Alvin. **VascuLogic Develops Portable 3D Vision-Guided Robot for Autonomous Venipuncture**. 2015. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16255#>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

CLEGG, Andrew. **ISC Develops Hydraulic Motion Compensated Gangway to Improve Access to Offshore Wind Turbines**. 2012. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-14813#>>. Acesso em: 24 nov. 2017

COELHO, Suani Teixeira; CORTEZ, Cristiane Lima. **A biomassa no Brasil e o papel do CENBIO**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/11468218-1a-conferencia-das-renovaveis-a-eficiencia-energetica.html>>. Acesso em: 15 set. 2017.

COSTA, Lucas Ribeiro da. **Projeto de Implantação de Laboratório de Teste de Motogeradores a biogás com base em normas nacionais e internacionais**. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energias Renováveis, Departamento de Engenharia Mecânica, UFC, Fortaleza, 2017.

CUMMINS POWER GENERATION . **Engenharia de Aplicações**: Manual de aplicações para Grupos Geradores arrefecidos a água. São Paulo: Cummins Power Generation, 2011. 281 p. Traduzido do manual N° T030G (Rev Jan/2011). Disponível em: <http://www.cumminspower.com.br/pdf/engenharia/T030Português.pdf> Acesso em: 25 set. 2017.

DIAS, Moisés de Mattos et al. Motores Síncronos Trifásicos com ímã permanente. **Tecnologia**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p.107-127, dez. 2005. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/05_04.pdf>. Acesso em: 19 set. 2017.

FERGUSON, Colin; KIRKPATRICK, Allan. **Internal Combustion Engine**: Applied Thermosciences. 3. ed. Denver: Wiley, 2016.

FITZGERALD, Ernest; KINGSLEY JUNIOR, Charles; UMANS, Stephen. **Máquinas elétricas**: com introdução à eletrônica de potência. 7. ed. Porto Alegre: Amgh, 2014.

GEREMIA, Guilherme. **VIABILIDADE ENERGÉTICA DA OPERAÇÃO DE MOTORES A BIOGÁS ACOPLADOS A SISTEMA DE REMOÇÃO DE GÁS CARBÔNICO**. 2013. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufrgs, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/87299/000910717.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 set. 2017.

GESTEIRA, Luis Gabriel Guanabara Keler. **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS BASEADO EM LABVIEW PARA UM DINAMÔMETRO DE CHASSI**. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Ufba, Salvador, 2014. Disponível em: <http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/Dissertacao_de_Mestrado-LuisGabrielGesteira.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

GUEDES, Marcos Antônio de Carvalho. **Estudo de compensadores para a válvula borboleta eletrônica automotiva**. 2013. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Usp, São Paulo, 2013. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3142/tde-04112014-103319/pt-br.php>>. Acesso em: 6 nov. 2017

GUIRARDI, Waldir. **ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES DO AR ATMOSFÉRICO NO DESEMPENHO DE TURBINAS A GÁS COM SISTEMAS DE RESFRIAMENTO DO AR DE ENTRADA**. 2008. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2008. Disponível em: <<http://maua.br/files/dissertacoes/analise-da-influencia-das-condicoes-do-ar-atmosferico.pdf>>. Acesso em: 26 set. 2017.

HEYWOOD, John B. (1988) **Internal combustion engine fundamentals**. New York: Mcgraw-hill.

IH, Kang-duck; KIM, Youngkey K.. **Hyundai Improves Quality by Developing Portable Sound Camera for Vehicle Noise Source Studies**. 2013. Disponível em: <<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-15675#>>. Acesso em: 24 nov. 2017.

MENDONÇA, Leonardo. **ANÁLISE DOS PARÂ METROS DE DESEMPENHO E EMISSÕES DE UM MOTOR A DIESEL OPERANDO COM ETHABIODIESEL® UTILIZANDO MÉTODO NUMÉRICO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS**. 2017. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://w2.files.scire.net.br/atrio/ufrj-pem_upl//THESIS/1859/pemufrj2017mscleonardomendonca_2017071810485880.pdf>. Acesso em: 26 set. 2017.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D. (2015) **Princípios de termodinâmica para engenharia**. Grupo Gen-LTC, 7ª edição.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Como escolher seu dispositivo de medição por termopar**. 2015. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/7108/pt/>>. Acesso em: 21 nov. 2017

NATIONAL INSTRUMENTS. **Como fazer medições de tensão**. 2013. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/7113/pt/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Medições de corrente: Guia prático**. 2017. Disponível em: <<http://www.ni.com/tutorial/7114/pt/>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Os benefícios da programação gráfica do LabVIEW**. 2015. Disponível em: <<http://www.ni.com/white-paper/14556/pt/>>. Acesso em: 22 nov. 2017.

NASCIMENTO JUNIOR, Geraldo Carvalho do. **Máquinas elétricas: Teoria e Ensaios**. 4. ed. São Paulo: Érica, 2012.

OLIVEIRA, Kledder Hugo Correia Pousas de. **SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS E CONTROLE DE PROCESSOS: APLICAÇÕES COM COMPACTRIO E LABVIEW**. 2013. 105 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013. Disponível em: <http://em.ufop.br/cecau/monografias/2013/KLEDDER_HUGO_CORREIA_POUSAS_DE_OLIVEIRA.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2017.

OLSSON, Linda. FALLDE, Magdalena. **Waste(d) potential: a socio-technical analysis of biogas production and use in Sweden**. Journal of cleaner production, Volume 98, July 2015, pages 107 to 115.

RADÜNZ, Jean Cláudio. **BANCADA DIDÁTICA COM MOTOR VIVO**. 2015. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Fahor, Horizontina, 2015. Disponível em: <<http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2015/JeanClaudioRadünz.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2017.

ROYA, Bruno et al. **BIOGÁS – UMA ENERGIA LIMPA**. **Revist A Eletrônica Novo Enfoque**, Brasília, v. 13, n. 13, p.142-149, 2011. Disponível em: <http://www.castelobranco.br/sistema/novo enfoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Biogas_Pr of_Djalma_VF.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

SANTANA, I. **Emissão de gases poluentes por descarga de veículos do ciclo diesel provocadores de deterioramento do meio ambiente: busca de soluções para amenizar ou controlar o problema**. 2012. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Feamig, Belo Horizonte, 2012.

SMITH, Carlos; CORRÍPIO, Armando. **Princípios e prática do controle automático de processo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008.

SONNTAG, Richard E.; BORGNACKE, Claus; VAN WYLEN, Gordon John. (2013) **Fundamentos da termodinâmica**. Edgard Blucher, 8ª edição.

VALENTE, Vinícius Orsi. **Análise de Problemas de Qualidade da Energia Elétrica Causados pela Proteção Anti-ilhamento de Geradores Distribuídos**. 2013. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Sistemas de Energia e Automação, Usp, São Carlos, 2013. Disponível em: <<http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-22012014-153840/>>. Acesso em: 26 set. 2017.

VILELA, Cassiana Aparecida; MEDEIROS, Karina Teixeira; PIAZZA, Murillo Joseph. **DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EM LABVIEW PARA CONTROLE DE UM BRAÇO ROBÓTICO E UMA BASE MOVEL**. 2014. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Técnico em Automação Industrial, Ifsp, São José dos Campos, 2014. Disponível em: <<https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yA8cohCslcoJ:https://sjc.ifsp.edu.br/biblioteca/index.php/component/phocadownload/category/3-automacao-industrial?download=19:desenvolvimento-de-software-em-labview-para-controle-de-um-braco-robotico-e-uma-base-movel+%&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>>. Acesso em: 7 nov. 2017.

ZANETTE, André Luiz. **POTENCIAL DE APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS NO BRASIL**. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento Energético, Ufrj, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues. **POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE CASCAVEL PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**. 2012. 52 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia na Agricultura, Unioeste, Cascavel, 2012. Disponível em: <http://portalpos.unioeste.br/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Helcio_A_Zilotti.pdf>. Acesso em: 15 set. 2017.