

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
ESCOLA POLITÉCNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

YVES SANTOS BORGES

**SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA LEGADO DE PAINEL DE INSTRUMENTOS, PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO VIRTUAL PARA ANÁLISE DE
FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO DE MOTORES POR MEIO DO
DINAMÔMETRO**

**CURITIBA
2019**

YVES SANTOS BORGES

**SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA LEGADO DE PAINEL DE INSTRUMENTOS, PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO VIRTUAL PARA ANÁLISE DE
FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO DE MOTORES POR MEIO DO
DINAMÔMETRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Zanetti Freire.

CURITIBA

2019

YVES SANTOS BORGES

**SUBSTITUIÇÃO DO SISTEMA LEGADO DE PAINEL DE INSTRUMENTOS, PARA
IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA SUPERVISÓRIO VIRTUAL PARA ANÁLISE DE
FUNCIONAMENTO E DESEMPENHO DE MOTORES POR MEIO DO
DINAMÔMETRO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia de Controle e Automação da
Pontifícia Universidade Católica do
Paraná, como requisito parcial à obtenção
do título de Bacharel em Engenharia de
Controle e Automação.

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Luciano Antonio Mendes
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Me. Valter Klein Junior
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Dr. Roberto Zanetti Freire
Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Cidade, 25 de maio de 2020

Dedico este trabalho aos meus pais, e a todos que acreditaram em mim, como aluno, profissional e pessoa.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me sustenta e me guia em todas as etapas de minha vida.

Ao Professor Dr. Roberto Zanetti Freire por sua orientação e compreensão para comigo nessa pesquisa.

À minha Família que sempre me apoiou em minhas escolhas com amor e motivação.

Aos Professores que me instruíram na minha caminhada acadêmica, instruindo, orientando e compartilhando o conhecimento.

Aos Colegas que compartilharam a construção do conhecimento por meio do companheirismo

Aos Colaboradores Maristas que proporcionaram condições para o exercício de minha formação.

"Não cruze os braços diante de uma dificuldade, pois, o maior homem do mundo morreu de braços abertos".

Bob Marley

RESUMO

Visando o auxílio em metodologias ativas de ensino, este trabalho aborda o planejamento para concepção de um sistema de supervisão virtual para análise de funcionamento em tempo real de um dinamômetro de motor a combustão, que substituirá um painel de instrumentos em funcionamento no Laboratório de Termodinâmica da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, e ajudará a ministrar aulas práticas e no aprendizado discente. Para implemento do projeto foi levado em consideração as demandas do stakeholder, limitações e elementos úteis do sistema legado para implementação e elementos necessários a serem adquiridos ou desenvolvidos. Como base nas demandas levantadas, foi diagnosticado o emprego direto de conceitos de instrumentação, necessidade de implantação de um sistema de telemetria, compatibilidade dos transmissores de dados por utilização de protocolo de rede Modbus para trafego de comunicação serial e implantação de um sistema de supervisão, por meio do software Elipse E3. Para estudo bibliográfico houve auxílio de livros, periódicos, artigos e manuais técnicos, fundamentos para execução prática.

Palavras-chave: Sistema de Supervisão. Telemetria. Instrumentação. Dinamômetro.

ABSTRACT

Aiming at assisting in active teaching methodologies, this work addresses the planning for designing a virtual supervision system for real-time operation analysis of a combustion engine dynamometer, which will replace a working instrument panel at the Thermodynamics Laboratory of PUC-PR (Pontifical Catholic University of Paraná) and will assist in the practical classes and student learning. To implement the project it was taken into consideration the stakeholder demands, limitations and useful elements of the legacy system for implementation and necessary elements to be acquired or developed. Based on the raised demands it was diagnosed the direct use of instrumentation concepts, need to implement a telemetry system, compatibility of data transmitters using Modbus network protocol for serial communication traffic and implementation of a supervision system, through the Eclipse E3 Software. For bibliographic study it was used books, periodicals, articles and technical manuals, foundations for practical execution.

Key-words: Supervisory Control. Telematics. Instrumentation. Dynamometer.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - diagrama do ciclo de Carnot (relação de pressão e volume). Expansão isotérmica – 1 a 2. Expansão adiabática – 2 a 3. Compressão isotérmica – 3 a 4. Compressão adiabática – 4 a 1	8
Figura 2- primeiro curso: admissão	10
Figura 3 - segundo curso: compressão	10
Figura 4 - terceiro curso: expansão	11
Figura 5 - quarto curso: descarga.....	11
Figura 6 - difusão térmica dos elétrons.	17
Figura 7 - termopar tipo K.....	18
Figura 8 - (a) banda de energias; (b) condutores; (c) isolantes.	19
Figura 9 - termorresistência Pt100	20
Figura 10 - princípio físico do efeito Hall. (a) sem aplicação de campo magnético; (b) com aplicação de campo magnético	21
Figura 11 - (a) arranjo tradicional de strain gauge. (b) sensores em formato de filamento.....	22
Figura 12 – medição de torção via anéis coletores.	23
Figura 13 - cristal piezoelétrico.....	23
Figura 14 - transmissor de Pressão para líquidos vapores e gases	24
Figura 15- medidor de gases - pistão rotativo	25
Figura 16 - exemplo de comunicação em um processo	26
Figura 17 - topologias de redes.....	28
Figura 18 - hierarquia de um sistema de automação industrial.	31
Figura 19 - pirâmide da automação industrial.....	32
Figura 20 - sistema de ensaio: motor anexado ao dinamômetro.....	34
Figura 21 - painel de instrumentos	34
Figura 22 - motor a combustão – diesel Buffalo® BFDE 18.0 Termossifão.....	35
Figura 23 - dinamômetros de corrente parasita AVL© DynoPerform 160.....	36
Figura 24 - torre de resfriamento AVL© LSE 410.....	37
Figura 25 – vista em corte do dinamômetro AVL© DynoPerform 160.....	38
Figura 26 - medidor de gás de pistão rotativo Aerzen®.....	38

Figura 27 - sistema de medidor de fluxo de gás - pistão rotativo. (a) filtro de ar. (b) transmissor de pressão. (c) transmissor de temperatura e cálculo. (d) amortecedor de pulsos.....	39
Figura 28 - balança Adventurer™ ARD110	40
Figura 29 - sistema de medição de massa de combustível.....	40
Figura 30 - sistema de medição de revoluções por sensor indutivo	42
Figura 31 - sistema de medição de força.	43
Figura 32 – painel de armazenamento do conjunto de sensores medidores de pressão.	44
Figura 33 - <i>displays</i> universais marca NOVUS. (a) N1500FT. (b) N1500LC. (c) N1040i.	45
Figura 34 - dispositivos conversores. (a) circuito conversor RS485 para RS232. (b) cabo conversor RS232 para USB.....	47
Figura 35 – tela inicial <i>software</i> NConfig, versão 1.4.1.12.....	48
Figura 36 - Aba de configuração de parâmetros - NConfig, versão 1.4.1.12.....	49
Figura 37 - exemplo de interface SCADA.....	51
Figura 38 – Proposta de layout principal.	52
Figura 39 - variação da pressão do cilindro e da taxa de liberação de calor sob diferentes velocidades de acordo com o ângulo da manivela.	54
Figura 40 - variação da potência e consumo específico de combustível com relação ar / combustível.	54
Figura 41 – diagrama da arquitetura do sistema proposto	55
Gráfico 1 - dado quantitativo de uso de veículos em alguns países.....	7
Quadro 1 - fases dos procedimentos técnicos do projeto.....	3
Quadro 2 - cronograma de execução da primeira parte do projeto	5
Quadro 3 - escolha do Dinamômetro.....	14
Quadro 4 - resumo das características do Modbus.....	29
Quadro 5 - sensores empregados no sistema de telemetria	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - incertezas nas medições exigidas pela Norma NBR-ISO-1585	12
Tabela 2 - características e especificações RS232, RS422 e RS485	27
Tabela 4 – especificações Motor BFDE 18.0 Termossifão	35
Tabela 5 - configurações técnicas dinamômetro elétrico Alpha 160.....	37
Tabela 6 - configurações técnicas balança Adventurer™ ARD110	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
°C	Celsius
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Carbonetos
CLP	Controlador Lógico Programável
CNI	Portal da Indústria
ed.	Edição
Ed.	Editor
f.	Folha
H	Hidrogênio
HC	Hidrocarboneto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
ISO	Organização Internacional de Normalização
K	Kelvin
Kb/s	Quilo bits por segundo
kg.f	Quilograma-força
LAN	Local Area Networks
m	Metro
NA	Controller Area Network
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
OICA	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
OSI	Open System Interconnectio
p.	Página
PMI	Ponto morto inferior
PMS	Ponto morto superior
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
PWM	Pulse Width Modulation
RPM	Revoluções por minuto
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
V	Volte
W	Watte

WAN Wide Área Networks
μ Micro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	PROBLEMATIZAÇÃO	1
1.2.	JUSTIFICATIVA	2
1.3.	OBJETIVOS	2
1.3.1.	OBJETIVO GERAL	2
1.3.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4.	METODOLOGIA	2
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2.	REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1.	MOTORES A COMBUSTÃO	6
2.1.1.	CICLO TERMODINÂMICO	7
2.1.2.	CICLO DE CARNOT	7
2.1.3.	PROCESSO DE COMBUSTÃO	9
2.1.3.1.	PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DE MOTORER DE CICLO DIESEL DE QUATRO TEMPOS	9
2.2.	ENSAIOS DE MOTORES	12
2.2.1.	TIPOS DE ENSAIO	13
2.2.2.	INFORMAÇÕES COLETADAS E RESULTADOS	13
2.2.3.	MODELOS DE DINAMÔMETROS	13
2.3.	SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO	15
2.3.1.	TELEMETRIA	16
2.3.2.	SINAIS EMPREGADOS	16
2.3.3.	MEDIÇÃO DE TEMPERATURA	17
2.3.3.1.	TEMOPARES	17
2.3.3.2.	TERMORRESISTÊNCIA	19
2.3.4.	MEDIÇÃO DE POSIÇÃO	20
2.3.4.1.	SENSOR INDUTIVO	20
2.3.4.2.	SENSOR DE EFEITO HALL	20
2.3.5.	MEDIÇÃO DE PRESSÃO	21
2.3.5.1.	EXTENSÔMETRO (STRAIN GAUGE)	21
2.3.5.1.1.	EXTENSÔMETRO PARA MEDIÇÃO DE TORQUE	22
2.3.5.2.	PIEZOELÉTRICO	23

2.3.5.2.1. PIEZOELÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE TROQUE.....	24
2.3.6. MEDIÇÃO DE VAZÃO VOLUMÉTRICA	24
2.3.6.1. MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO ROTATIVOS.....	25
2.4. REDES DE COMUNICAÇÃO	25
2.4.1. COMUNICAÇÃO SERIAL.....	26
2.4.2. TOPOLOGIA DE REDE	27
2.4.3. PROTOCOLOS DE REDES.....	28
2.4.3.1. PROTOCOLOS MODBUS.....	28
2.4.4. NIVEIS DA AUTOMAÇÃO	29
2.4.4.1. SISTEMA SUPERVISÓRIO.....	33
3. ESPECIFICAÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA IMPLANTADO	33
3.1. MOTOR DE TESTE.....	34
3.2. DINAMÔMETRO EMPREGADO	36
3.3. SISTEMA DE COMPRESSOR DE AR	38
3.4. BALANÇA PARA MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL	39
3.5. SISTEMA DE TELEMETRIA.....	41
3.5.1. SENSORES.....	42
3.5.1.1. PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO	44
4. PRONAJAMENTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO...	46
4.1. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	46
4.1.1. CONVERSÃO DE PADRÕES SERIAIS.....	47
4.1.2. AQUISIÇÃO DE DADOS DOS DISPLAYS UNIVERSAIS	48
4.1.3. AQUISIÇÃO DE DADOS COM A BALANÇA.....	50
4.2. SISTEMA DE SUPERVISÃO VIRTUAL.....	50
4.2.1. ESTEUTURA FUNCIONAL E GRÁFICA DO SUPERVIRÓRIO	51
4.2.2. CONFIGURAÇÃO DE SEGURANÇA	52
4.2.3. CRIAÇÃO DE TAGS E BANCO DE DADOS.....	53
4.2.4. VISUALIZAÇÃO DE TENDÊNCIAS E RELATÓRIOS.....	53
4.3. PROPOSTA DE ARQUITETURA DO SISTEMA	55
REFERÊNCIAS.....	56
ANEXO A – ESQUEMA DO CIRCUITO CONVERSOR RS485 PARA RS232.....	59
ANEXO B – ESQUEMA DO CIRCUITO CONVERSOR RS232 PARA USB.....	60
ANEXO C – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO E COMANDO DA PLANTA DE TESTE DO LABORATÓRIO DE TERMODINÂMICA.....	61

ANEXO D – DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO NA REDE DE INSTRUMENTAÇÃO	63
ANEXO E – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO	64
ANEXO F – DIAGRAMA DE ASSOCIAÇÃO DOS RELÉS DE ALARME DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO	65
ANEXO G – DIAGRAMA DE ASSOCIAÇÃO DOS PERIFERICOS DE COMUNICAÇÃO SERIAL DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO	66

1. INTRODUÇÃO

Motores a combustão são sistemas complexos que envolvem muitos componentes, parâmetros e variáveis. Sua aplicabilidade compreende equipamentos industriais, uso estacionário, marítimo, aéreo, terrestre veicular e fora de estrada (TILLMANN, 2013).

As condições de funcionamento e desempenho de um motor a combustão, seja ele novo ou retificado, podem ser aferidas em uma bancada de teste denominada dinamômetro, para fins de conferência dos parâmetros determinados pelo fabricante de cada motor acoplado ao equipamento posteriormente. As informações obtidas no ensaio podem orientar para obtenção da maximização de potência, maior rendimento de combustível e menores emissões de poluentes (MANAVELLA, 2013).

Observou-se a oportunidade de melhoria do sistema de ensaio de motores, do Laboratório de Termodinâmica da Pontifca Universidade Católica do Paraná (PUCPR), no qual pretende-se implementar um sistema supervisorio, para melhoria do ensino e disseminação de conhecimento por meio da ferramenta.

A acurácia das informações obtidas por intermédio de dinamômetros, equipado com instrumentos de medição, dependem das coletas de dados. Atualmente a metodologia de colhe de dados ocorre por anotações manuais em formulários, o que possibilita erros, que resultaram em prejuízos. Diante dessa observação notou-se a necessidade de implantação de um sistema supervisorio, para melhor tratamento de dados gerados em testes do motor a combustão instalado no laboratório.

1.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Levando-se em conta a problemática acima citada, este trabalho de conclusão de curso levanta a seguinte questão problema:

Considerando os equipamentos disponível no laboratório da PUCPR, um dinamômetro AVL®, modelo DynoPerform 160, para estudo de motores na disciplina de termodinâmica, e a necessidade de conversão do sistema legado para um sistema de supervisão virtual, levando-se em conta o contexto atual de conectividade presente na indústria, é possível desenvolver um sistema supervisorio de baixo custo com os equipamentos e tecnologias disponíveis na universidade?

1.2. JUSTIFICATIVA

A utilização do sistema legado como base para o implemento do sistema supervisorio, garante um projeto com menor custo e que auxiliara na maximização do aprendizado discente, garantindo melhor ferramenta no auxílio de ensino. A coleta de dados por meio de aquisição eletrônica e registro virtual, podem ser vinculados ao estudo científico de dados, sendo revertidos em informações úteis a pesquisas e de benefícios sociais.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GERAL

Visando maximizar a transformação dos dados em informações, coletados em ensaios de motores a combustão com dinamômetro, pretendesse implantar um sistema de supervisão virtual nesse conjunto. De modo que seja utilizado elementos legados do sistema para simplificação do projeto e garantia de novo meio de acesso a dados, pelos usuários do sistema.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

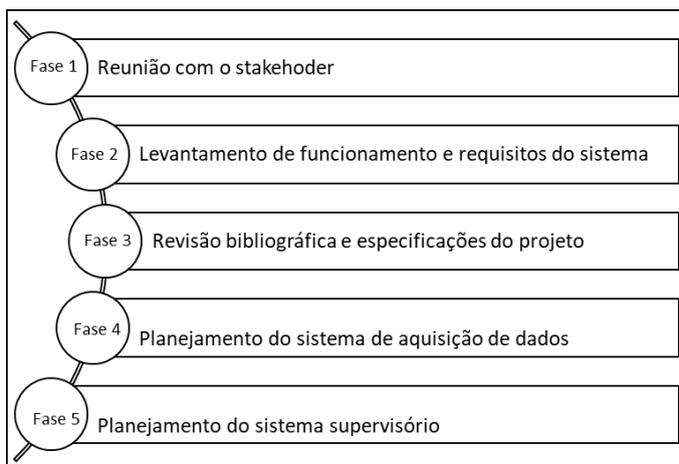
Observando todos os tópicos acima supracitados, os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Por meio de pesquisa compreender o sistema de funcionamento do dinamômetro e motor acoplado.
- b) Identificar as tecnologias do sistema legado e as tecnologias adicionais, viáveis para implantação do sistema supervisorio.
- c) Desenvolver um sistema supervisorio que forneça informações de relevância, vinculadas a ensaios de motores a combustão.

1.4. METODOLOGIA

Foram definidas atividades a serem cumpridas para o desenvolvimento do projeto, conforme o Quadro 1 - apresenta-se as principais fases do projeto:

Quadro 1 - fases dos procedimentos técnicos do projeto.



Fonte: O Autor, 2019.

O tema para elaboração do projeto, propicia aplicação de conhecimentos multidisciplinar do curso de Engenharia de Controle e automação e principalmente aplicação de benefícios ao meio de discente da universidade. Para iniciar o projeto foi realizado reuniões com o responsável do Laboratório de Termodinâmica – também docente da universidade e usuário do sistema, para levantamento de informações sobre o funcionamento e expectativas de melhoria do sistema de ensaios do laboratório.

Entrevista são levantados questionamos, de modo a estarem sistematizadas e organizadas, objetivando alcance de informações, entretendo um formulário enquadra-se como coletivo de perguntas elaboradas (SILVA, 2015). Desta forma nas reuniões propostas ocorrerão o entrevistas e elaboração de formulários que servirão de base para escopo do projeto.

Após o levantamento de informações do *stakeholder*, complementadas para escopo do projeto a avaliação de especificações técnicas do sistema por meio de análise documental de livros, catálogos, manuais, e sites, vinculado aos fabricantes dos elementos envolvidos e seus fornecedores. A análise de conteúdo, está vinculada a qualquer técnica de coleta de dados, vinculadas a documentos, de qualquer comunicação (gestual, visual, oral, escrita); de como que compiladas, se reduzam a um texto ou documento (ROESCH, 1999).

Segundo Zanella (2016), a metodologia de escolha de técnicas para coleta e análise dos dados, devem fundamentar-se nos problemas de pesquisa e de seu(s) objetivo(s), de forma que a captura das informações, dispostas em diferentes fontes,

necessitem de planejamento de fontes de pesquisas e estratégias de análise de dados. A revisão da literatura para o projeto foi baseada em livros acadêmicos, manuais técnicos, sites de fabricantes de componentes e sistemas técnicos vinculados ao projeto, e na leitura de periódicos de ensaios técnicos de motores a combustão da base Elsevier - revisão que objetivou contextualização dos subsistemas presentes no projeto, como sistema de motores a combustão, ensaio de motores, telemetria e instrumentação, redes e plataformas de supervisão.

Como demanda e requisito para criação do *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), destinou-se esforço para uso de tecnologia legada do sistema, porém viável. Optou-se pelo uso dos *displays* universais, base do sistema de supervisão presente, que possui funcionalidade de transmissão de dados do sistema de telemetria, com a característica técnica de uso de rede Modbus formada pelo conjunto desses hardwares e tráfego de informação via serial RS485.

O sistema de telemetria terá concepção por meio do *software* Elipse®, por motivos do produtor ter licença de uso pela instituição. Programa que compilara em um computador da instituição, contendo funcionalidade de banco de dados, interface gráfica, dispositivos de alarme, visualização de tendências e configuração de segurança.

A etapa de funcionamento do sistema criado e empregado, por meio de testes e aplicações não ocorrera nesta etapa do projeto e cronograma de 2019. Porém pretende-se adquirir conhecimentos suficientes, planejamento de atividades e de itens a serem adquiridos e conciliados ao projeto. Portanto a aplicação prática do projeto apenas será iniciada no início do próximo ano e finalizada no fim do próximo semestre, como forma de avaliação de entrega da segunda parcela do Trabalho de Conclusão.

Como resultado do planejamento, escopo do projeto, foi elaborado um cronograma (Quadro 2) que apresenta as datas vinculadas a execução das atividades do projeto, em períodos semanais (por meio de Diagrama de Gantt).

Quadro 2 - cronograma de execução da primeira parte do projeto.

#	ETAPAS DO PROJETO	DATAS		ETAPAS DO PROJETO													
		INICIO	TERMINO	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
1	Escolha do tema e problemática	22/08/2019	27/08/2019	█	█												
2	Levantamento de necessidade e expectativas do stakeholder	27/08/2019	02/09/2019	█	█												
3	Entrega da estrutura de planejamento estratégico do projeto - CANVAS	02/09/2019	06/09/2019		█	█	█										
4	Levantamento de requisitos	09/09/2019	12/09/2019			█	█										
5	Revisão bibliográfica e especificação de componentes	02/09/2019	10/11/2019			█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█
6	Definição das etapas de desenvolvimento (método)	02/09/2019	13/09/2019		█	█											
7	Proposta de sistema para aquisição de dados	02/09/2019	20/09/2019			█	█										
8	Planejamento e aquisição, de itens para elaboração e uso no projeto	02/09/2019	20/09/2019			█	█										
9	Proposta de criação do sistema SCADA	20/09/2019	04/10/2019					█	█	█							
10	Validar alternativas propostas com stakeholders	04/10/2019	11/10/2019					█	█								
11	Testes iniciais de aquisição de dados	20/09/2019	18/10/2019					█	█	█							
12	Análise dos resultados parciais obtidos	20/09/2019	18/10/2019					█	█	█							
13	Elaboração do documento de TCC I	16/09/2019	10/11/2019								█	█	█	█	█	█	█
14	Entrega teorica do projeto final - primeira parte	10/11/2019															█

Fonte: O Autor, 2019.

A proposta de execução de implantação prática do projeto está disposta quarto e quinto capitulo.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

A proposta central do projeto é descrever fundamentos teóricos e de planejamento para execução da substituição de sistema legado de um painel de instrumentos de um sistema de dinamômetro, por um sistema supervisorio virtual.

No primeiro capítulo é apresentado a parte introdutória, contextualização, justificativas e objetivos do projeto, juntamente com a metodologia para realização do planejamento.

O segundo capítulo contempla a revisão literária, baseada em diferentes documentos, como livros, periódicos e manuais técnicos, de forma a contextualizarem e ajudarem a responderem a desenvolver propostas aos objetivos. Foram descritos subtópico relacionados ao tema de ensaio de motores a combustão, com o aprofundamento no conhecimento de motores a combustão, aplicação da instrumentação, redes, aquisição de dados e sistemas de supervisórios.

No terceiro capítulo o leitor pode entender melhor o funcionamento do sistema de ensaio presente no Laboratório de Termodinâmica, com a descrição das características técnicas e funcionamento dos equipamentos do sistema, como motor e o dinamômetro.

No quarto e último capítulo apresenta propostas de solução ao sistema, com escopo do projeto e apresentação das tecnologias e estratégias utilizadas.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Capítulo que descreve a revisão literária, base para realização do projeto, compreensão do funcionamento de sistema de motores a combustão, sistemas de ensaio de motores, sistemas de instrumentação, redes e sistema supervisorio.

A revisão literária, é responsável por guiar a proposta de pesquisa, desde da escolha da problemática até o embasamento para interpretações e fundamentações para resultados (ALVES, 2012).

2.1. MOTORES A COMBUSTÃO

Os motores a combustão são máquinas que estão evoluindo ao passar do tempo e com o aprimoramento e implemento de novas tecnologias. Os primeiros protótipos de uso de ciclo de motores a pistão iniciaram com os registros de Beau de Rochas, em 1862, tendo resultados apenas em 1876 com o primeiro motor Otto; e apenas em 1892, Diesel obteve a construção de motor com ignição a compressão (OBERT, 1971).

Segundo Garcia e Brunetti (2012) motores de combustão, são sistemas que transformam energia térmica em trabalho. A resultante desse trabalho é obtida através da queima de uma substancia denominada fluido ativo. A forma de queima do fluido determina a classificação dos motores de combustão interna:

2.1.1. Rotativos: onde o trabalho é obtido por meio de movimentação rotativa de elementos mecânicos. Exemplos: motor Wankel e turbinas de aeronaves.

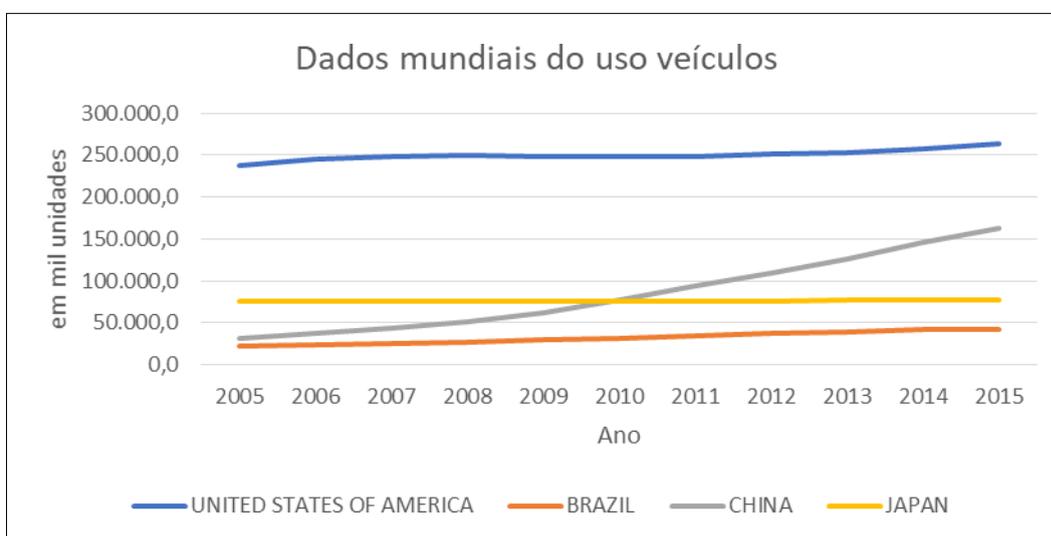
2.1.2. Alternativos: modelos que obtém trabalho por meio da movimentação linear de êmbolos, transformando-o em movimento rotativo. Exemplo: motores de ciclo Otto e Diesel.

Os motores a combustão, possuem várias versatilidades quantos aos seus modelos, uso de combustíveis e principalmente sua aplicação. Sua importância se reflete no uso em diferentes meios de transportes e cenários, como é o caso de uso em veículos leves, veículos fora de estrada, trens, navios, aeronaves, motocicletas, geradores elétricos, motobombas, entre outras utilidades.

Se for levado em consideração apenas o uso de motores, em veículos, segundo dados da Organização Mundial da Indústria Automobilística (OICA, 2007), a frota de utilitários em todo o mundo já é maior que 1 bilhão de ativos. No gráfico da Figura 1,

baseados nos dados da OICA (2015), apresenta-se a quantidade da frota, dos países com a maior concentração de ativos, nos períodos de 2005 a 2015.

Gráfico 1 - dado quantitativo de uso de veículos em alguns países.



Fonte: Adaptado de: OICA, 2015.

2.1.1. CICLO TERMODINÂMICO

O funcionamento das máquinas de combustão interna, utilizam o princípio de funcionamento denominado de ciclo termodinâmico, de modo que podemos destacar as quatro principais fases: admissão, compressão, expansão e vazão. Os elementos resultantes e de atuação deste ciclo podem ser definidos em, substancias de trabalho, fonte de calor e fonte fria (TILLMANN, 2013).

2.1.2. CICLO DE CARNOT

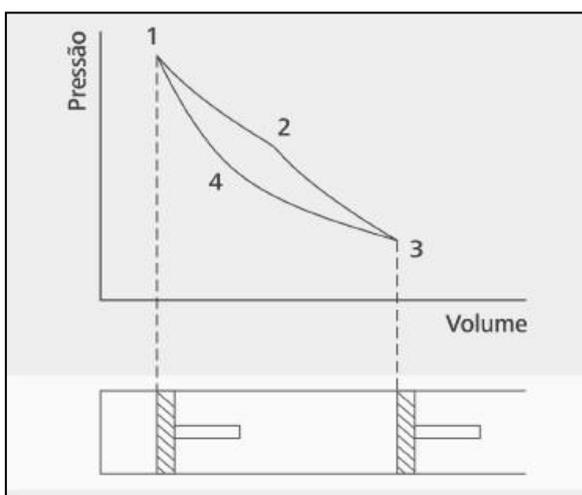
O ciclo de Carnot, criado por Nicholas Carnot em 1823, contextualiza o funcionamento de ciclo ideal para máquinas térmicas, baseando-se em seu rendimento maximizado (TILLMANN, 2013). Visto que dispositivos reais têm menor eficiência, devidos interferência de parâmetros de intervenção externas, restrições físicas e químicas do sistema; como perca de energia por atrito, dissipação de calor a fontes excedentes do sistema, entre outros fatores.

O ciclo de Carnot, esta exemplificado em funcionamento gráfico, com auxílio da representação de trabalho de um cilindro, conforme figura 2, relacionado fatores

do princípio de térmico, de pressão e volume. Segue abaixo, os estágios teóricos de comportamento do ciclo (TILLMANN, 2013):

- Primeira fase (expansão isotérmica): o sistema recebe calor de determinada fonte; o cilindro perde calor quando há expansão isotérmica, em consequência exige calor para manter sua temperatura constante (expansão de 1 a 2).
- Segunda fase (expansão adiabática): o sistema não realiza troca de calor com fontes térmicas; não há troca de calor para o cilindro, a massa gasosa retorna o volume e a pressão equivalente ao estágio inicial (expansão de 2 a 3).
- Terceira fase (compressão isotérmica): o sistema cede calor para a fonte externa, realizando resfriamento; é introduzido massa gasosa no cilindro, e em sequência realizado sua compressão pelo pistão com temperatura constante, havendo apenas perda de calor durante o decorrer desta fase (expansão de 3 a 4).
- Quarta fase (compressão adiabática): o sistema não troca calor com as fontes térmicas; havendo interrupção o resfriamento do cilindro, há continuação da compressão, não havendo troca de calor entre o gás e o cilindro (expansão de 4 a 1).

Figura 1 - diagrama do ciclo de Carnot (relação de pressão e volume). Expansão isotérmica – 1 a 2. Expansão adiabática – 2 a 3. Compressão isotérmica – 3 a 4. Compressão adiabática – 4 a 1.



Fonte: Adaptado de: WYLEN, 1994.

2.1.3. PROCESSO DE COMBUSTÃO

Segundo Turns (2013), com base no dicionário Webster, define combustão como: fenômeno de oxidação rápida, gerando calor, ou até mesmo calor e luz; ou oxidação lenta acompanhada por pouca liberação de calor sem emissão de luz.

Desta forma é enfatizado a intrínseca relação química com a combustão. Para geração da combustão, deste fenômeno químico, a presença de oxigênio, fonte de calor e combustível, são imprescindíveis – e para maximização do rendimento de qualquer combustão a relação estequiométrica destes elementos para combustão é almejada (TILLMANN, 2013).

Combustível (HC), são utilizados em motores de combustão interna, compostos por hidrocarbonetos – integrado por hidrogênio (H) e carbonetos (C). O oxigênio (comburente), está contido no ar; e o calor é gerado por faísca em motores de ciclo Otto ou pela compressão de gases admitidos no ciclo Diesel (MANAVELLA, 2013).

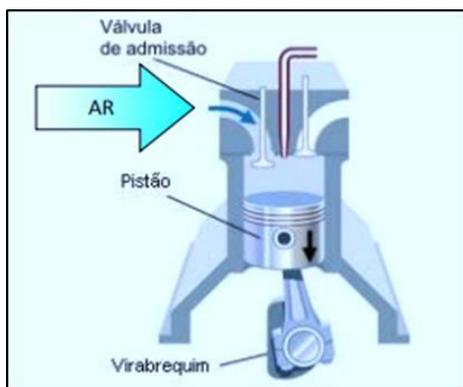
2.1.3.1. PROCESSO DE FUNCIONAMENTO DE MOTORER DE CICLO DIESEL DE QUATRO TEMPOS

Os motores no qual realizam seu processo em um ciclo de quatro estágios, no ciclo do curso do pistão são denominados motores de quatro tempos. Os motores de ciclo Diesel, transformam a movimentação linear do pistão, em trabalho rotativo da árvore de manivelas (VARELLA E SANTOS, 2010).

Segundo Varella e Santos (2010), as definições dos quatro tempos de um motor de ciclo Diesel são:

- Primeiro curso (admissão): nesta fase o pistão se desloca do PMS para o PMI, ocorrendo a admissão apenas de ar para dentro da câmara do cilindro (Figura 3). Durante o processo a válvula de admissão permanece aberta e a de descarga fechada, onde o volume admitido na câmara, denomina-se de volume de admissão ou cilindrada parcial do motor (em cm³).

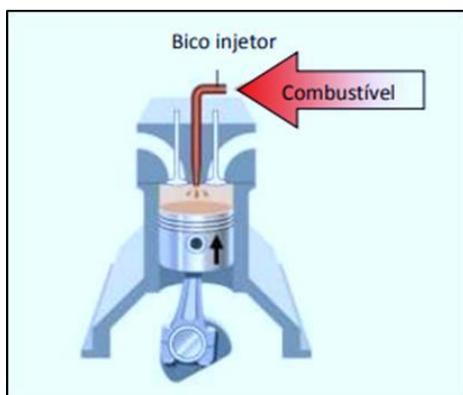
Figura 2- primeiro curso: admissão.



Fonte: VARELLA E SANTOS, 2010.

- Segundo curso (compressão): nesta fase o pistão se desloca do PMI para o PMS, ocorrendo compressão do ar. Havendo compressão do ar, ocorre a elevação de temperatura – de modo que a compressão tem a relação volumétrica de aproximadamente 18:1. Ao fim da compressão, o combustível (diesel) é injetado na câmara de combustão, por meio bico injeto (Figura 4).

Figura 3 - segundo curso: compressão.

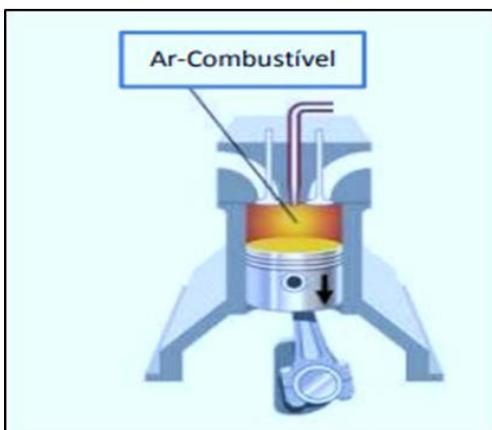


Fonte: VARELLA E SANTOS, 2010

- Terceiro curso (expansão): nesta fase o pistão se desloca do PMS para o PMI, ocorrendo a expansão da mistura ar-combustível, por consequência da combustão - a válvula de admissão e descarga são fechadas no ato da combustão (Figura 5). Durante a expansão dos gases, o pistão recebe força de expansão dos gases, transformando energia térmica em mecânica (trabalho). O trabalho exercido por meio da movimentação linear do pistão,

decorrido da expansão dos gases, é transmitido para árvore de manivela, por meio da biela, ocasionando em sua movimentação de rotação.

Figura 4 - terceiro curso: expansão



Fonte: VARELLA E SANTOS, 2010.

- Quarto curso (descarte): nesta fase o pistão se desloca do PMI para o PMS, acontece a descarga dos gases processados da combustão, de forma que a válvula de admissão esteja fechada e a de descarga está aberta. O movimento de escape pela válvula de descarga, ocorre pelo forçamento do pistão contra o PMS da câmara (Figura 6).

Figura 5 - quarto curso: descarga



Fonte: VARELLA E SANTOS, 2010

2.2. ENSAIOS DE MOTORES

Os motores a combustão possuem diversos empregos, porém há necessidade de utilizarmos da melhor forma possível, maximizando sua eficiência e diminuindo os impactos de efeitos nocivos e negativos em seu uso, como é o caso de poluição pela combustão, vem sendo um desafio e objetivo dos projetistas. Reflexo dessa necessidade é o enrijecimento de leis e normas para uso de motores a combustão, em relação às suas taxas de emissões de poluentes, e conscientização do uso de recursos naturais, empregados em combustíveis – nos quais reforçam o uso de meios alternativos de meios de transporte (considerando veículos com motores a combustão).

Os ensaios de motores, são uma forma de coletar informações de dados do motor, por auxílio do desempenho desenvolvidos em bancadas dinâmométricas, por dinamômetros de freios ou hidráulicos, visando de forma instrumental avaliação, mensuração e confiabilidade dos dados técnicos fornecidos pelos fabricantes (TILLMANN, 2013).

Atualmente a norma de ensaio empregada no Brasil é a NBR ISO 1585 (“Veículos rodoviários - Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva”), de junho de 1996, para padronização de medição de potência líquida de motores a pistão usados em veículos rodoviários. Além da padronização de procedimentos, estipula as formas de apresentação das curvas de desempenho ligadas a potência e consumo.

No tópico 4 da NBR ISO 1585, são apresentados os parâmetros de incerteza tolerados, nos equipamentos mínimos para medição em ensaios - são indicados na tabela de Tabela 1:

Tabela 1 - incertezas nas medições exigidas pela Norma NBR-ISO-1585

Grandeza	Incerteza Exigida
Torque	$\pm 1\%$
Rotação do motor (frequência rotacional)	$\pm 0.5\%$
Fluxo de combustível	$\pm 1\%$
Temperatura de combustível	$\pm 2\text{ K}$
Depressão de admissão	$\pm 50\text{ Pa}$
Pressão absoluta de admissão	$\pm 2\%$
Temperatura do ar	$\pm 2\text{ K}$
Pressão barométrica	$\pm 100\text{ Pa}$
Compressão de exaustão	$\pm 200\text{ Pa}$

Fonte: Adaptada: ABNT, 1996

2.2.1. TIPOS DE ENSAIO

Ensaio para certificação de motores, dividem-se por meio da aplicação do motor, definindo assim, o objetivo do ensaio. Veículos destinados a aplicações leves, podem ser testados em salas de teste, onde são postos sobre um dinamômetro de chassi para emulação do ciclo de condução. Em casos onde os motores são de veículos pesados, ou pela dificuldade de reprodução em teste em dinamômetro de chassi, faz-se certificações do motor separado em ambientes com dinamômetros de motor (BRUNETTI, 2012).

2.2.2. INFORMAÇÕES COLETADAS E RESULTADOS

Por meio de leitura direta, pode-se coletar os principais dados: torque, velocidade angular eixo de motriz, consumo horário de combustível, informações de pressões relativas à tubulação, sistema de admissão de ar, temperaturas respectivas do ar de admissão, do combustível, do óleo lubrificante, do líquido de arrefecimento e dos gases do escapamento (TILLMANN, 2013).

Dados, que geram informações, que serviram de cálculos de potência efetiva, o torque, consumo, desempenho, perda de carga, entre outros. Informações que são apresentadas em forma de gráficos ou tabelas (TILLMANN, 2013).

2.2.3. MODELOS DE DINAMÔMETROS

Dinamômetros medem a potência de um motor, obtida por meio do torque e da rotação do sistema, inserindo perturbações no sistema - impedir a rotação, criando força de impedimento, operando como um freio ao eixo motriz. Força contrária, que servira para análise de carga ao motor (OBERT, 1971).

Obert (1971), apresenta de forma decrescente de eficiência e de custo opções de escolhas de sistemas de dinamômetros (Quadro 3).

Quadro 3 - escolha do Dinamômetro.

Ordem de Versatilidade	Custo Inicial
Dinamômetro Elétrico	Mais Alto
Dinamômetro de Correntes Foucault	Alto
Dinamômetro Hidráulico	Baixo em relação a capacidade
Freio Prony	Baixo
Dinamômetro de Ventilação	Baixo, porém, com pouca precisão

Fonte: Adaptado: OBERT, 1971.

- Dinamômetro de ventilação: é um sistema de ventiladores ou hélices usadas para ensaios de longa duração, sem necessidade de precisão. Dificuldade do sistema está em quantificar a carga sobre operante sobre o sistema (OBERT, 1971).
- Freio Prony: consiste em um sistema formado por um tambor metálico frenado por elementos de desgaste de madeira. Regulagem delicada, com variação constante. Destinados a sistemas de testes de pouca potência (CASTRO, 2014).
- Dinamômetro Hidráulico: formado por um disco montado dentro de uma carcaça contendo fluido. A resistência de esforço girando é proporcional e oposta a relação que tende o trabalho da carcaça giratória. Força que tem sua medição da mesma forma que no sistema de Freio de Prony. Sistema de esforço controlado por válvula, que permite de passagem do liquido a carcaça; o fluido admitido passa por alvéolos, indo contra o rotor e gerando uma força centrífuga que empurra novamente a água para os alvéolos. Usados em ensaios de grande potência e de alta rotação (OBERT, 1971).
- Dinamômetro de Correntes Foucault: trabalha com o fenômeno de Corrente de Foucault, no qual é uma corrente elétrica induzida em condutores ao serem expostos a mudança de determinado campo magnético devido ao movimento do campo ou sua variação em detrimento do temo em uma circulação de elétrons no condutor (KILLEDAR, 2012). Sistema constituído por um disco metálico girante, no qual gira livremente entre dois ímãs indutivos, na ausência de correntes elétricas e seus sistemas, porém há força oposta ao surgimento do campo magnético que atravessa o disco, na passagem de corrente elétrica nos condutores do ímã induzido, criados por bobinas (OBERT, 1971).

- **Dinamômetro Elétrico:** emprega um motor testado é acionado a um sistema que se comporta como um motor elétrico, permitindo medir a força que tende o eixo girar ao estator do dinamômetro, que recebe excitação por meio de alimentação elétrica. A tendência de giro do estator do sistema, é uma reação equivalente e oposta ao conjugado atuante na armadura acionada pelo motor em prova (OBERT, 1971).

2.3. SISTEMAS DE INSTRUMENTAÇÃO

Nos atuais processos de fabricação, são encontrados sistemas automatizados, nos quais o tráfego de informações dados são intensos e para isso exigem sistemas de controle cada vez mais sofisticados e sistemas de instrumentações confiáveis e precisos. A instrumentação, para uso de medições em ensaios é fundamental, visto os diferentes parâmetros medidos e técnicas de medições aplicadas.

A instrumentação é definida por qualquer instrumento (dispositivo), ou seus aglomerados, com a finalidade se obtenção de medições, indicadores, registros ou de controle de variáveis de processo (STARLING, 2003). Portanto a instrumentação pode ser vinculada a transformação de grandezas físicas, de processos, em leituras de informações para utilização no controle de processos.

Para correto funcionamento de processos, medições do processo são fundamentais, é os sensores tem papel elementar, de forma que convertem sinais de variáveis físicas em sinais de saída. Os sinais típicos de variáveis de processos e de saída são: temperatura, pressão, vazão, nível e velocidade (FRANCHI, 2015).

Segundo CNI, et al. (2018), pode-se classificar os instrumentos e dispositivos empregados na instrumentação, conforme sua funcionalidade e desempenho no processo, sendo estas classificações: instrumento de medição indicador, instrumento de medição registrador, transmissor, transdutor, controlador e elemento final de controle.

2.3.1. Instrumento de medição indicador: apresentam uma indicação, podendo ser analógica (contínua ou descontínua) ou digital – sendo que este instrumento também pode fornecer um registro.

2.3.2. Instrumento de medição registrador: fornecem um registro de indicação, podendo ser analógica (contínua ou descontínua) ou digital – de modo que

podem ser registrados mais de uma grandeza simultaneamente e podendo também apresentas uma indicação.

2.3.3. Transdutor: dispositivo ou elemento, que detecta alteração de parâmetros físicos e processa em grandeza de saída – em geral em sinal elétrico.

2.3.4. Transmissor: instrumentos que recebe informações dos parâmetros de medição, geralmente convertendo sinais do transdutor ou os emprega, e transmitem-na à distância.

2.3.5. Controlador: instrumento responsável por comparar variáveis de processo com valores desejados e fornece um sinal de saída, visando manter a variável de processo em um valor estipulado ou faixa de valor(es) determinado(s). Sendo que a medição pode ser direta pelo controlador ou indiretamente, por meio de sinais de um transmissor ou transdutor.

2.3.6. Elemento final de controle: são mecanismos responsáveis por variar a quantidade de material ou de energia em resposta ao sinal recebido de um controlador, visando manter a variável de controle em determinado valor/faixa determinada.

2.3.1. TELEMETRIA

Telemetria é a técnica para transporte de medições, obtidas em processos que estejam a determinadas distâncias de um ponto, que o utilizara para visualização, controle e processamento. Emprega-a em necessidades de centralizar os instrumentos e controles de um sistema em interfaces de controle ou em ambientes de controle e comando (FRANCHI, 2015).

2.3.2. SINAIS EMPREGADOS

Nos sistemas de transmissão, são repassados diferentes tipos de sinais para determinada central de informações ou controle. Existem sinais do tipo digital, que correspondem a duas faixas de sinal, denominada também por binaria, assumindo valores lógicos “0” ou “1” (ou de ligados ou desligado). Ou os analógicos, nos quais representam quaisquer grandezas, como temperatura, pressão, vazão, nível, entre outros, em valores não precisos entre faixas.

2.3.3. MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

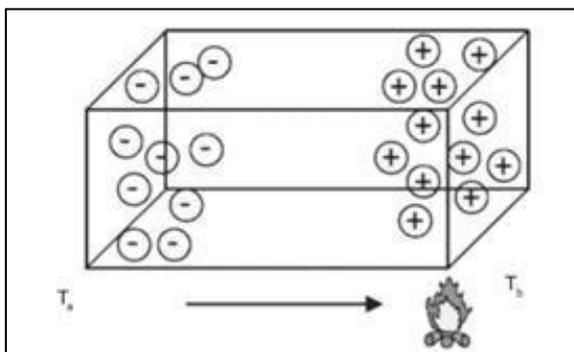
Temperatura é a propriedade física do material que influencia na movimentação de vibração e/ou deslocamento dos átomos de determinado corpo. (SENAI, 2015). O deslocamento dos átomos pode ser classificado como agitação de moléculas (FRANCHI, 2015). Quanto maior a temperatura do corpo, proporcionalmente se comportam a energia de vibração de suas moléculas e grande será potencial de transferir energia cinética para outro corpo.

Todos os corpos são afetados pela temperatura, sua medição é importante para acompanhamento de alterações de propriedades físicas e químicas. As primeiras aparições de medições de temperatura, iniciaram por termômetros elementares dependentes da variação volumétrica de gases e líquidos influenciadas pela temperatura. Atualmente são empregados em larga escala, aplicações de tecnologias que captam a variação de temperatura e convertem-na em sinais elétricos, como termopares e termorresistências (FRANCHI, 2015).

2.3.3.1. TEMOPARES

No aquecimento de uma barra, considerando sua composição homogênea, havendo um aquecimento localizado, terá concentração de elétrons livres em pontos específicos, e não por toda barra. De forma que os elétrons livres tendem a permanecer na parte mais fria (menor energia), de forma que a parte quente permanece carregada positivamente (FRANCHI, 2015), conforme mostra a Figura 6.

Figura 6 - difusão térmica dos elétrons.



Fonte: FRANCHI, 2015.

Havendo a geração de diferença de potencial no corpo aquecido (força eletromotriz), quanto dois metais de composição distintas se unem e submetidas a temperaturas distintas, temos um sistema denominado termopar (CNI, et al., 2018).

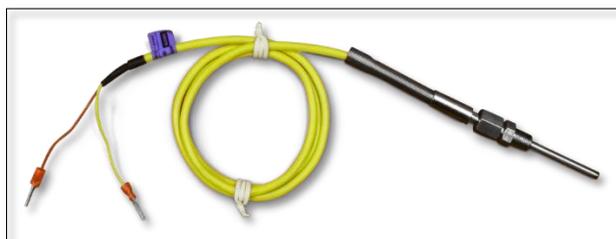
Termopares são empregados na indústria, por apresentarem relativamente baixo custo e faixa de erro em grande maioria aceitável para aplicações industriais. Porém o erro que pode aumentar, ao passar do tempo, com a variação do material (FRANCHI, 2015). De acordo com Franchi (2015) os cinco tipos de termopares, mais atuais na indústria são o de composição de matérias: Cobre-Constantan (tipo T), Ferro-Constantan (tipo J), Chromel-Alumel (tipo K), Nicrosil-Nisil (tipo N) e Chromel-Constantan (tipo E).

Em seu livro, Franchi (2015) apresenta as principais características da composição de liga Chromel-Alumel (tipo K), para uso em termopares. Destaca que possui sensibilidade para medições acima de $45 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, não recomendado em uso de atmosferas redutoras e sulfurosas (gases como SO_2 e H_2S), pode ser utilizado em faixas abaixo de 0°C , possui incerteza de medição é de $\pm 2,2^\circ\text{C}$ ou $\pm 0,75^\circ\text{C}$ e em altas temperaturas (fixa de 800 e 1.200°C) tem maior resistência mecânica que os de tipo S e R. São destacadas as seguintes características:

- Liga metálicas: chromel e alumel ($\text{Ni}_{95,4}\text{-Mn}_{1,8}\text{-Si}_{1,6}\text{-Al}_{1,2}$) (+) Chromel e (-) Alumel;
- Faixa de uso recomendada: 0 a 1.370°C ;
- F.E.M: 0 a 54,818 mV;
- Potência termoelétrica média: $4,5 \text{ mV}/100^\circ\text{C}$;

Na Figura 7, é apresentado a ilustração de um termopar tipo K empregado em uso de medição de sistemas automotivos.

Figura 7 - termopar tipo K.

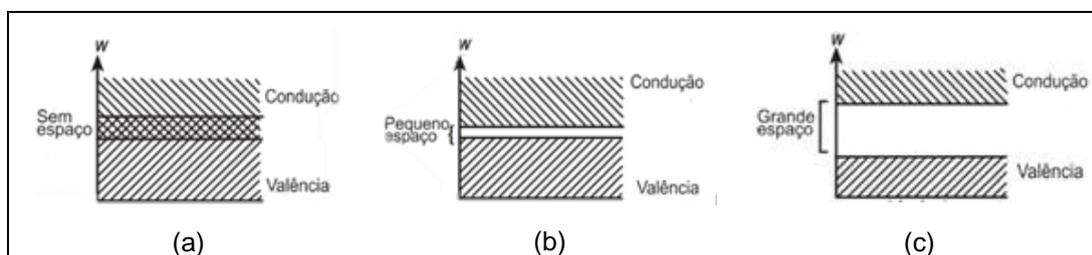


Fonte: <https://fueltech.com.br>.

2.3.3.2. TERMORRESISTÊNCIA

O metal pode ser caracterizado como arranjo de átomos na forma sólida, na qual átomos isolados estão na posição de equilíbrio com vibração sobreposta induzida por energia térmica (FRANCHI, 2015). Materiais metálicos podem possuir átomo que fornecem um elétron, na última camada (elétron de valência), que podem mover-se livremente através do material – sendo assim chamado de elétron de condução. De forma que a banda de valência se encontra com a banda de condução (Figura 8).

Figura 8 - (a) banda de energias; (b) condutores; (c) isolantes.



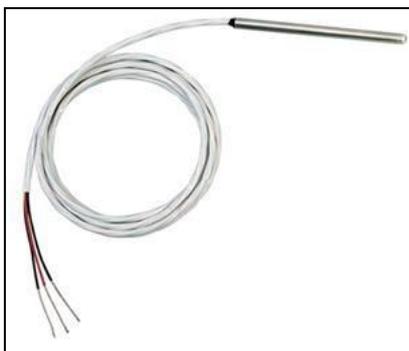
Fonte: FRANCHI, 2015.

Quando há excitação dos átomos, por meio de energia térmica, os elétrons de condução tendem a colidir mais com os átomos em vibração, de forma haver restrição de movimento dos elétrons e absorve um pouco de sua energia – resultando em uma resistência à corrente elétrica. Logo pode-se afirmar a dependência direta do aumento da resistência elétrica com o aumento da temperatura (FRANCHI, 2015).

Franchi (2015) destaca que as resistências nominais a 0 °C são tipicamente 100 Ω, 1000 Ω e com variações de 200Ω e 500 Ω, de modo que denominados Pt100, Pt1000 e assim sucessivamente, a relação da resistência a esta faixa de temperatura. O autor destaca as principais características no Pt100, como composição de platina, resistência de 100 Ω em 0 °C, sensor mais utilizado na indústria, boa faixa de medição e precisão, e coeficiente de temperatura de 0,385 Ω por °C conforme a norma DIN IEC 60751.

Na figura 9, é apresentado a ilustração de um termorresistências tipo Pt100 empregada para utilidade genérica, como uso automotivo e industrial.

Figura 9 - termorresistência Pt100.



Fonte: <https://br.omega.com>.

2.3.4. MEDIÇÃO DE POSIÇÃO

O emprego dos sensores de posição, se dão para converter a posição de uma grande elétrica, sinal baseado em resistência, tensão, corrente, indutância, pulsos ou capacitância; no qual são constituídos de duas partes, uma fixa e outra móvel (FRANCHI, 2015).

2.3.4.1. SENSOR INDUTIVO

Mecanismo composto por um núcleo de ferrite envolvido por uma bobina, circuito oscilador, e um conjunto amplificador de sinal.

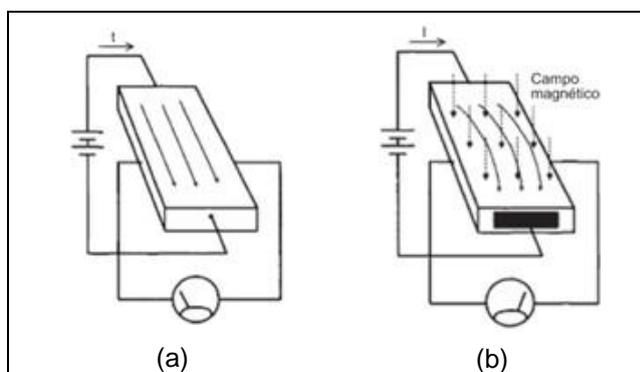
Seu funcionamento baseasse na variação do campo eletromagnético, gerado pelo oscilador em conjunto com a bobina do dispositivo. Ao haver passagem de material metálico pelo campo, ocorre diminuição de sua intensidade. Havendo queda deste sinal, o sistema dispara informações de sinal elétrico. Nos modelos de corrente contínua, de três ou quatro fios, o circuito amplificador – formado por transistores, podem ser do tipo PNP ou NPN (FRANCHI, 2015).

2.3.4.2. SENSOR DE EFEITO HALL

Sensor que teve seu princípio descoberto pelo cientista Edwin Herbert Hall em 1879. Considerou-se que quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à uma superfície metálica (Figura 10.a) no sentido de escamento da corrente, há estímulo do aparecimento de tensão no condutor, conforme indicação (Figura 10,b). De modo haver haja reversão da polaridade do campo magnético, o

sentido de corrente elétrica se inverte e a tensão é proporcional ao campo magnético (FRANCHI, 2015).

Figura 10 - princípio físico do efeito Hall. (a) sem aplicação de campo magnético; (b) com aplicação de campo magnético.



Fonte: FRANCHI, 2015.

Em controle de posição, de atuadores lineares ou rotativos, o sistema de efeito Hall é empregado. Nesse sensor, um elemento magnético é fixado a um elemento fixo, de forma a capturar variações de movimentação de objetos ou meios metálicos.

2.3.5. MEDIÇÃO DE PRESSÃO

A pressão pode ser definida como a relação da força exercida sobre uma área. A força exercida por fluidos devido ao seu peso gerado, como a pressão atmosférica aplica sobre a terra, é um exemplo de pressão aplica (FRANCHI, 2015).

Há conhecimento e embasamento científico para detecção dos fenômenos que os corpos sofrem com as mudanças física no ambiente, uma delas, diretamente associada a esforços de trabalho mecânico é a pressão, para medições desses esforços é empregado medições de sistemas de interferência indireta a estes esforços, como o uso dos strain gauge. Logo a medição de pressão necessita de técnicas diferentes dependendo de um mesmo sistema físico em alguns casos, como o uso de cristais piezoelétricos.

2.3.5.1. EXTENSÔMETRO (STRAIN GAUGE)

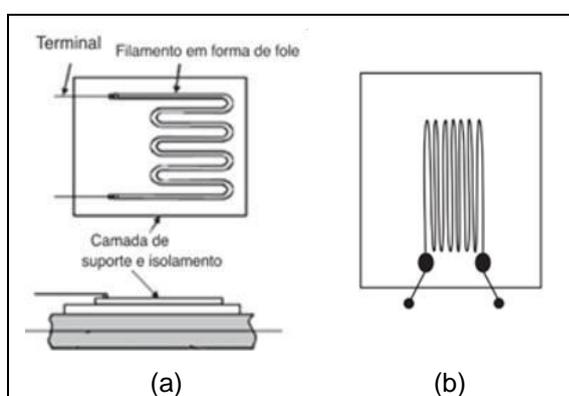
Dispositivos empregados em medições de peso e pressão. Baseasse no princípio na extensão de uma resistência quando submetidos a uma pressão. Seu uso

pode chegar a uma precisão de 50 μ m e são habitualmente empregados como complemento de outros transdutores para medição de pressão (FRANCHI, 2015).

São sensores de baixo custo, ocupam pequenas áreas (em relação a aplicações de peças industriais de grande porte). Seu material de fabricação é em grande maioria liga de cobre-níquel e manganês, mas pode-se aplicar materiais que tenham um fator gauge maior (FRANCHI, 2015).

O arranjo construtivo do sensor consiste no tradicional metal de resistência colocado em um formato “zigue-zague” fixado a uma base flexível (figura 11.a), ou em formato de filamento (Figura 11.b).

Figura 11 - (a) arranjo tradicional de strain gauge. (b) sensores em formato de filamento.



Fonte: FRANCHI, 2015.

2.3.5.1.1. EXTENSÔMETRO PARA MEDIÇÃO DE TORQUE

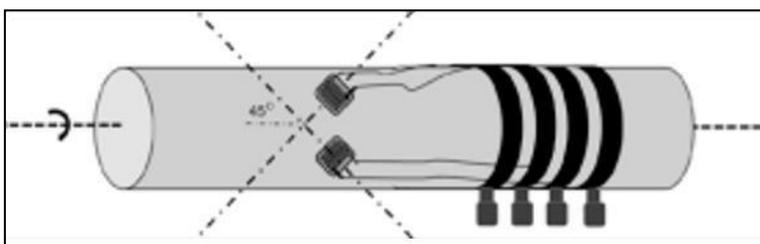
A medição de torque em motores, se faz necessária para implantação de sistemas de automação, e gerenciamento de funcionalidades de sistema de desempalo ou proteção. A extensometria consiste na técnica experimental para medição da deformação empregado a um esforço (NATIONAL INSTRUMENTS, 1998).

Na medição de torque, esforço do eixo mediante esforço, se tem a necessidade de coleta das informações do extensômetro fixado ao eixo. Escovas de grafite são posicionadas, de modo a possibilitar o contato do circuito, no qual o strain gauge terá seu valor de deformação medido, bem como o recebimento de sinais de leitura da tensão do do sensor (BORGES, 2015). A medição de torção via anéis coletores, permite a coleta da medição de torção, com o eixo em rotação. Considerando que os anéis dos coletores (parte móvel) e as escovas responsáveis pelo contato do anel com

os sensores móveis e fixos ao eixo, sejam a parte crítica do sistema, pelo desgaste das escovas, aquecimento devido ao atrito do sistema e ruído constante durante ao uso (BORGES, 2007; CHEONG et al., 1999).

Na Figura 12, é apresentado um sistema de medição de torção via anéis coletores, no qual sensores de extensômetros são fixados no eixo que sofrera esforços.

Figura 12 – medição de torção via anéis coletores.

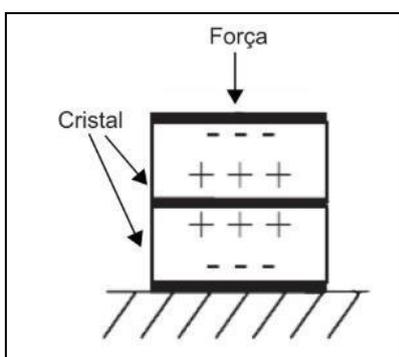


Fonte: BORGES et al., 2015.

2.3.5.2. PIEZOELÉTRICO

Ao aplicar pressões ou forças em determinados sentidos em cristais, há comportamento elástico como resposta (FRANCHI, 2015). Essa deformação equivale a produção de um potencial elétrico, que resulta em fluxo de carga elétrica por instantes de tempo nas faces contrária do cristal (Figura 13).

Figura 13 - cristal piezoelétrico.



Fonte: FRANCHI, 2015

A pressão de atuação no sensor colocado em um diafragma gera um a resultante de sinais elétricos, proporcional a força de atuação e por consequência da

deformação. Destaque destes cristais em sensores, nos quais dispensam alimentação, bastando apenas a medição do sinal de tensão.

Na Figura 14, é apresentado um modelo de transmissor de pressão para líquidos vapores e gases, no qual exemplifica a atuação do princípio do piezoelétricos em conversão de grandezas físicas.

Figura 14 - transmissor de Pressão para líquidos vapores e gases



Fonte: <https://www.contechind.com.br>.

2.3.5.2.1. PIEZOELÉTRICO PARA MEDIÇÃO DE TROQUE

Embora a técnica de extensômetros seja mais empregada na medida de deformação micrométricas, também há possibilidade do uso de elementos piezoelétricos e de magnéticos-elásticos para tal instrumentação.

O efeito de aplicação de esforço mecânico sobre o elemento piezoelétrico, resulta no aumentando do campo elétrico em uma determinada direção. O uso de celular de medição de carga, são implementadas na medição do valor resultante de esforços de cisalhamento negativo ou positivo a carga, devidos ao momento gerado pelo eixo motriz medido (BORGES et al., 2015).

2.3.6. MEDIÇÃO DE VAZÃO VOLUMÉTRICA

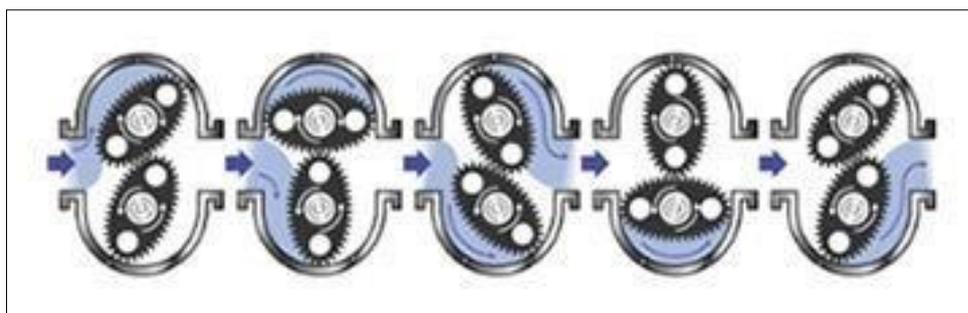
A medição de vazão volumétrica, é aplicada a quantificar substancias em estado líquido ou vapor, ou estado intermediário entre esses. Visa a relação volumétrica de substancia a ser transportada em determinado meio, em função do tempo (FRANCHI, 2015).

2.3.6.1. MEDIDORES DE DESLOCAMENTO POSITIVO ROTATIVOS

Medidores de vazão por Deslocamento Positivo são equipamentos para medição de vazão de contato direto com o fluido. A medição é feita por meio da compressão do fluido entre os componentes rotativos encapsulados dentro do sistema – compressão dada pelo giro dos os pistões rotativos na direção de saída do sistema. Para correto medição, há um contador que mede o volume de gás em metros cúbicos em operação continuamente, de forma que o giro o rotor é diretamente proporcional à taxa de vazão, uma vez que a vazão de fluido é consequência da rotação (Aerzener®).

Na Figura 15, é apresentado os estágios em que o sistema de medidor de deslocamento positivo rotativo opera, de forma que se iniciando o processo, analisando as imagens da esquerda para direita e respeitando o sentido das setas, tem-se a compressão do fluido de forma forçada para saída (sentido à direita) de forma a acompanhar a movimentação dos rotores.

Figura 15- medidor de gases - pistão rotativo.



Fonte: <https://www.aerzen.com/de.html>.

2.4. REDES DE COMUNICAÇÃO

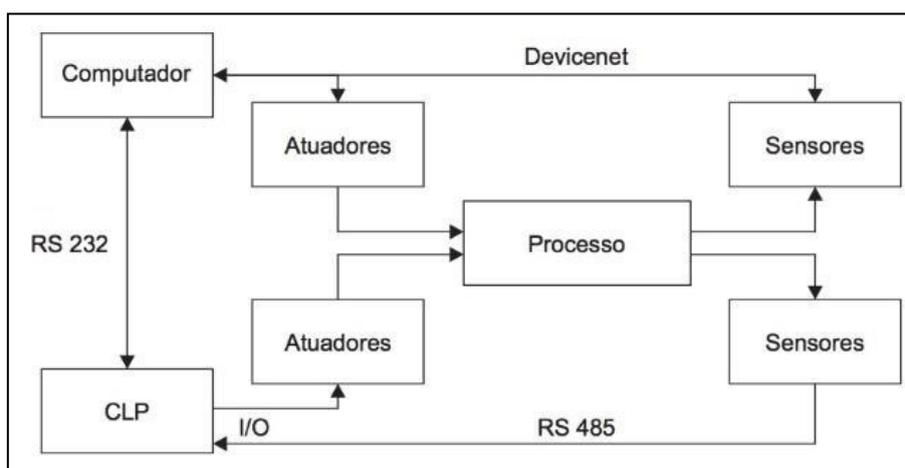
Os processos industriais, demandam muitos elementos de controle e de atuação, nos quais geram quantias elevadas de dados. Desta forma a criação de tecnologias que conciliem a união de dispositivos para determinado proposito, gera um sistema de alta complexidade, e que necessite haver trafego de dados constantemente.

A arquitetura de comunicação e controle, capaz de integrar dispositivos, equipamentos em processos, surge com a finalidade de uma rede de comunicação industrial (CALIXTO, 2015).

Tanenbaum (2010), compara redes como uma organização em pilhas de camadas, com disposição uma sobre as outras. A camada tem características próprias, como nome, conteúdo e funcionalidade – sendo seus comportamentos comparados a máquinas virtuais, nos quais oferecem determinados serviços à camada que está a um nível superior.

Na automação de processos e sistemas, necessita-se de troca de informações entre dispositivos (sendo estes sensores ou atuadores), controladores e computadores. Na figura 16, ilustra-se exemplo básico de comunicação entre elementos de automação.

Figura 16 - exemplo de comunicação em um processo.



Autor: FILHO, 2014.

Nesta rede, o CPL troca dados com o computador, por meio de comunicação serial RS232. De forma paralela, recebe informações de sensores e comanda atuadores. Senso que o computador acompanha a atuação dos dispositivos que estão ligados à rede (formando um sistema supervisor).

2.4.1. COMUNICAÇÃO SERIAL

A comunicação serial é do tipo a ponto a ponto, de forma que a família RSxxx, é predominante usada nesta tecnologia. A nomenclatura RSxxx, está vinculada as

características elétricas da transmissão e o formato digital da mensagem a ser transportado. As especificações mais empregadas são a RS232, RS422 e RS485 (Tabela 2) – no qual a primeira utiliza níveis de tensão para trafego de mensagens e os demais níveis de corrente (FILHO, 2014).

Tabela 2 - características e especificações RS232, RS422 e RS485.

Característica técnica	RS232	RS422	RS485
Tipo de linha de transmissão	Desbalanceado	Diferencial	Diferencial
Nº máximo de transmissores	1	1	32
Nº máximo de receptores	1	10	32
Comprimento máximo de cabos (m)	15,2	1200	1200
Taxa de transmissão máximo	20 Kb/s	10 Mb/s	10 Mb/s

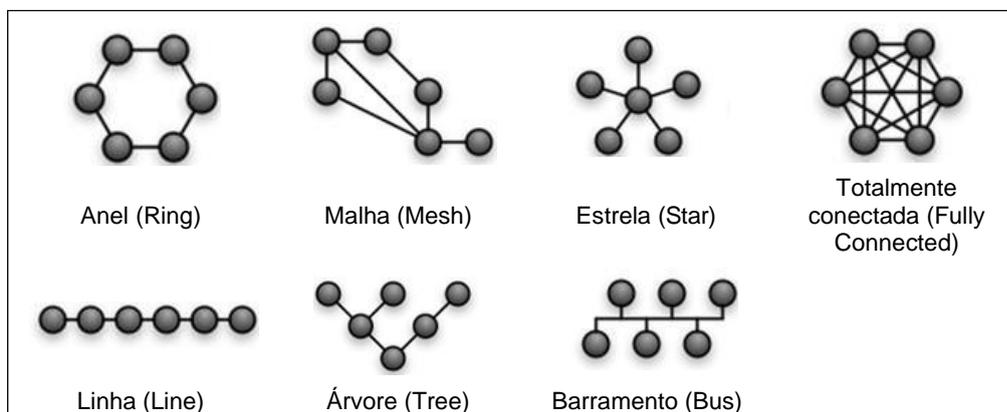
Autor: Adaptado: HAWKE, 2014.

A família RSxxx, são meios físicos de transmissão que se predomina pelo uso de fios de cobre, embora apliquem-se a demais meios. A especificação RS485 é a mais utilizada em meios de automação industrial – possibilitando conexões de até 32 dispositivos por rede, controladas na configuração mestre/escravo. Sendo preciso um protocolo para administração do fluxo de informações (FILHO, 2014).

2.4.2. TOPOLOGIA DE REDE

As redes são formadas por inúmeros dispositivos interligados, de forma que um pequeno conjunto destes, pode-se denominar LAN (Local Área Networks), e um conjunto de redes LAN, denomina-se de WAN (Wide Área Networks). A disposição do barramento que conecta os elementos de uma rede pode ser classificada de acordo com suas disposições (Figura 17), de modo a unirem sensores, atuadores, controladores e computadores, em uma rede (FILHO, 2014).

Figura 17 - topologias de redes.



Autor: Adaptado: LASALLE, et al; 2014.

2.4.3. PROTOCOLOS DE REDES

Segundo Axelson (2007), protocolos de rede são regras que definem o comportamento de algoritmos, especificações técnicas e funcionais para os elementos de rede, para administrar a comunicação de dados entre seus dispositivos; a maioria dos protocolos são baseados pelo padrão OSI (Open System Interconnection) - ferramenta que descreve as particularidades de hardware e software encontrados em uma rede, desenvolvido pela ISO (International Organization for Standardization).

Existem no mercado protocolos de propriedade e outros livres. Tiveram surgimento a partir dos anos de 1980, e em diferentes países. Destaca-se o fato de cada protocolo ter sua recomendada de aplicação, características próprias e limitações técnicas. Como exemplos de protocolos com aplicados difundida temos: PROFIBUS, Foundation Fieldbus, Modbus; CAN - Controller Area Network, DeviceNET, Ethernet IP, entre outros (FILHO, 2014).

2.4.3.1. PROTOCOLOS MODBUS

Modicon Industrial Automation Systems em 1979, publicou o desenvolvimento do protocolo Modbus, para utilização em controladores lógicos programáveis (CLPs), e posteriormente tornou-se um protocolo aberto. Sendo um dos protocolos mais antigos no uso de CLPs em redes industriais, utilizando portas seriais (NOGUEIRA, 2009).

O protocolo tem seu funcionamento baseado no tráfego de dados destinado ao endereçamento de cada dispositivo vinculado à rede, o receptor receberá os dados

ao reconhecer a mensagem endereçada a ele, de forma a extrair os dados endereçados (MODICON, 1996).

Como padrão o Modbus utiliza comunicação via, portas seriais RS232, técnica mestre-escravo, onde apenas o dispositivo mestre pode iniciar a transmissão, de forma que os escravos respondam com envio de dados requeridos para o mestre, ou execução de ações; o dispositivo mestre pode endereçar para escravos de forma individual ou iniciar uma transmissão a vários dispositivos (MODICON, 1996).

A transmissão de dados do protocolo é classificada em Modbus RTU, onde os dados são transmitidos em forma binária, ou Modbus ASCII, que transmitem os dados em texto. Além da configuração do modo de transferência via porta serial, deve-se configurar os parâmetros de taxa de transferência, paridade, entre outros (ATHAVALE, 2005).

Baseando-se no uso contínuo de mais de 30 anos no mercado, Calixto (2015), declara que o padrão RTU tem seu desempenho elevado em comparação ao ASCII, em aspectos de segurança, transmissão de informação e rapidez, tornando seu uso predominante.

A Quadro 4, resume algumas características técnicas do uso do protocolo Modbus:

Quadro 4 - resumo das características do Modbus

Modbus	
Origem	EUA, 1979
Distância máxima com cabos	1200m
Método de comunicação	Mestre/escravo
Taxa de transmissão	9,6 a 115,2 Kb/s
Tamanho dos dados	250 bytes
Número máximo de estações	246 por rede
Aplicações	Predomina em aplicações CLPs, com sensores e atuadores

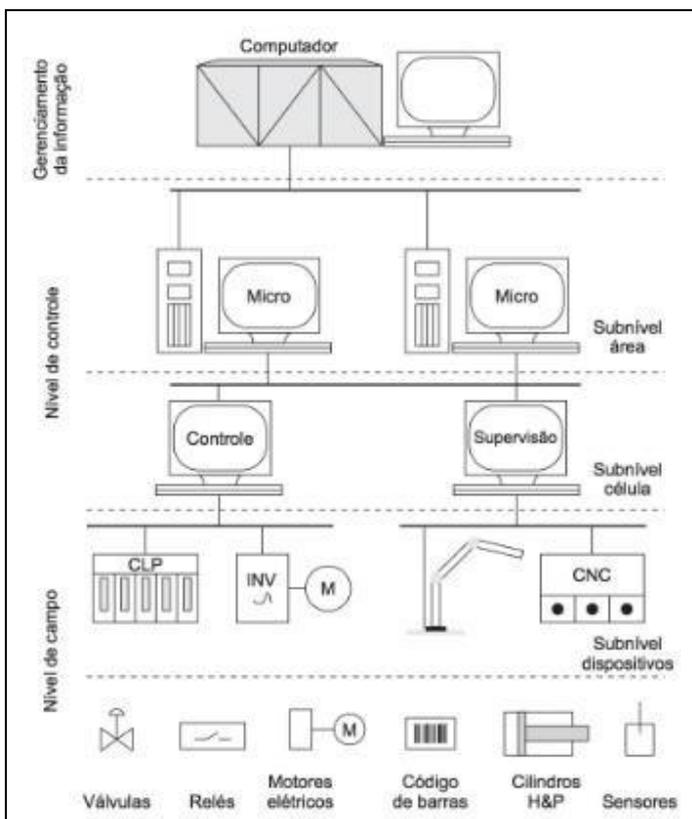
Autor: Adaptado: FILHO, 2014

2.4.4. NIVEIS DA AUTOMAÇÃO

Segundo Filho (2014), a automação industrial é estruturada em níveis hierárquicos. No qual cada nível possui requisitos específicos para conexão à rede. Na Figura 18, é apresentada uma ilustração desta hierarquização.

- Nível de campo: é o nível inferior, onde se localiza a atuação de elementos como CLP, CNC, controladores, sensores e controladores - sendo que a rede dentro desse nível é denominada barramento de campo (fieldbus) - sistema inicialmente constituído de arquitetura de comunicação ponto a ponto, mas que evoluíram, e atualmente se constituem como elementos da rede.
- Nível de controle: dividido em célula e área. Informações transmitidas com pacotes maiores, circulação em programas, parâmetros e dados, que demandam processamento em tempo real - nesse nível a rede costuma ser denominada devicebus. O processo de operação manual, consiste em atividades como funções de partida, parada normal, parada emergencial, ajustes de parâmetros, controle da produção, entre outros.
 - Nível de fábrica: ou denominada planta industrial, onde ocorre o gerenciamento de informações dos níveis inferiores (níveis de controle), ou seja, sistema de automação industrial. Nível com fluxo de informações elevado, composto por programas e dados sobre planejamento, programação e controle da produção.

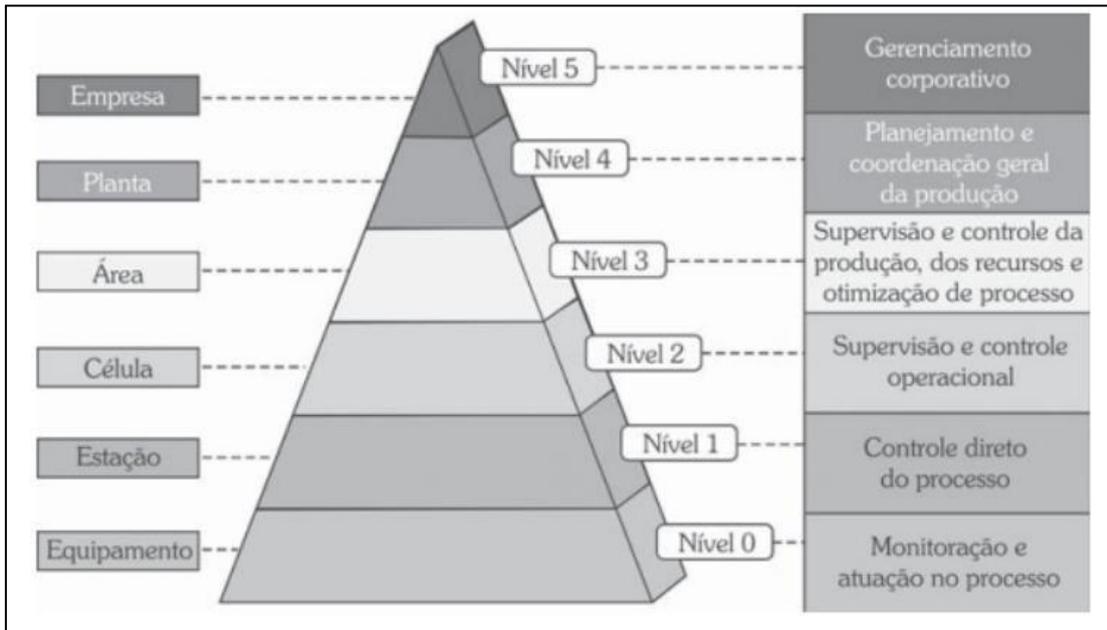
Figura 18 - hierarquia de um sistema de automação industrial.



Autor: FILHO, 2014

Para Capelli (2013), as classificações dos níveis da automação foram mais detalhadas, identificados em cadeia hierárquica em uma pirâmide, com 5 níveis de processos (Figura 19).

Figura 19 - pirâmide da automação industrial.



Autor: CAPELLI, 2013

- Nível 0: base da pirâmide, estão situados os equipamentos próximos dos produtos, como sensores e atuadores. Sendo que o fluxo de informações é pequeno em relação aos níveis superiores, demandando, porém, maior velocidade.
- Nível 1: atribuem-se aos equipamentos de processo, atuam diretamente na fabricação.
- Nível 2: consiste em as células integradas a manufatura, formando microcadeias produtiva, ao invés de controles processuais, tem-se um operacional.
- Nível 3: constitui sistemas de supervisão e controle dos recursos, visando otimização de processo.
- Nível 4: ocorre o controle geral do processo, de modo que hardwares lidem com maiores fluxos de informações gerados pelos níveis inferiores, formando redes de computadores que controlam toda a planta.
- Nível 5: constitui a gestão estratégica da empresa.

2.4.4.1. SISTEMA SUPERVISÓRIO

Sistemas de supervisão e aquisição de dados, ou denominados, SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), são softwares capazes de gerar aplicações de monitoramento e controle de processos por meio de drivers, servidores, módulos de entrada e saída ou CLPs (CAPELLI, 2013). Havendo vários fornecedores destes softwares que possibilitam desenvolvimento de interfaces supervisórias customizadas de aplicações industriais de fabricação ou na área de processo (FILHO, 2014).

Sistema classificado no nível de controle (FILHO, 2014), ou nível 2 – Supervisão e controle operacional – célula (CAPELLI, 2013).

Sistema aplicado para aumento na vantagem competitiva de empresas em seus processos, visando melhoria nos pilares de qualidade, redução dos custos operacionais e melhoria de desempenho de produção. Fornecendo funcionalidade de lista e relatórios, aplicações de sistemas de alarmes, acesso e variáveis que ilustram ações em tempo real de determinado processo (CAPELLI, 2013).

3. ESPECIFICAÇÕES DE FUNCIONAMENTO DO SISTEMA IMPLANTADO

O sistema para ensaio de motor é composto de subsistemas com funcionamentos independentes que operam em conjunto. Na Figura 20 é apresentado o sistema de motor (foco de estudo) com seu eixo de trabalho ligado ao dinamômetro. Sendo que o motor recebe instrumentação por meio de sensores de temperatura, pressão e rotação, que transmitem sinais ao painel de instrumentação – que se emprega como interface homem-máquina (IHM).

Figura 20 - sistema de ensaio: motor anexado ao dinamômetro.



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

O painel de instrumentos (Figura 21) é composto por 16 indicadores digitais com informações vinculadas a parâmetros de funcionamento do motor, e dois indicadores analógicos, responsáveis pelo acompanhamento das informações de tensão e corrente das bobinas de incitação do sistema do dinamômetro – visto que, seu funcionamento baseia-se no princípio de corrente parasita.

Figura 21 - painel de instrumentos.



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

3.1. MOTOR DE TESTE

O sistema para ensaios de motores por meio do dinamômetro comporta maquinário de capacidade de até 160kW de potência, porém para fins didáticos a planta conta com o motor de ciclo Diesel fixo ao sistema (Figura 22).

O modelo Buffalo® BFDE 18.0 Termossifão, possui aplicações genérico em sistema, de motobombas, motogeradores, equipamentos de jardinagem, pequenas colheitadeiras, e outras máquinas em geral.

Motor diesel convencionais, possuem características que contribuem para uso didático em ensaios, pois apresentam alta potência de saída, maior resistência térmica ao freio, melhor eficiência, baixo consumo de combustível e alta confiabilidade em comparação com os motores a gasolina. No entanto, os motores a diesel têm desvantagens, como elevação de temperatura na combustão, altas porcentagens de emissões devido à altas demandas em energia global, maior incidência de poluentes (EL SHENAWY et al., 2019).

Figura 22 - motor a combustão – diesel | Buffalo® BFDE 18.0 Termossifão.



Fonte: <http://www.buffalo.com.br>.

Na Tabela 4, são apresentadas as especificações técnicas do motor utilizado em laboratório. O fato de ser de ciclo Diesel quatro tempos, refrigeração a ar, monocilíndrico e apresentar torque de 6,7 kgf.m, resume parâmetros cruciais a serem considerados em testes de desempenho e aplicações.

Tabela 3 – especificações Motor BFDE 18.0 Termossifão.

Motor BFDE 18.0 Termossifão			
Potência Nominal	17.4 C.V. a 2200 RPM	Ruído 7m Distância	80 dB(A)
Diâmetro Pistão	105 mm	Peso	160 kg
Curso Pistão	115 mm	Dimensões CxLxA	920 x 430 x 740 mm
Cilindros	1	Consumo Médio	3,5 L/h
Cilindrada	996 cm ³	Sistema de Partida	Manual e Elétrica

Taxa de Compressão	17:01	Lubrificação	Forçada por bomba de óleo
Torque Máximo	6,7 kgf.m a 1800 RPM	Refrigeração	A água por Termossifão

Fonte: <http://www.buffalo.com.br/?link=produto&id=227>.

3.2. DINAMÔMETRO EMPREGADO

O dinamômetro utilizado possui princípio construtivo e de funcionamento de um dinamômetro de corrente de Foucault, sendo da série DynoPerform 160, AVL© (Figura 23). Seu emprego, suporta motores de até 160kW de potência e pode operar em faixa de rotações de até 10.000 RPM.

Figura 23 - dinamômetros de corrente parasita | AVL© DynoPerform 160.



Fonte: Fonte: <https://www.avl.com>.

O campo magnético de trabalho no rotor, exerce o surgimento de correntes de Foucault na superfície das câmaras de refrigeração - devido as mudanças de carga muito rápidas, por meio da tecnologia IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) com controle PWM (Pulse Width Modulation), empregados no sistema de controle dos indutores das bobinas responsáveis por criar a correntes de Foucault. Processo que converte a energia mecânica do motor em energia térmica.

Portanto a energia térmica gerada é absorvida pela água de resfriamento que pode ser resfriada retroativamente através de uma torre de resfriamento (Figura 24) - como é o caso da água de resfriamento para o motor de combustão. A torre de resfriamento se torna obrigatório para o adequado funcionamento do DynoPerform 160.

Figura 24 - torre de resfriamento | AVL© LSE 410.



Fonte: <https://www.avl.com>.

Na Tabela 5, é apresentado as principais características técnicas e de funcionamento do dinamômetro elétrico Alpha 160. Suas especificações de funcionamento, estão diretamente ligadas a dependência do uso do sistema de arrefecimento por meio do sistema da torre.

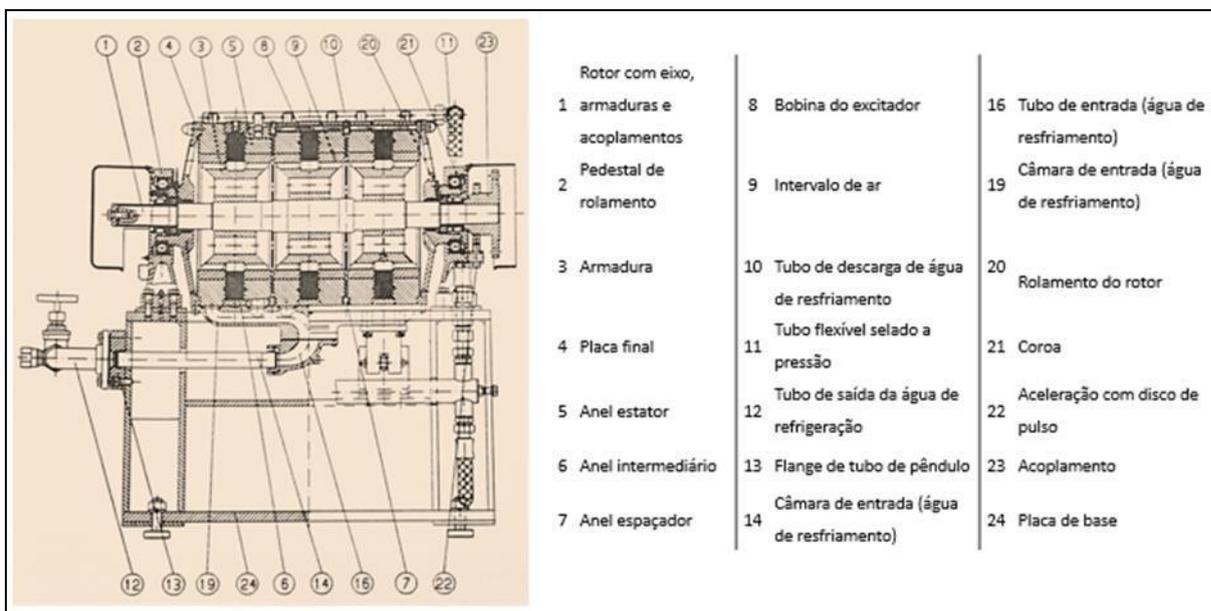
Tabela 4 - configurações técnicas dinamômetro elétrico Alpha 160.

Dinamômetro Elétrico Alpha 160	
Potência admissível	160 kW
Faixa de velocidade	10.000 min ⁻¹
Torque admissível	400 Nm
Momento de inércia em massa com água	2196 kgm ²
Quantidade específica necessária de água de resfriamento (qs)	271 /kWh (Δt 30°) 211 /kWh (Δt 40°)
Quantidade mínima específica de água de resfriamento (qs)	201 / kWh
Fluxo de água admissível (máx)	3,36 m ³ /h (Δt 40°)
Quantidade mínima de água de resfriamento sob condições de carga parcial (min)	$\geq 0,3 \times qs \times P_{máx}$ (ver curva de fluxo de água DKL)
Folga de ar entre o estator e o rotor (ponto de ajuste)	[0,4730 mm ; 0,4250]
Carga proporcional máxima no cantilever (final do acoplamento)	10 kg / 10.000 min ⁻¹ 17 kg / 7.500 min ⁻¹

Fonte: Adaptado: ZÖLLNER©, 1997.

Na Figura 25, o fabricante apresenta uma visão do desenho técnico em corte do projeto, com as indicações dos principais componentes presentes do sistema. Evidencia-se as partes de trabalho do sistema elétrico, mecânico e de interações ao sistema de arrefecimento.

Figura 25 – vista em corte do dinamômetro AVL© DynoPerform 160.



Fonte: ZÖLLNER®, 1997.

3.3. SISTEMA DE COMPRESSOR DE AR

Visto que o motor em seu processo de combustão necessita de oxigênio, é anexado a admissão de ar do motor, o sistema responsável por fornecer a massa de ar necessária e realizar a medição envolvida.

O sistema de admissão de massa de ar e sua medição, opera por meio de compressão do gás por rotores, presentes no sistema de deslocamento positivo rotativo (Figura 26).

Figura 26 - medidor de gás de pistão rotativo | Aerzen®.

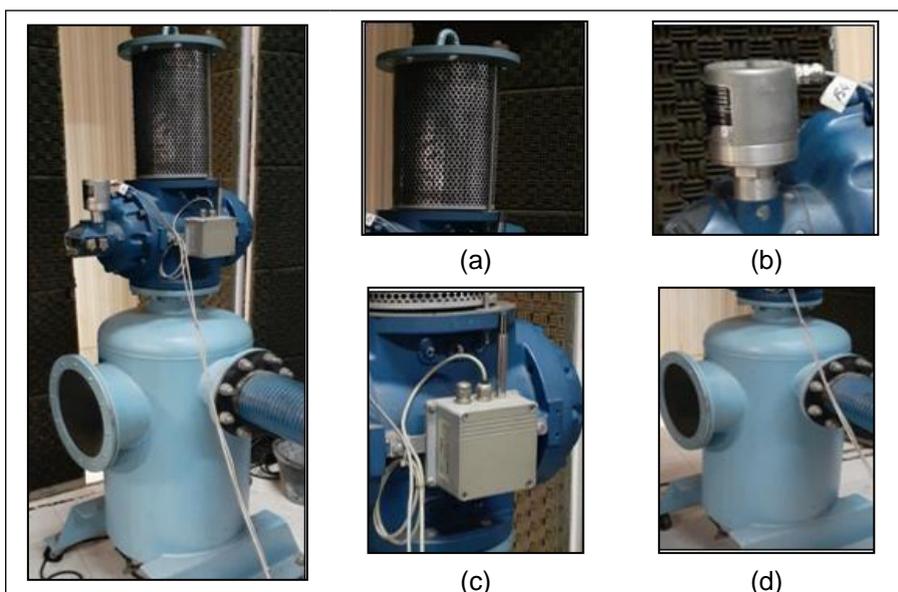


Fonte: <http://www.aerzener.de/>.

Na integra, o sistema conta além do conjunto de rotores e sua carcaça, com conjunto formado por um filtro de ar (Figura 27.a), transmissor de pressão (Figura

27.b), transmissor de temperatura de ar comprimido e sistema responsável por realização de cálculos de volume (Figura 27.c), e um reservatório com função de amortecedor de pulsos (Figura 27.d).

Figura 27 - sistema de medidor de fluxo de gás - pistão rotativo. (a) filtro de ar. (b) transmissor de pressão. (c) transmissor de temperatura e cálculo. (d) amortecedor de pulsos.



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

3.4. BALANÇA PARA MEDIÇÃO DE COMBUSTÍVEL

Para o processo de acompanhamento do consumo de combustível usado em um ensaio: realiza-se a diferença do valor das medições de consumo durante um intervalo de tempo, da massa do reservatório com combustível que alimenta o motor, final e o valor inicial.

Por essas informações, parâmetros relacionados ao consumo do motor são possíveis. Atualmente empregasse a balança Adventurer™ ARD110 (Figura 28) para medições nos ensaios.

Figura 28 - balança Adventurer™ ARD110.



Fonte: <https://br.ohaus.com/pt-BR>.

A balança possui resolução de um centésimo de grama, sendo de aplicação e configuração de uso científico. Na Tabela 6, são apresentadas informações adicionais sobre o equipamento.

Tabela 5 - configurações técnicas balança Adventurer™ ARD110.

Balança Adventurer™ ARD110			
Capacidade	4100 g	Tempo de estabilização	3 segundos
Resolução	0,01 g	Tamanho do prato de pesagem	7.1 / 18 de diâmetro
Repetibilidade	0,01 g	Peso líquido	8.5 / 3.9 lb/kg
Linearidade	± 0.1g	Peso bruto	14 / 6.4 lb/kg

Fonte: <https://br.ohaus.com/pt-BR/AdventurerAnalytical-17#>.

Na Figura 29, apresenta-se o uso do equipamento com pesagem de um galão com combustível, responsáveis por alimentação do motor em uso prático. Sistema que atualmente não está ligado a nenhum sistema auxiliar de leitura e envio de dados, porém possui a funcionalidade de repasse de informações via serial RS232.

Figura 29 - sistema de medição de massa de combustível.



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

3.5. SISTEMA DE TELEMETRIA

O painel instrumental responsável pelo indicador dos parâmetros do sistema, é dependente da telemetria destinado aos indicadores. Para tal processo acontecer são mobilizados vários sensores, submetidos a diferente leitura de sinais. O Quadro 5, apresenta as variáveis a serem medidas, com indicações do sistema de instrumento responsável e unidade de medição de cada parâmetro.

Quadro 5 - sensores empregados no sistema de telemetria.

Sistema de medição	Sistema de instrumentação	Unidade medição
Temperatura de admissão pós compressor	Temopar tipo K (Níquel-Cromo)	°C
Temperatura de escape pré turbina	Temopar tipo K (Níquel-Cromo)	°C
Temperatura de admissão pré compressor	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Temperatura de escape pós turbina	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Temperatura do combustível	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Temperatura da água de entrada do motor	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Temperatura da água da saída do motor	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Temperatura do lubrificante	Termistor tipo PT100 (Platina)	°C
Pressão barométrica	Transmissores de pressão de precisão - modelo PTX 610-1176	Bar
Pressão do compressor	Transmissores de pressão de precisão - modelo PTX 610-1177	Bar
Pressão escape pré/pós turbina	Transmissores de pressão de precisão - modelo PTX 610-1178	Bar
Depressão do filtro de admissão	Transmissores de pressão de precisão - modelo PTX 610-1179	Bar
Pressão lubrificante	Transmissores de pressão de precisão - modelo PTX 610-1180	Bar
Força frenagem (torque)	Célula de carga baseada em piezoelétrico – Modelo U2A	kgf.m
Vazão do ar admissão	Sistema baseado em medidor de deslocamento positivo rotativo - transmissor de rotação do rotor e temperatura do ar.	m³/h
Rotação	Sensor de indutivo PNP	RPM
Excitação carga tensão	Voltímetro analógico	V
Excitação carga corrente	Amperímetro analógico	A

Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

3.5.1. SENSORES

Os parâmetros a serem medidos pelos sistemas são temperatura, pressão de gases, movimento de rotação, torque, vazão, tensão e corrente.

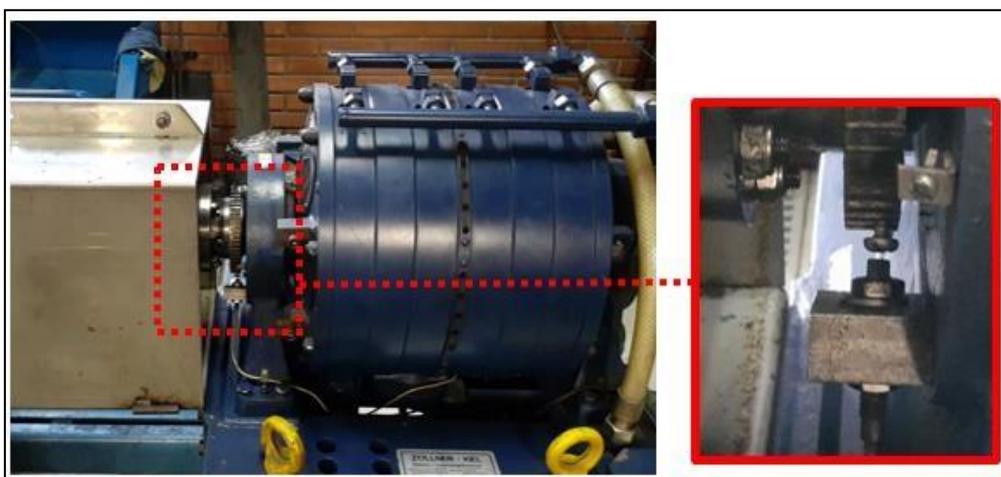
A medição de temperatura elevada, requer sensores com características construtivas adequadas, casos onde se aplicou o uso de termopares tipo K, na medição de temperatura de escape de pré e pós turbina, da parte responsável por admitir gases quentes. As demais medições de temperatura, por apresentarem faixas menos elevadas de medição, optou-se por usar termistores tipo PT100.

Os sensores de temperatura transmitem informações por meio de barramento de cabos blindados de cobre, e sua medição é por meio de contato direto as superfícies de medição.

O sistema responsável por transmissão de dados de vazão foi apresentado do Tópico 3.3, a geração de informação do sistema, requer um sistema mais complexo, com a necessidade de sistema embarcado para cálculo de precisão da informação e sua transmissão.

A medição de revoluções por minuto (RPM) do sistema de eixo motriz do motor, é realizado por um sensor de indutivo PNP, localizado no eixo de acoplamento do dinamômetro com o motor (Figura 30).

Figura 30 - sistema de medição de revoluções por sensor indutivo.



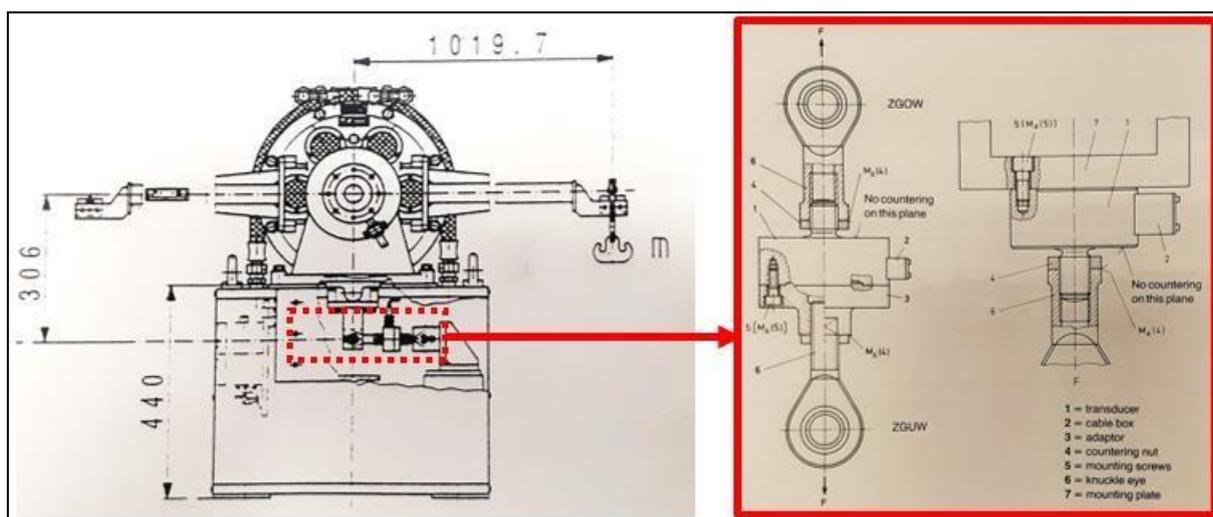
Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

Para melhor compreensão do sistema de medição de força, a Figura 31 apresenta por meio de desenho técnico a parte de vista frontal do dinamômetro, o

local onde é posicionado a célula de carga responsável por transmitir sinais de esforço mecânico.

Foi empregado uma célula de carga modelo U2A, com capacidades máximas que variam entre 50 kg e 20.000 kg, sendo de classe de precisão D1 - conforme uma resolução de até 1.000 divisões, padronização baseada na *Organisation Internationale de Métrologie Légale R60* (HBM, 2019).

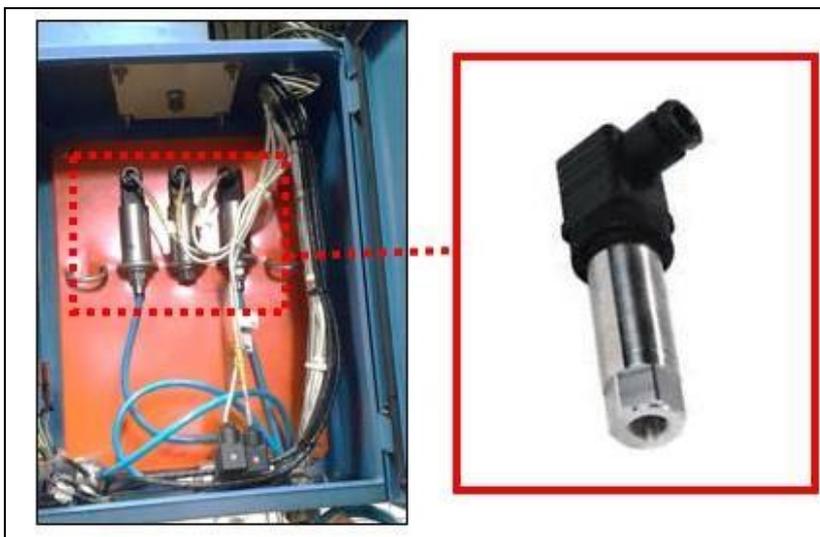
Figura 31 - sistema de medição de força.



Fonte: ZÖLLNER©, 1997.

A medição das variáveis de pressão, são realizadas por meio de 5 transmissores de precisão - modelo PTX 610-1177, nos quais possuem princípio de funcionamento baseado em piezelétricos. Para seu funcionamento, há necessidade de estar posicionados em série ao sistema de tubulação de gás medido, de forma a receberem a compressão exercida pelo sistema de medição. A localização dos transmissores (Figura 32) se encontram em um painel, em uma área próxima ao dinamômetro, onde recebem as mangueiras, responsáveis por direcionar o sistema pressurizado.

Figura 32 – painel de armazenamento do conjunto de sensores medidores de pressão.



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

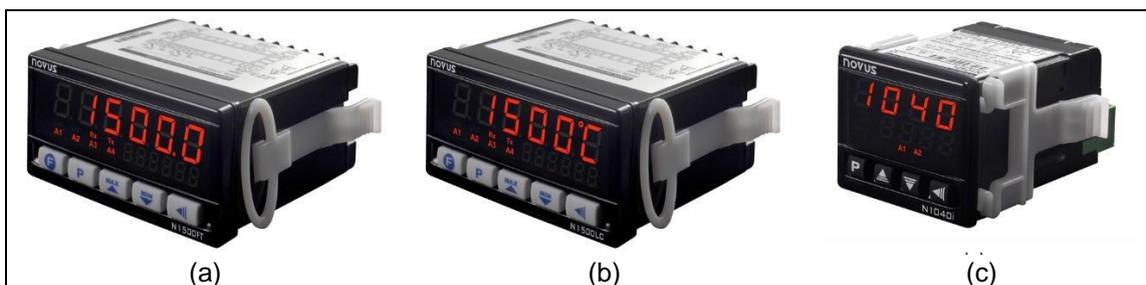
O conjunto de ligação dos sensores de pressão pode ser melhor compreendido por meio do diagrama de ligação dos elementos no Anexo B.

3.5.1.1. PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO

O painel de instrumentação, responsável por informar parâmetros de funcionamento do motor, foi apresentado na Figura 21. Os *displays* usados são da marca NOVUS, e são divididos nos modelos N1500FT (Figura 33.a), N1500LC (Figura 33.b) e N104i (Figura 33.c).

Cada *display* é responsável por receber o sinal de um sensor, seja vinculado a informação da medição de temperatura, pressão, RPM, vazão ou força. As informações recebidas por cada *hardwaver* é tratada, pelas funções embarcadas no dispositivo, nos quais os parâmetros de cada dado imputado são configurados pelo usuário, que na sequencia são apresentados via informações numérica, definindo um sistema de IHM.

Figura 33 - *displays* universais marca NOVUS. (a) N1500FT. (b) N1500LC. (c) N1040i.



Fonte: <https://www.novus.com.br>.

Conforme indicado nos catálogos técnicos do fornecedor NOVUS (www.novus.com.br, acesso em nov. 2019), as principais características técnicas de aplicação de cada modelo são:

- Indicador N1500FT: instalado no projeto para controle dos dados de vazão e rotação. Oferece recursos de indicação, totalização, retransmissão, alarmes e comunicação RS485 (escravo Modbus RTU - opcional). Aceita sinais de pulso (tipo *reed-switch*, NPN, PNP e tensão), "*magnetic pickup*" e 4-20mA. Para correto funcionamento o dispositivo necessita de configurações conforme orientações do fabricante.
- Indicador N1500LC: aplicado para medição de força no sistema de esforço do dinamômetro – pois o Indicador é adequado para sistemas de pesagem com células de carga. Oferece recursos de indicação, totalização, retransmissão, alarmes e comunicação RS485 (escravo Modbus RTU - opcional). Aceita sinais de 4-20mA, 0-20mA, 0-50mV, 0-20mV e -20 a 20mV; possibilita aplicação de função hold, peak hold, tara, zera tara e zero automático. Para correto funcionamento o dispositivo necessita de configurações conforme orientações do fabricante.
- Indicador N1500FT: modelo utilizado para controle dos dados de temperatura e pressão do sistema. Destinado a diferentes tipos de entrada, em específico a sinais de termopares e termorresistências, sendo de lineares de tensão e corrente elétricas – apresentando funções de alarme, offset de indicação, proteção por senha da configuração feita, comunicação serial, indicação em graus Celsius (°C) ou Fahrenheit (°F), comunicação RS485 (escravo Modbus RTU - opcional), dentre outras.

Por meio da documentação técnica fornecida pelo responsável do Laboratório de Termodinâmica, foi possível identificar as configurações de instalação e arquitetura dos elementos de composição do sistema; por meio do diagrama de alimentação e acionamento do sistema (Anexo C), diagrama de alimentação dos displays (Anexo E), arquitetura de ligação dos conjuntos de relés utilizados como chaves de segurança (Anexo F), e arquitetura de rede disponível para comunicação de dados via serial RS485 (Anexo G).

Observou-se a ligação em paralelo dos dispositivos eletrônicos em uma rede de 24 Vcc, e a associação em série dos dispositivos de alarme – comandas por relés.

Cada dispositivo conta com configurações próprias, feitas pelo usuário, baseadas nos parâmetros de orientações técnicas de funcionamento do motor testado. As configurações são necessárias para identificação do sistema de medição associada ao hardware, ou seja, a especificação do tipo do sensor associado. Outro elemento de configuração é a faixa de leitura que acionara o sistema de segurança, que comandara um conjunto de relés. Por fim necessita-se de configuração das opções atreladas aos parâmetros associados a comunicação serial.

4. PRONAJAMENTO DE IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA SUPERVISÓRIO

Neste capítulo será apresentado o software de escolha para desenvolvimento do SCADA, e as tecnologias envolvidas na metodologia de aquisição de dados dos parâmetros de funcionamento do motor em testes no dinamômetro.

4.1. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Visando maximizar a aquisição de dados fornecidos pelo sistema, verificou-se duas fontes de aquisições independentes, uma delas o sistema de pesagem de combustível de alimentação do motor, e a rede formada pelos hardwares do painel de instrumentação. Por meio dos estudos de cada sistema, foram identificados pelas orientações técnicas de manuais que cada sistema possibilita meios de transmissão de informações, utilizando comunicação serial.

4.1.1. CONVERSÃO DE PADRÕES SERIAIS

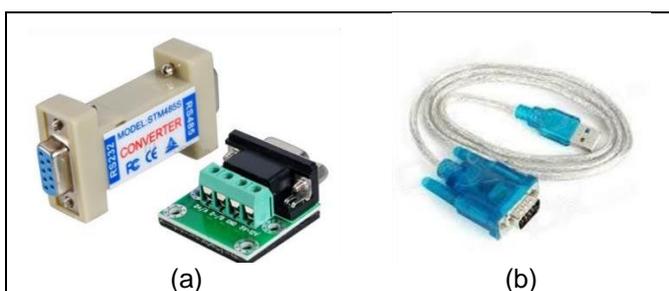
Com base nas informações técnicas do Tópico 3.5.2, identificou-se que os 16 dispositivos de sistema embarcado, que integram o painel de instrumentação, possuem a funcionalidade de transmissores de dados, via serial RS485, com uso do protocolo Modbus. Desta forma a coleta dos dados advindos de cada sensor espalhados no sistema, serão transmitidos pela rede formada, com topologia barramento (*Bus*), conforme apresentado no diagrama do Anexo G.

Baseando-se no diagrama do Anexo G, é identificado três barramentos, “D0” como linha bidirecional de dados invertida, e “D1”, como linha bidirecional de dados, e o GND como ligação opcional que melhora o desempenho da comunicação.

Para tráfego de dados da rede formada pelos dispositivos com modelo serial RS485, até a porta *Universal Serial Bus* (USB) do computador responsável por gerenciamento dos dados, é necessários elementos de conversão.

O elemento principal para conversão é o circuito conversor RS485 para RS232 (Figura 34.a), empregado em conjunto com o cabo conversor RS232 para USB (Figura 34.a). Arquitetura que terá como princípio de alternância de padronizações seriais, a conversão de dados de RS485 para RS232 e por fim RS232 para USB.

Figura 34 - dispositivos conversores. (a) circuito conversor RS485 para RS232. (b) cabo conversor RS232 para USB.



Fonte: (a) <https://www.pless.co.uk/>.

Fonte: (b) <https://www.azob.com.br/>.

O princípio de funcionamento do circuito conversor RS485 para RS232 é baseado nos circuitos integrados (CIs) SN75176B, MAX485 e LM7805, conforme observado no esquemático do Anexo A. Já o conversor RS232 para USB, baseia-se nos CIs FT232AM e MAX213, conforme apresentado no esquemático do Anexo B.

4.1.2. AQUISIÇÃO DE DADOS DOS DISPLAYS UNIVERSAIS

Para utilização dos dispositivos, visando captura dos dados de entrada convertido em informações, sob arquitetura em rede e integrado com o protocolo Modbus, deve-se haver configurações via *software* disponível pelo fabricante. O *software* empregado denomina-se NConfig, versão 1.4.1.12 – a tela inicial da interface pode ser vista na Figura 35.

Figura 35 – tela inicial *software* NConfig, versão 1.4.1.12.



Fonte: NOVUS, 2019.

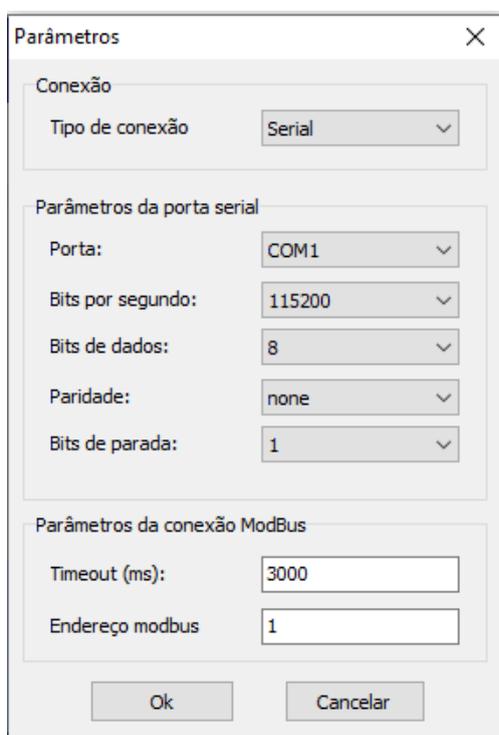
Por meio da ligação individual das portas seriais de cada dispositivo à serial do computador, utilizando o sistema de conversão descrito no tópico 4.1.1. é possível realizar a comunicação dos dispositivos, visando configurar o sistema embarcado e principalmente endereçar de forma individual cada dispositivo, que será presente na rede.

A operação do sistema ocorrerá com a interface de comunicação serial assíncrona RS485, do tipo mestre-escravo, comunicando com o computador supervisor condicionado como mestre, e o indicador sempre como escravo.

A comunicação via interface serial RS485 opcional dos dispositivos permite até 247 indicadores em rede comunicando, operada via 3 fios entre o mestre e até 31 indicadores escravos em topologia barramento, mas podendo chegar em 247 nós com auxílio de conversores, sendo que a máxima distância de ligação é de 1000 metros - diante das especificações do uso da tecnologia, garante-se em análise ao projeto, que as especificações de funcionamento serão operadas sem falhas.

A configuração básica dos parâmetros para comunicação serial, são velocidade de comunicação e o endereço de comunicação do indicador. Tais parâmetros, entre outros são possíveis pelo *software* de edição, na aba de “configurar comunicação”, conforme indicado na Figura 36.

Figura 36 - Aba de configuração de parâmetros - NConfining, versão 1.4.1.12.



Fonte: NOVUS, 2019.

Demais configurações do dispositivo e de comunicação do sistema, via Modbus, seguem via registradores dispostos em uma tabela, fornecida pelo fabricante do dispositivo. Registradores que servirão de base para configurações de parâmetros do sistema de comunicação em rede, que impactará na elaboração da topologia e execução do algoritmo associado ao sistema de supervisão.

4.1.3. AQUISIÇÃO DE DADOS COM A BALANÇA

Segundo informações do manual técnico (Ohaus, 2014), o equipamento permite interação com um computador via Interface serial RS232.

São repassadas poucas informações quanto ao sistema, mas são informados os caracteres que possibilitam funcionalidade, como retorno ações: impressão, tara, Impressão automática mediante estabilidade e exibição de modo atua. Não sendo indicados alguns softwares para comunicação, apenas os caracteres reconhecidos pelo equipamento para execução de comandos.

Seguindo estas indicações serão executados testes para obtenção de dados, por meio de um cabo adaptador serial RS232 para USB. As informações pretendidas visaram obtenção de pesagem em tempo real do consumo de combustível, baseando-se no fato de que o reservatório que ficara sobre pesagem, para integrar os dados no sistema de supervisão.

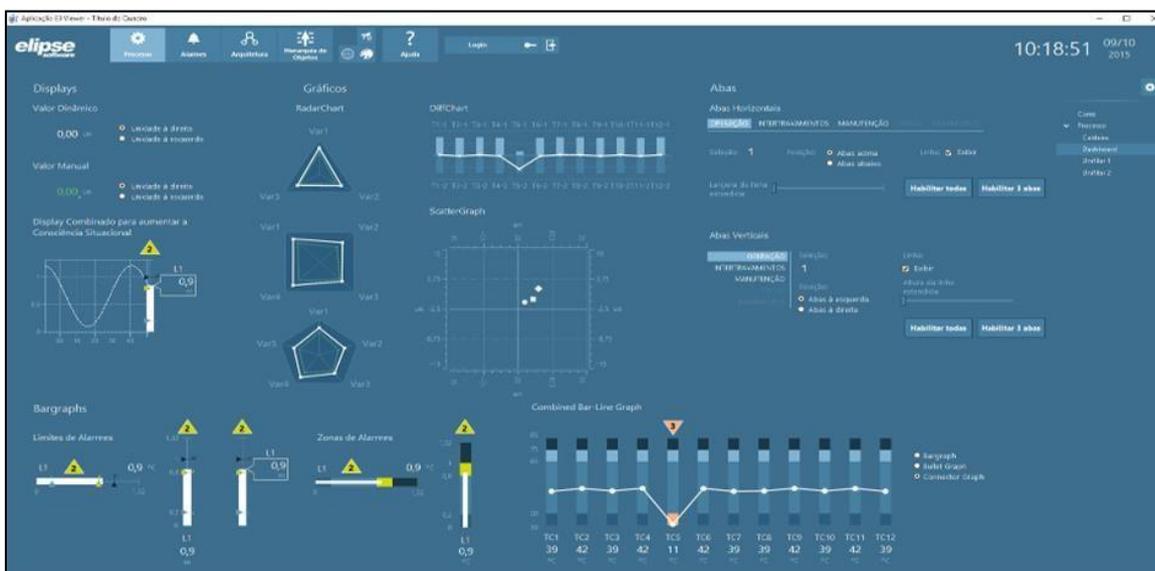
4.2. SISTEMA DE SUPERVISÃO VIRTUAL

O software para desenvolvimento plataforma SCADA foi o Elipse E3, da empresa ©Elipse Software Ltda, escolhido por ser uma plataforma difundida no mercado, líder no mercado Brasileiro, e um produto licenciado para uso da instituição, garantindo a extinção de custos adicionais e o fato de haver demais colaboradores que futuramente possam realizar manutenções ou implementos ao sistema entregue, para uso na planta do Laboratório Térmico.

A plataforma é destinada a criação de sistema de IHM e SCADA, garantindo funcionalidades de monitoramento e controle de processos, garantindo escalabilidade, e fornecimento de consultoria ao desenvolvedor. O desenvolvimento de aplicações pode ser por meio de recursos nativos e funcionais do programa, ou por pequenos procedimentos escritos em linguagem de programação (scripts) própria do programa, denominado de Elipse Basic. O Elipse Basic é associado a eventos, ou seja, no momento em que eles ocorrem, sendo similar outras linguagens de programação, porém com recursos visuais semelhante ao encontrados no Visual Basic.

Um exemplo de aplicação da plataforma, é o desenvolvimento da interface gráfica da Figura 37. Onde são apresentados recursos como gráficos, efeitos visuais, aplicações de formas geométricas e painel de navegação.

Figura 37 - exemplo de interface SCADA.



Fonte: <https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3>.

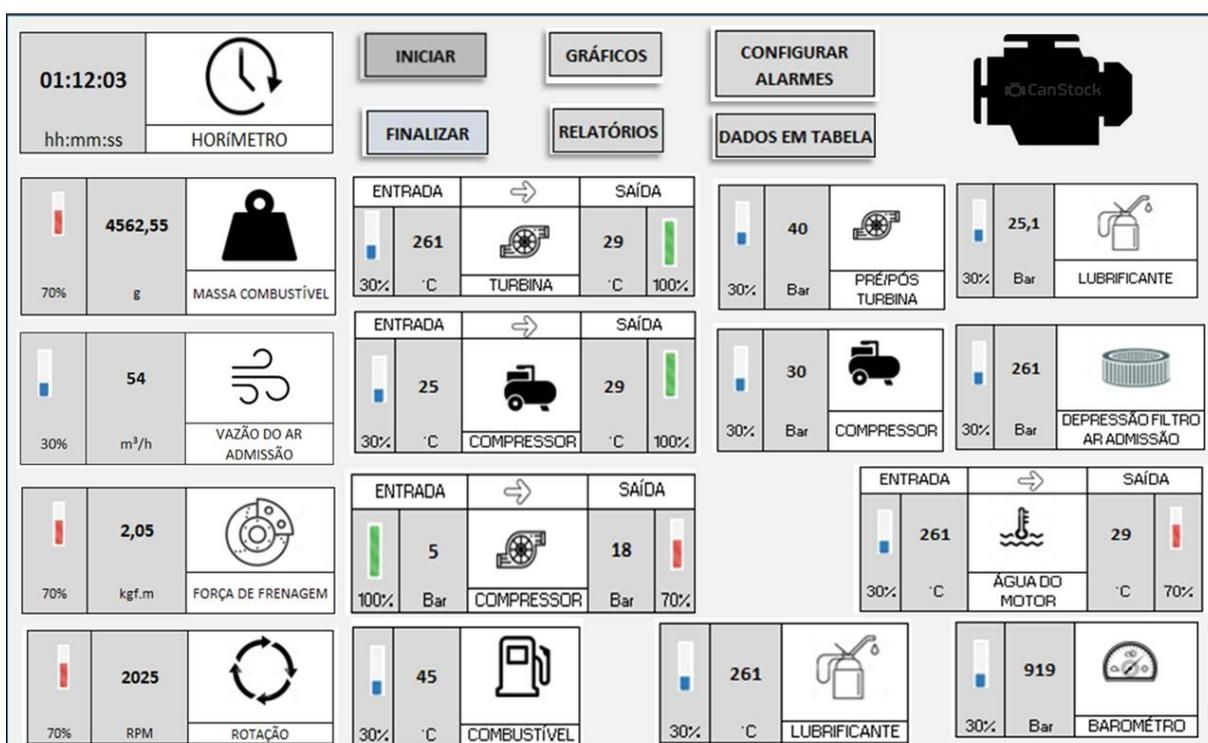
4.2.1. ESTEUTURA FUNCIONAL E GRÁFICA DO SUPERVIRÓRIO

A parte de *layout* do supervisório pretende unir as funcionalidades da plataforma, com ações de interação do usuário com o sistema, tais como a parte de sinóticos animados do sistema de dados dos painéis e funcionamento do sistema dinamômetro-motor, integrar gráficos de tendência de variáveis, abas de configurações e de relatório.

Na Figura 38, é apresentado a proposta inicial de *layout* principal, que fornecerá informações do funcionamento em tempo real das variáveis ligadas ao sistema, associadas a indicadores de variação verticais, relacionadas a faixa de valores numéricos, que podem ser associadas a alarmes caso entrem em determinado valor configurado pelo usuário. Esta interface pretende substituir as informações do atual painel de instrumentação, de forma a integrar as informações dos 16 *displays*, o valor de pesagem de combustível dado pela balança, e adicionar um registro cronológico do tempo de teste – onde haverá um botão para comando de iniciar e finalizar contagem de tempo.

Juntamente com a proposta de união das informações advindas de diferentes subsistemas em uma interface, pretende-se criar um banco de dados para registros das informações, nos quais influenciaram para possibilidade da geração de relatórios, e obtenção de gráficos. Onde é apresentado botões para estas funções (Figura 38), vinculados a proposta.

Figura 38 – Proposta de layout principal.



Fonte: O Autor, 2019.

4.2.2. CONFIGURAÇÃO DE SEGURANÇA

Para correta organização, segurança e utilização dos processos do sistema, será gerado a criação de dois tipos de usuários padrões para o sistema supervisor. De forma que a liberação de cada modo, está vinculado aos recursos de permissão de edição ou visualização disponíveis, formando um nível hierárquico entre eles.

Cada modo terá a liberação de acesso após a inserção de dados e senhas. O usuário hierarquia maior (máster), possui a liberação de edição de parâmetros de dados, como faixas que cada gráfico, alarme ou indicador irá operar, assim como modificar senhas de acesso caso necessário.

O segundo usuário (operador) é destinado apenas a utilização da plataforma, no qual terá o impacto das configurações realizadas pelo usuário máster.

4.2.3. CRIAÇÃO DE TAGS E BANCO DE DADOS

Na interface de desenvolvimento do sistema, cada tag será atrelada a um valor de variável advindas de um dispositivo. No Quadro 5, é apresentado uma descrição de atributos de cada medição do sistema faltando apenas a de pesagem do combustível. Logo pode-se definir que haverá no mínimo 17 tags, responsáveis por receberem informações externas.

Para registros de dados do sistema haverá a necessidade de integração dos dados com o desenvolvimento de um banco de dado. Pelo fato do Eclipse E3, não possuir banco de dados próprio, mas ter suporte nativo ao Microsoft SQL Server, Access e Oracle, optou-se por uma destas soluções. A opção de utilização de Microsoft Access, mostra-se como favorável, visto sua instalação presente nos computadores da instituição e do projeto, fácil configuração, adequado para pequenas soluções, porém em testes práticos deverão ser estudados a existência de instabilidade, caso haja a inserção e exigência de dados maiores que o suportado pelo sistema – razão próxima de 100MB.

4.2.4. VISUALIZAÇÃO DE TENDÊNCIAS E RELATÓRIOS

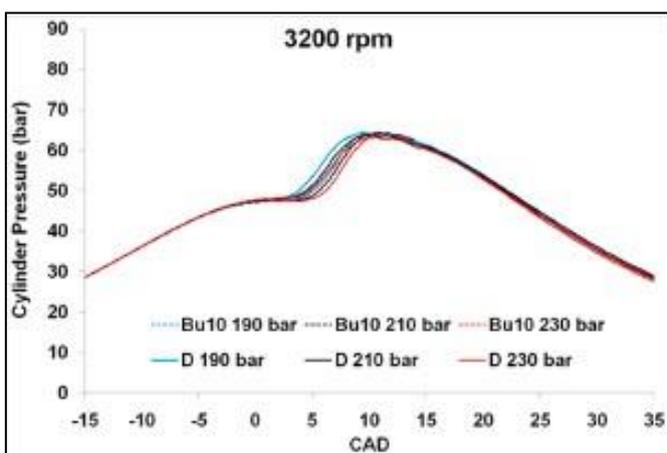
A proposta de painel principal (figura 38), é um exemplo de uso das informações em tempo real, outra aplicação pode ser por meio dos usos destes dados em aplicações de animações, e gráfico de tendência de uma dada variável.

Os gráficos de tendência, é uma forma de apresentação de informações, que possibilitam melhor compreensão para o usuário analisar informações. Os gráficos têm como propósito vincular informações de desempenho e testes dos parâmetros do motor em função do tempo. São elementos que podem estar vinculados a relatórios e ter um modo de exibição específico no desenvolvimento deste projeto.

As possibilidades de dados a serem admitidos para avaliação por meio dos gráficos são diversas, e são atreladas a finalidade de teste realizada. Em seu artigo por exemplo, Emiroğlu (2019) obteve resultados comparativos no desempenho do motor, associando o uso de diferentes combustíveis na variação de taxa de compressão do cilindro. Gráficos foram uma ferramenta fundamental, para base de

seu artigo, conforme exemplo da Figura 39 – onde foi apresentado a relação de desempenho de um combustível, com a variação de taxa de combustão em faixa de rotação constante.

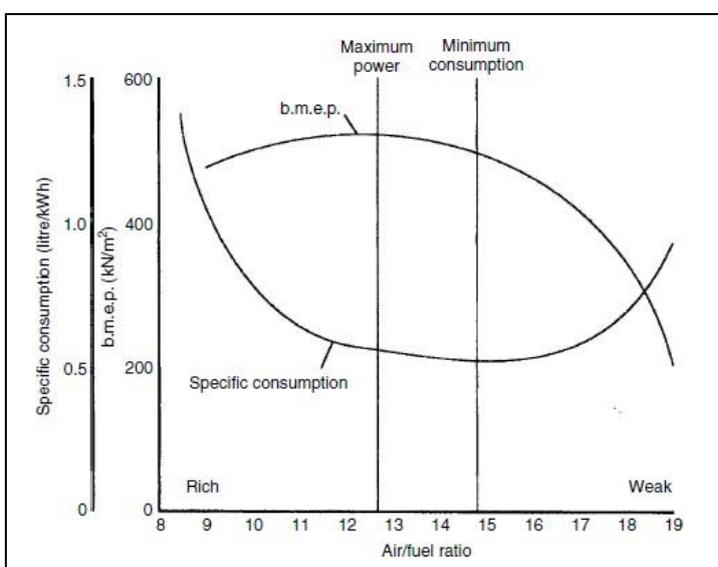
Figura 39 - variação da pressão do cilindro e da taxa de liberação de calor sob diferentes velocidades de acordo com o ângulo da manivela.



Fonte: EMIROĞLU, 2019.

Gráficos de desempenho clássicos, possível de integração ao projeto, são os vinculados a informações de consumo e desempenho de potência (Figura 40). Elementos básicos relacionado a combustão e desempenho do motor, são dados fundamentais, para comprovações técnicas e homologações de resultados científicos, por isso são de grande importância.

Figura 40 - variação da potência e consumo específico de combustível com relação ar / combustível.



Fonte: MARTYR E PLINT, 2007.

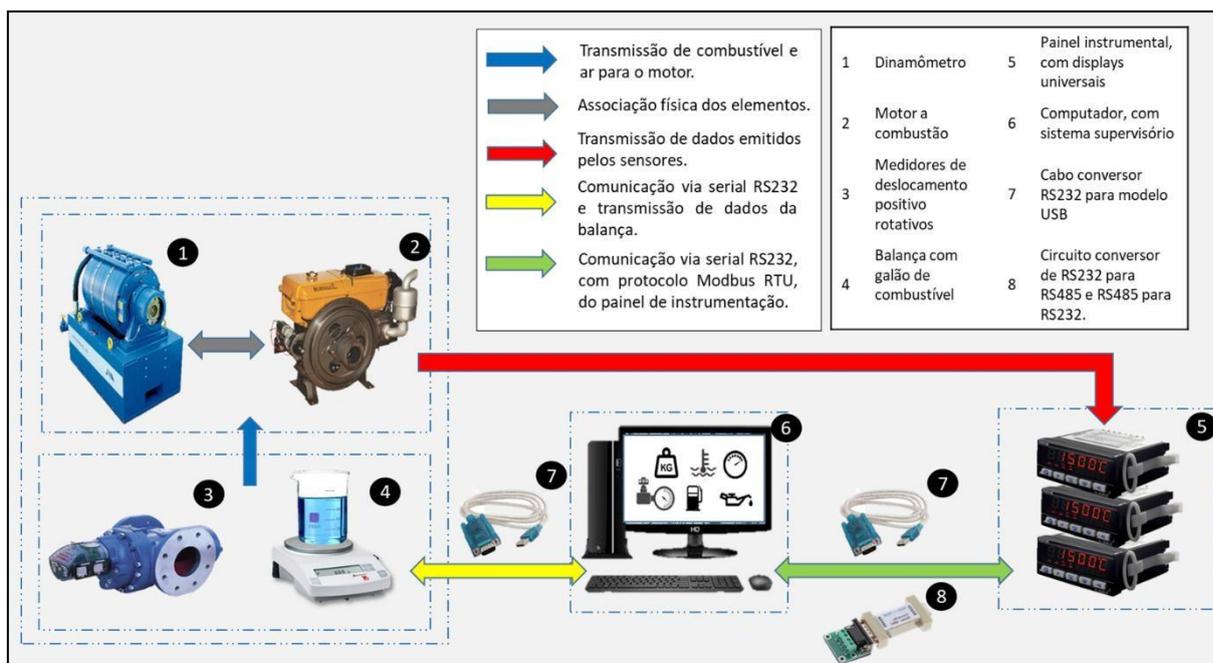
4.3. PROPOSTA DE ARQUITETURA DO SISTEMA

Os elementos de composição geral do sistema são compostos por subsistemas, o principal deles são o dinamômetro e motor a combustão. Para funcionamento do motor temos o medidor de deslocamento positivo rotativo responsável por destinar ar a admissão do motor, e o sistema de alimentação de combustível integrado a um reservatório com medição do seu peso, por meio da balança. Os demais sistemas são responsáveis pela aquisição de dados, e realização de tratamento para apresentação do painel de instrumentação, por meio dos dispositivos embarcados e os sensores ligados a eles.

Como proposta para criação do sistema de supervisão, pretendendo-se integrar ao painel de instrumentos, em específico aos dispositivos embarcados, um computador que gerenciará as informações advindas deste sistema e da balança de pesagem de combustível. As metodologias propostas para execução do projeto, neste capítulo, podem ser melhores compreendidas por meio da arquitetura apresentada abaixo (Figura 41).

O diagrama possui legendas que auxiliam na interpretação de funcionamento da arquitetura, e possui indicadores por meio de quadros que indicam a separação dos principais subsistemas do projeto.

Figura 41 – diagrama da arquitetura do sistema proposto.



REFERÊNCIAS

AERZEN®. **Medidores de Deslocamento Positivo Rotativos.** <<https://www.aerzen.com/de.html>>. Acessado em 22 out 2019.

ALVES, Alda Judith. **A “revisão da bibliografia” em teses e dissertações: meus tipos inesquecíveis.** Florianópolis: Cortez & Editora da UFSC, 2012.

AVL. **System With Eddy Current Dynamometers.** <<https://www.avl.com/-/avl-dynoperform>>. Acessado em 7 set 2019.

AZOB. **Venda de Produtos Eletrônicos.** <<https://www.azob.com.br>> . Acessado em 8 out 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Veículos Rodoviários – Código de Ensaio de Motores – Potência Líquida Efetiva. NBR ISO 1585.** Rio de Janeiro: 1996.

ATHAVALE, Abhijit; CHRISTENSEN, Carl. **High Speed Serial I/O Made Simple.** San Jose: Xilinx Connectivity Solutions, 2005.

AXELSON, Jan. **Serial Port Complete.** 2nd ed. Madison: Lakeview Research, 2007.

BORGES, A. N. **Caracterização de escovas de grafite e avaliação do seu desempenho em função da microestrutura.** Monografia de Graduação, UFRS, 2007.

BORGES, J. C. S.; SOBRINHO C. A. N.; FILHO A. C. L.; BETO F. A. Métodos e técnicas de medição de torque diretamente em eixos rotativos. **Revista Principal**, 28ª edição, 2015.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna – volume 1.** São Paulo: Blucher. 2012.

BRUNETTI, Franco. **Motores de Combustão Interna – volume 2.** São Paulo: Blucher. 2012.

BUFFALO. **Fabricação de Motores.** <<http://www.buffalo.com.br/?link=produto&id=227>>. Acessado em 7 set 2019.

CALIXTO, Rodrigo. **Sistema Supervisório Para Bancada de Ensaio de Picoturbina Hidráulica Indalma.** Trabalho de Graduação, Brasília: Universidade de Brasília - FGA, 2015.

CAPELLI, Alexandre. **Automação Industrial: Controle do Movimento e Processos Contínuos.** 3ª edição. São Paulo: Érica, 2013.

CASTRO, Fábio Daniel de. **Motores Automotivos: Evolução, Manutenção e Tendências.** Porto Alegre, EDIPUCRS, 2014.

CONTECHIND. **Venda de Produtos Industriais.** <<https://www.contechind.com.br>>. Acessado em 20 set 2019.

CNI, Eletrobrás, IEL. **Instrumentação e controle: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2008.

EMIROĞLU, A. O. Effect of fuel injection pressure on the characteristics of single cylinder diesel engine powered by butanol-diesel blend. **Fuel**, v. 256, p. 115928, 2019.

ELETRONICA PT. **Esquemáticos Elétricos Conversores Seriais**. <<https://www.electronica-pt.com>>. Acessado em 10 out 2019.

Elipse E3. **Plataforma IHM/SCADA**. Versão 4.2.41: ©Elipse Software, 2019. Disponível em: 10 set 2019. Acesso em 7 nov 2019.

ELIPSE SOFTWARE. **Plataforma IHM/SCADA**. <<https://www.elipse.com.br/produto/elipse-e3/>>. Acessado em 10 out 2019.

EL SHENAWY, E. A.; ELKELAWY, Medhat; BASTAWISSI, Hagar Alm Eldin; et al. Comparative study of the combustion, performance, and emission characteristics of a direct injection diesel engine with a partially premixed lean charge compression ignition diesel engines. **Fuel**, p. 277–285, 2019.

FILHO, Guilherme Filippo. **Automação de processos e de sistemas**. São Paulo: Érica, 2014.

FRANCHI, Claiton Moro. **Instrumentação de Processos Industriais—Princípios e Aplicações**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2015.

FUELTECH. **Desenvolvimento Automotivo**. <<https://fueltech.com.br/products/termopar-tipo-k-egt-escapamento>>. Acessado em 20 set 2019.

HAWKE, Moore. **Introduction to Fieldbus**. Disponível em: <www.fieldbus.org/images/stories/newsroom/articles/introduction_to_fieldbus.pdf> Acesso em: 30 out. 2019.

KILLEDAR, Jiotindra S.. **Dynamometer: Theory and Application to Engine Testing**. Xilinx Connectivity Solutions, 2012.

LASALLE, Paul; PARIHAR, Mrindula; SCRIMGER, Rob; et al. **TCP/IP, A Bíblia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

MANAVELLA, José Humberto. **Controle integrado do motor: introdução aos sistemas de injeção, ignição eletrônica**. São Paulo: HM Autotrônica Publicações, 2003.

MARTYR, A.J; PLINT, M.A. **Engine Testing Theory and Practice**. 3rd ed. Burlington: Elsevier, 2007.

AERZEN®. **Medidores de Deslocamento Positivo Rotativos**. <<https://www.aerzen.com/de.html>>. Acessado em 22 out 2019.

MODICON, Industrial Automation Systems. **Modicon Modbus Protocol Reference Guide**. Massachusetts: 1996.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Strain gauges measurement: a tutorial**. [S.1.]: National Instruments Corporation, 1998.

NCONFING. **Configuração de *Displays* Universais**. Versão 1.4.1.12: NOVUS, 2012. Disponível em: 10 set 2019. Acesso em 10 nov 2019.

NOGUEIRA, Thiago. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. Monografia de Graduação, Universidade Federal de Ouro Preto, 2009.

NOVUS. **Produtos Industriais**. <<https://www.novus.com.br>>. Acessado em 10 set 2019.

OBERT, Edward F. **Motores de Combustão Interna**. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1971.

OHAUS. **Produtos de Medição**. <<https://br.ohaus.com/pt-BR/AdventurerAnalytical-17#>>. Acessado em 10 set 2019.

OMEGA. **Produtos Industriais**. <<https://br.omega.com/pptst/PR-20.html>>. Acessado em 20 set 2019.

ORGANISATION INTERNATIONALE DES CONSTRUCTEURS D'AUTOMOBILES. **OICA**. <<http://www.oica.net/>>. Acessado em 10 set 2019.

PLESS. **Venda de Produtos Eletrônicos**. <<https://www.pless.co.uk>>. Acessado em 8 out 2019.

ROESCH, Sylvia Maria Azevedo. **Projeto de estágio do curso de Administração: guia para pesquisa, projeto, estágios e trabalho de conclusão de curso**. São Paulo: Atlas, 1999. SEaD/UFSC, 2006, 109p.

SENAI. **Serviço de Aprendizagem Industrial Fundamentos de Instrumentação: pressão/nível/vazão/temperatura**. SENAI. Serviço de Aprendizagem Industrial. – São Paulo: SENAI-SP Editora, 2015.

SILVA, Aintron Marques da. **Metodologia da Pesquisa**. Fortaleza: Ed. UECE, 2015.

STARLING, Antônio N. **Controle e automação I: introdução a instrumentação industrial**. Belo Horizonte: LTC, 2003.

TILLMANN, C. A. da Costa. **Motores de combustão interna e seus sistemas**. Pelotas: Editora Rede e-Tec Brasil. 2013

TURNS, Stephen R. **Introdução à Combustão Conceitos e Aplicações**. 3ª Edição. São Paulo: AMGH Editora, 2013.

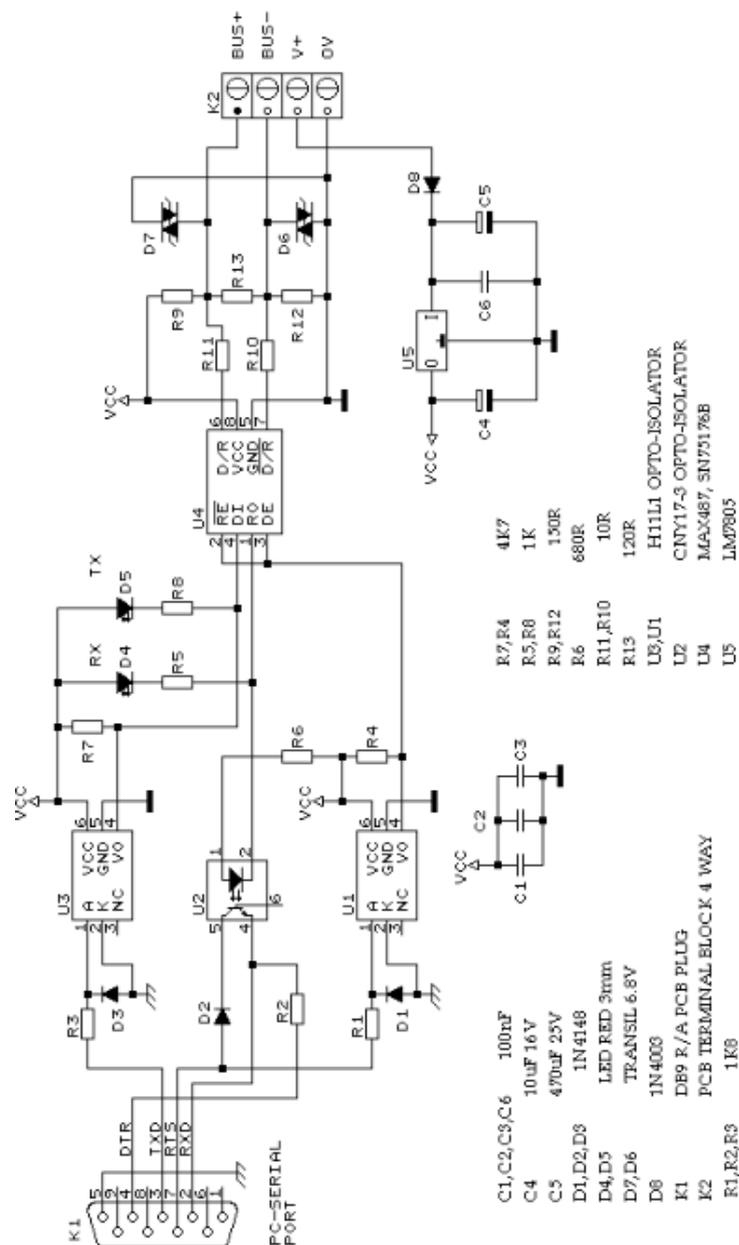
VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

VARELLA, C. A. Alves; SANTOS, S. Gilmar. **Noções Básicas de Motores Diesel**. Seropédica: UFRRJ, 2010.

ZANELLA, Liane Carly Hermes. **Metodologia da pesquisa**. Florianópolis: UFSC, Seropédica, 2010.

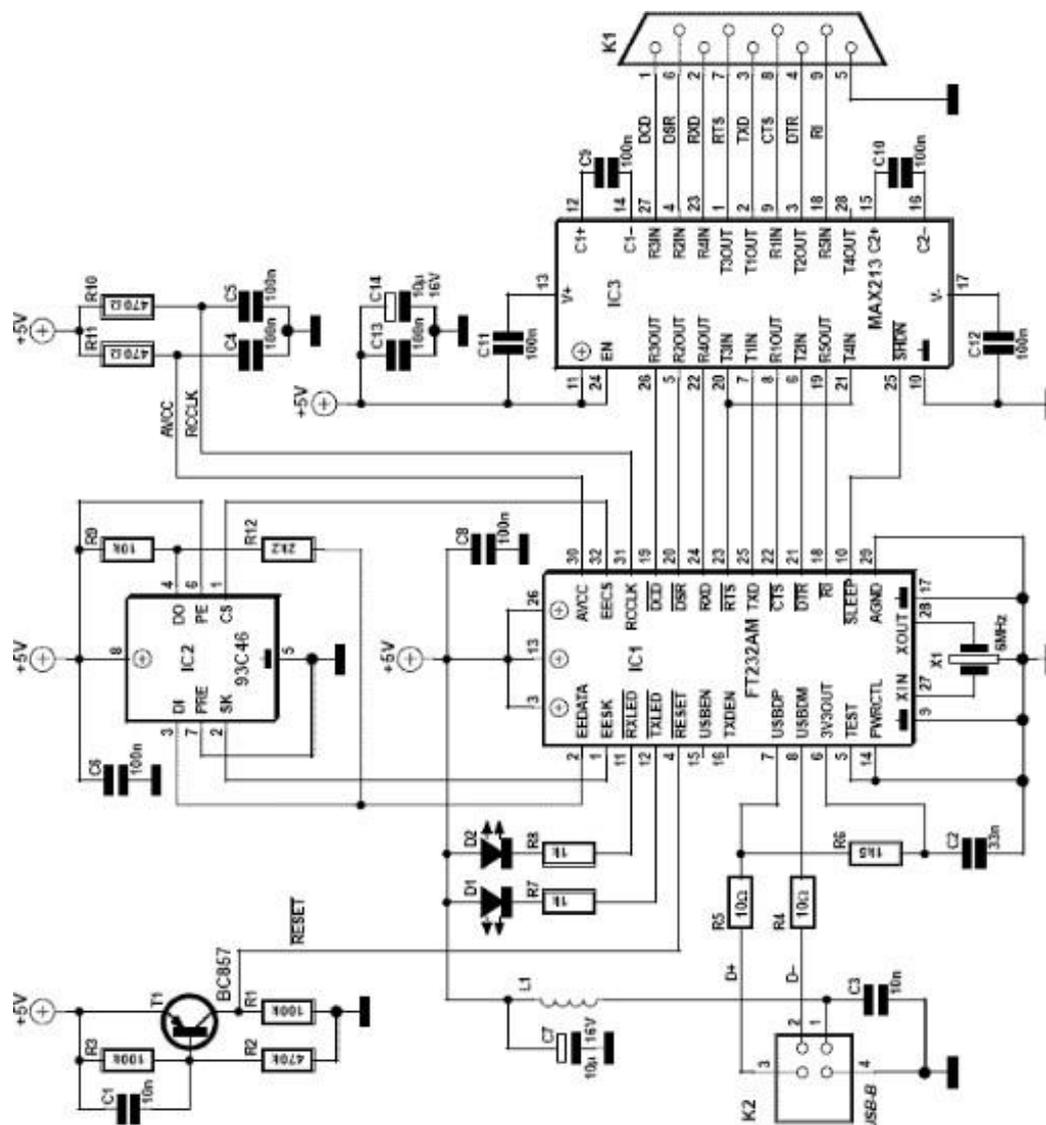
ZÖLLNER®, GmbH, Kiel. **ZÖLLNER Performance Testing Device Eletric Dynamometer Type Alphe 160-500 with LSE 51**. Operating Instructions Revision 1.0, August 1997.

ANEXO A – ESQUEMA DO CIRCUITO CONVERSOR RS485 PARA RS232



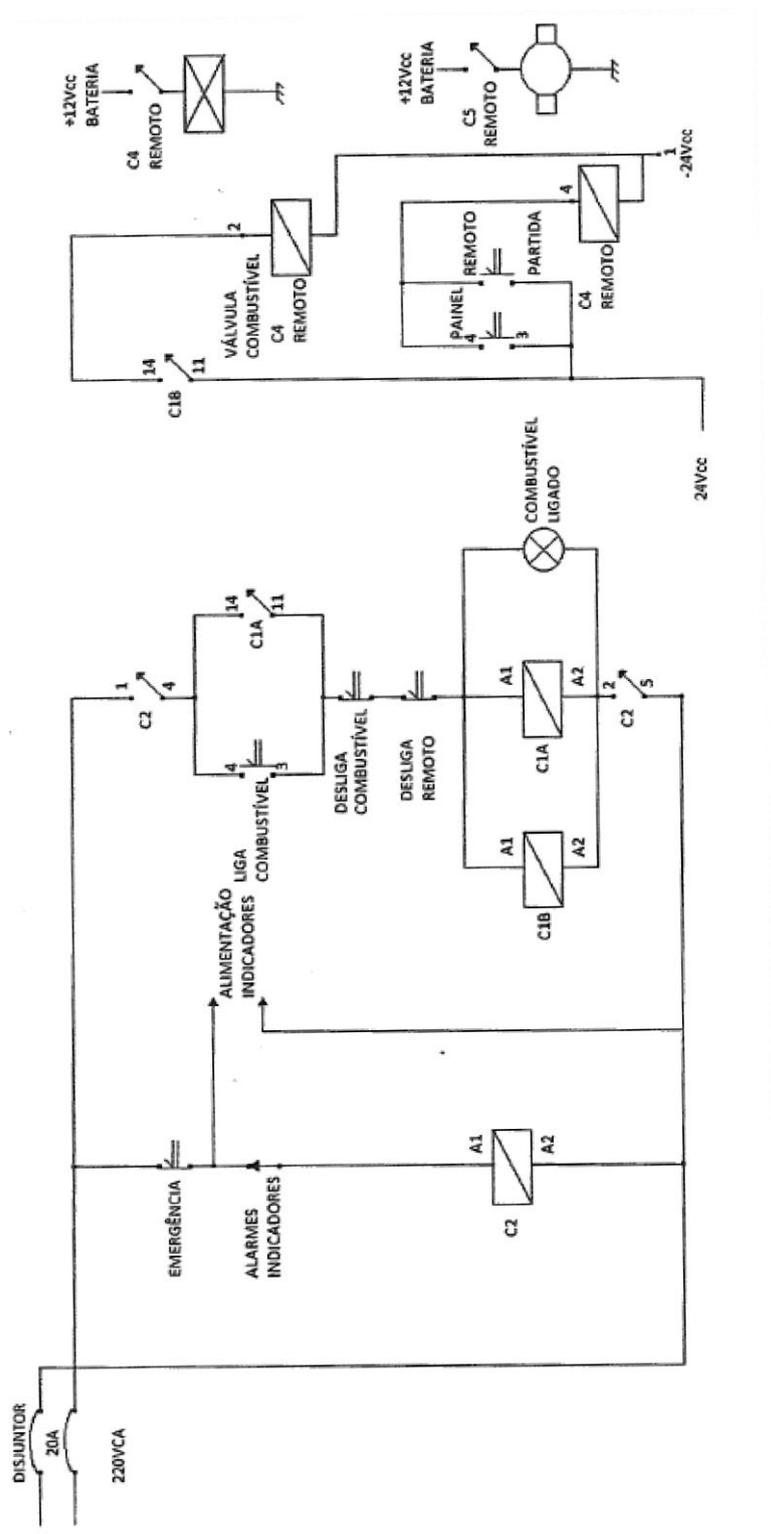
Fonte: <https://www.electronica-pt.com/conversores-rs232-usb-rs485-rs422>.

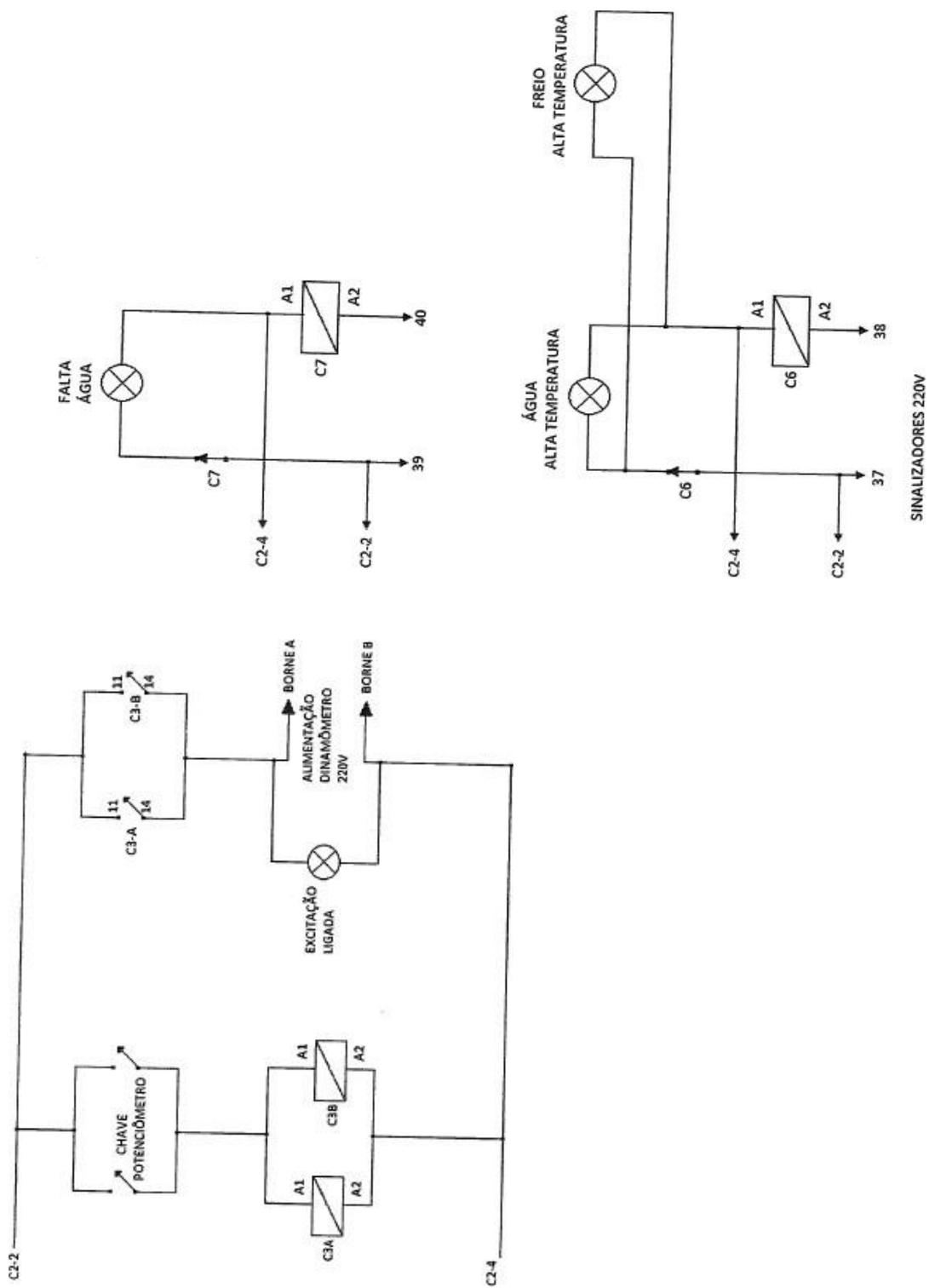
ANEXO B – ESQUEMA DO CIRCUITO CONVERSOR RS232 PARA USB



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/conversores-rs232-usb-rs485-rs422>.

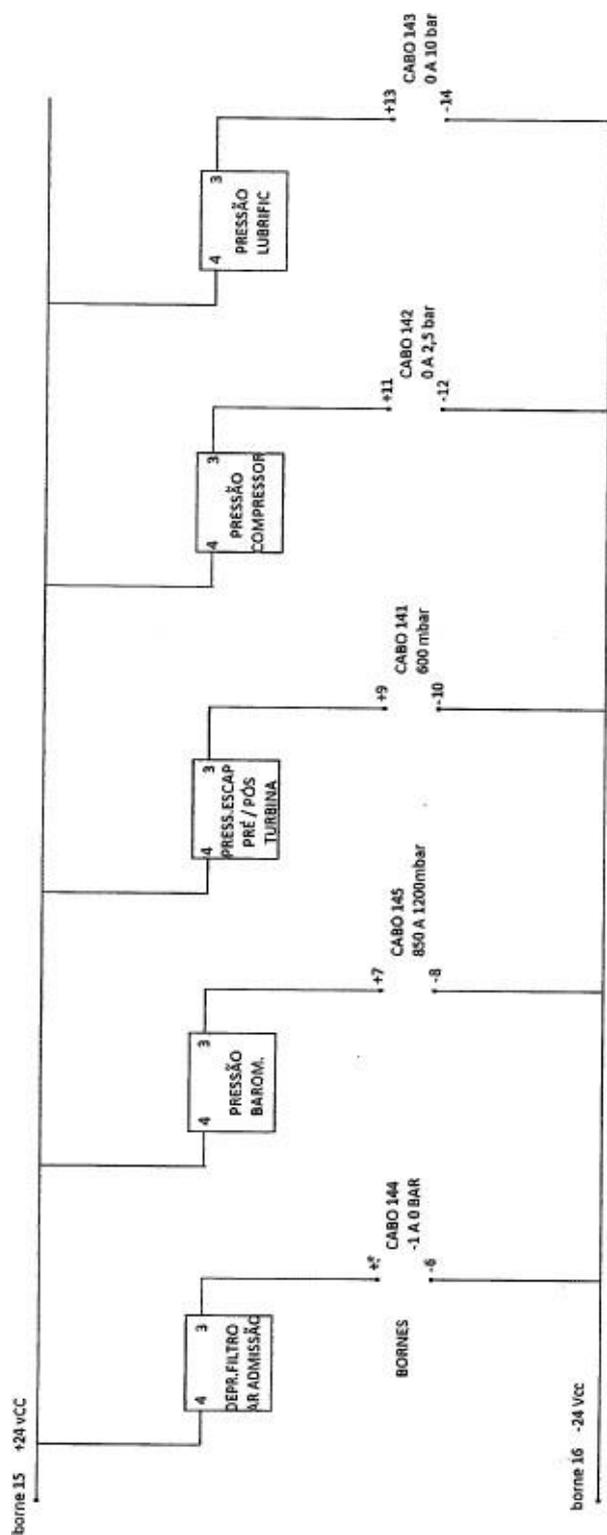
ANEXO C – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO E COMANDO DA PLANTA DE TESTE DO LABORATÓRIO DE TERMODINAMICA





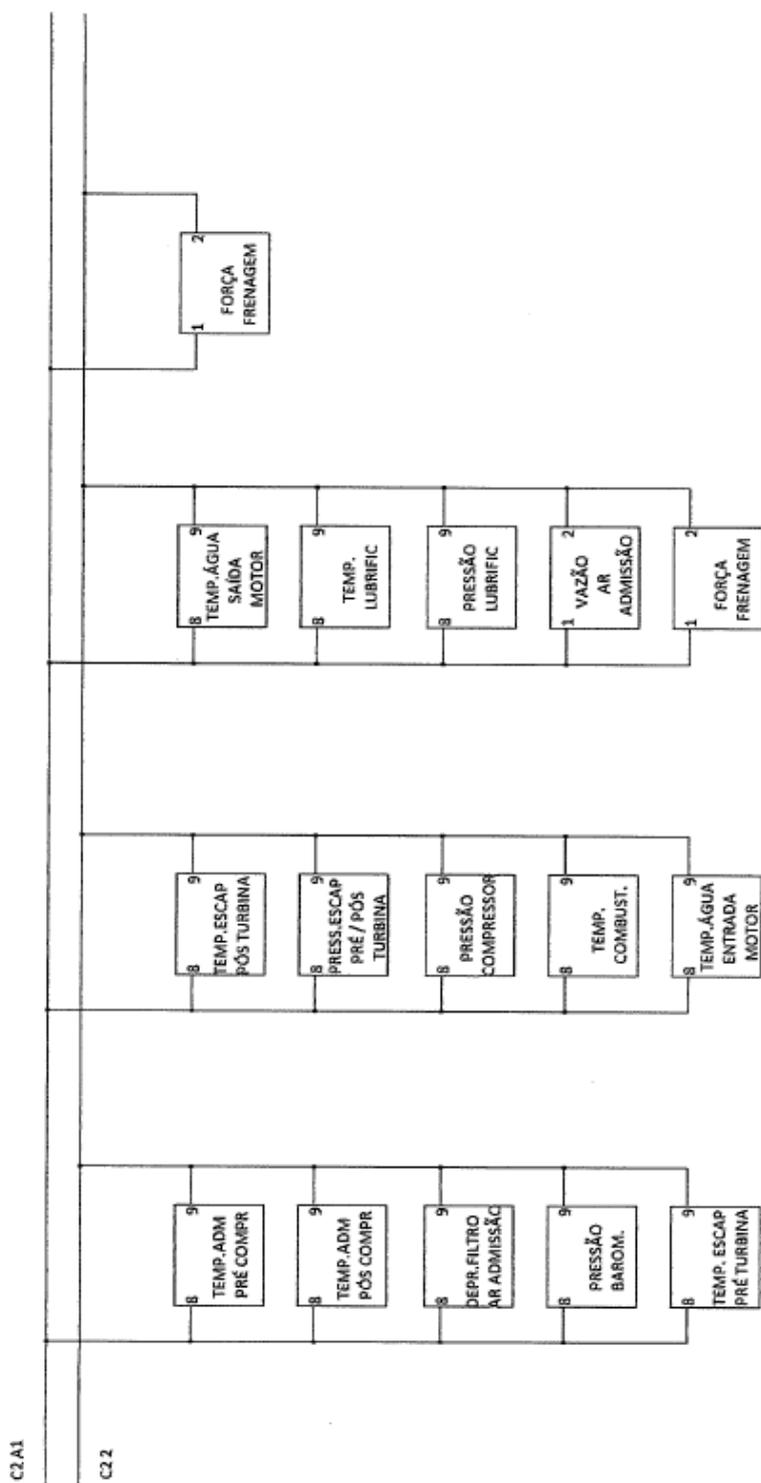
Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

ANEXO D – DIAGRAMA DE LIGAÇÃO DOS SENSORES DE PRESSÃO NA REDE DE INSTRUMENTAÇÃO

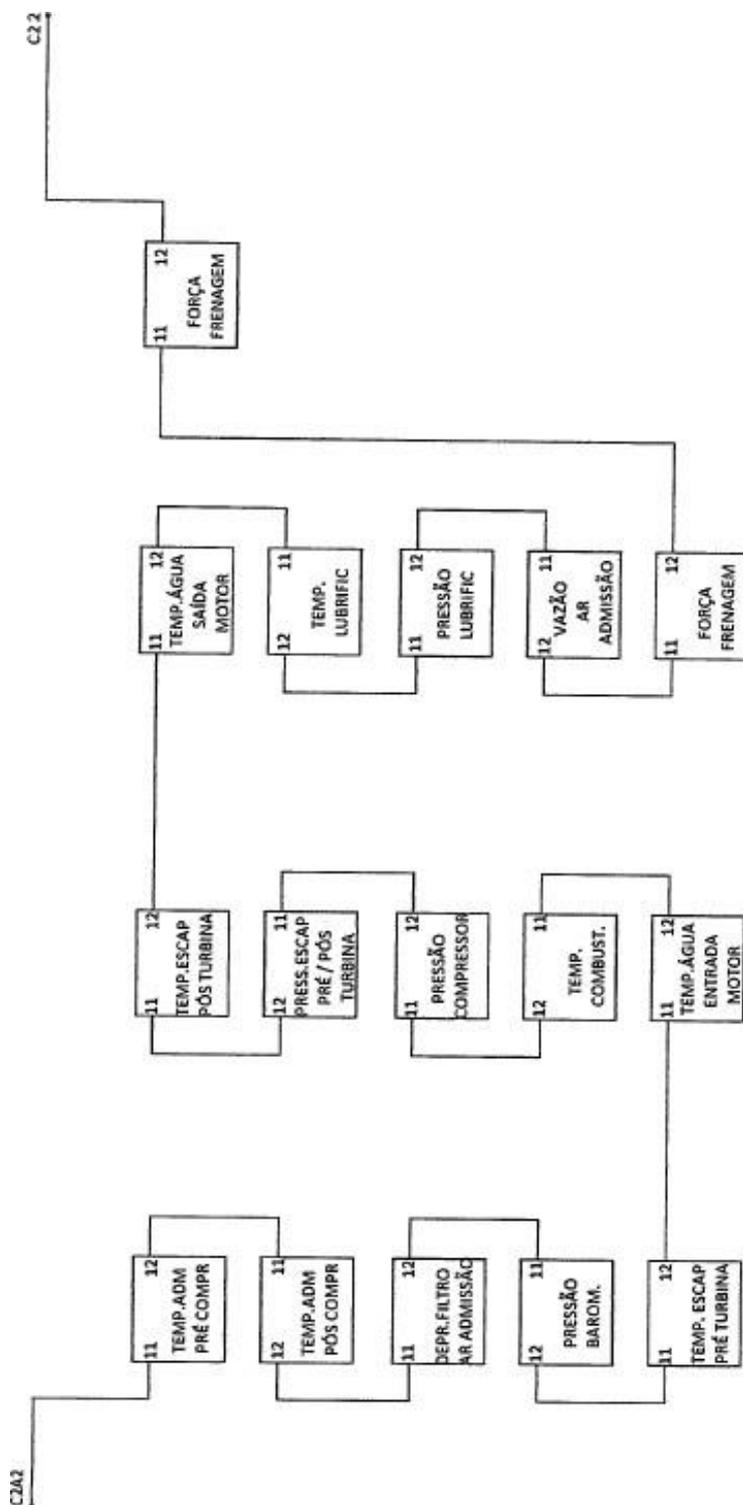


Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

ANEXO E – DIAGRAMA DE ALIMENTAÇÃO DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO



ANEXO F – DIAGRAM DE ASSOCIAÇÃO DOS RELÉS DE ALARME DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO



Fonte: Laboratório de Termodinâmica, PUCPR.

ANEXO G – DIAGRAMA DE ASSOCIAÇÃO DOS PERIFERICOS DE COMUNICAÇÃO SERIAL DOS INDICADORES UNIVERSAIS DO PAINEL DE INSTRUMENTAÇÃO

