



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais

Desenvolvimento de Laboratório de Experimentação Remota Didático para Aprendizagem
na Área da Conformação Mecânica

Lucas Boeira Michels

Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre, 2017

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Escola de Engenharia

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Materiais

Desenvolvimento de Laboratório de Experimentação Remota Didático para Aprendizagem
na Área da Conformação Mecânica

Lucas Boeira Michels
Tecnólogo em Eletromecânica, Mestre em Educação

Trabalho realizado no Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia da UFRGS, dentro do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGE3M, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Porto Alegre, 2017

Este projeto foi julgado adequado para produção de Tese para obtenção do título de Doutor em Engenharia, área de concentração de Processos de Fabricação e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Prof. Dr. – Ing. Lirio Schaeffer
Orientador

Banca Examinadora:

Dr. Eng. Alberto M. G. Brito
Escola de Engenharia/UFRGS

Prof. Dr. Roderval Marcelino
UFSC - Campus Araranguá

Prof. Dr. Vilson Gruber
UFSC - Campus Araranguá

Prof. Dr. Carlos Pérez Bergmann

Coordenador do PPGE3M

A criatividade e a curiosidade são as melhores coisas que Deus nos deu, sem elas não haveriam nem a invenção, nem o conhecimento.

Agradecimentos

Ao Prof. Dr. Eng. Lirio Schaeffer pela confiança, apoio e contribuições com o desenvolvimento desta Tese.

Ao Prof. Dr. Vilson Gruber (UFSC Araranguá) pelo incentivo à conclusão deste trabalho, apoio em projetos de pesquisa e por acreditar em meu potencial.

Ao Prof. Dr. Roderval Marcelino (UFSC Araranguá) pelo incentivo à conclusão deste trabalho e apoio em projetos de pesquisa, bem como na confiança.

Ao Prof. Dr. Alberto M. G. Brito (UFRGS) pelo apoio no incentivo aos estudantes para o acesso remoto, na aplicação, envio de dados e análise das avaliações das turmas.

Ao Laboratório de Transformação Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, pela disponibilização da infraestrutura que utilizei durante a execução deste projeto.

Aos estudantes Luan Carlos Casagrande, Yuri Crotti e Jonas Miot pelo apoio no desenvolvimento da parte experimental desta tese. Especialmente ao Felipe dos Santos da Cunha, quem contribuiu imensamente com o desenvolvimento da programação do site do Laboratório.

Aos professores, servidores da administração, laboratoristas e estudantes bolsistas do Instituto Federal de Santa Catarina - Araranguá pelo apoio na execução de experimentos e estrutura para esta Tese.

Aos meus pais, Célio Michels e Regina T. Boeira Michels pelo apoio e por acreditar em meu potencial e na educação desde sempre.

À minha esposa Jane e filhos Leonardo e Rafael pelos momentos de apoio nas dificuldades. Desculpas pelos momentos ausentes em função desse grande projeto.

À todos que colaboraram de alguma forma, com palavras de apoio ao desenvolvimento deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

E especialmente à Deus, que é o lado espiritual da vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE SIGLAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS	13
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivo geral	21
1.2 Objetivos específicos	21
1.3 Organização da Tese	22
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
2.1 Introdução aos experimentos remotos.....	24
2.1.1 Sistemas de gerenciamento da aprendizagem	27
2.1.2 Dispositivos de aquisição e processamento de dados	30
2.1.3 Raspberry Pi	32
2.1.4 Sensores.....	35
2.1.5 Tecnologias para programação dos experimentos	37
2.1.6 MatLab: Popularidade e flexibilidade	39
2.1.7 Controle de acesso aos laboratórios e experimentos remotos	40
2.1.8 Embasamento Pedagógico para Desenvolvimento do Laboratório Remoto	42
2.2 PROCESSOS DE APRENDIZAGEM	42
2.3 Aspectos Gerais da Conformação Mecânica	50
2.3.1 Curvas de escoamento.....	51
2.3.1.1 Parametrizando a tensão de escoamento	54
2.3.1.2 Ensaios Mecânicos usados na Coleta de Dados sobre um Metal	58
2.3.1.3 Exemplos de aplicações dos parâmetros kf_0 e kf em cálculos de Conformação ..	61
3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DA TESE	64
3.1 DEFINIÇÃO DA ATIVIDADE DE APRENDIZAGEM EXPERIMENTAL	65
3.2 DETALHAMENTO DO LABORATÓRIO ONLINE DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA (LABCONM).....	68
3.2.1 Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC)	71

3.2.1.1	Estrutura de compressão da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão.....	71
3.2.1.2	Detalhamento do Mecanismo de alimentação, posicionamento e descarte dos corpo de prova.....	74
3.2.1.3	Unidade Hidráulica	76
3.2.1.4	Painel de acionamento do motor da unidade Hidráulica.....	77
3.2.1.5	Painel de Processamento Dados	78
3.2.1.6	Servidor WEB.....	81
3.2.2	Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem	81
3.3	Painel de Controle da MDTEC.....	82
3.4	Experimentações que podem ser realizados no LABCONM	85
3.4.1	Passo a passo do Processo de Ensaio Teleoperado	88
3.5	Produção dos Corpos de Prova	89
3.6	Calibração e Histórico das principais dificuldades	91
3.7	Metodologia de Validação do Laboratório Remoto.....	96
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	98
4.1	Da Avaliação Funcional da MDTEC	99
4.2	Da Avaliação de Uso do LABCONM pelos Estudantes	102
4.2.1	Intervenções no Processo de uso do Laboratório com estudantes	112
4.3	Das Avaliações Escritas	114
5	CONCLUSÕES	118
6	outros trabalhos realizados	120
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	121
	REFERÊNCIAS	123
	APÊNDICE A – Objetivos de aprendizagem - Dimensão Conhecimento	131
	APÊNDICE B – Objetivos de Aprendizagem - Dimensão Cognitiva	132
	APÊNDICE C – Avaliação dos estudantes em relação ao uso do LABCONM	133
	APÊNDICE D – Tabela da de frequência de respostas do questionário de avaliação comparativa entre laboratório tradicional e o LABCONM	134
	Apêndice E - Questionário 1	135
	Apêndice F - Questionário 2	136
	Apêndice G - Tabulação dos dados do Questionário comparativo em escala diferencial.	137
	Apêndice H - Trabalhos publicados durante o doutorado (por ano)	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão geral do desenvolvimento da Tese	23
Figura 2 - Configuração comum dos laboratórios remotos	26
Figura 3 - Exemplo de site baseado na plataforma LMS Moodle.....	28
Figura 4 - Controlador Lógico Programável (CLP)	30
Figura 5 - Cartão de aquisição de dados - DAQ	31
Figura 6 - ISES com conexão PCI.....	31
Figura 7 - Raspberry Pi.....	32
Figura 8 - Componentes do Raspberry Pi.....	34
Figura 9 - Pinos conexão GPIO	35
Figura 10 - Exemplo de laboratório programado com LabVIEW	39
Figura 11 - Aplicação de agendamento para experimentos remotos.....	41
Figura 12 - Pirâmide ilustrativa dos níveis da dimensão cognitiva.....	47
Figura 13 - Processos de fabricação	50
Figura 14 - Curvas de escoamento da liga Ti-6Al-4AV em temperaturas e velocidades de deformação diferentes.....	54
Figura 15 - Lei da constância dos volumes (processo de compressão).....	55
Figura 16 - Demonstração do processo de determinação da tensão <i>kf0</i>	57
Figura 17 - Gráfico típico de um metal com patamar da tensão inicial de escoamento bem definido	58
Figura 18 - Máquina de ensaios universal	59
Figura 19 - Extensômetro acoplado ao corpo de prova para ensaio de tração.....	60
Figura 20 - Prensagem de um cilindro.....	62
Figura 21 - Dados do processo de prensagem para cálculo	63
Figura 22 - Etapas principais da parte experimental da tese.....	64
Figura 23 - Esquema para exemplificar o processo de aprendizagem desenvolvido pelo LABCONM.....	65
Figura 24 - Peça para a Atividade Aprendizagem Experimental.....	66
Figura 25 - Fluxograma de resolução da Atividade de Aprendizagem Experimental	68
Figura 26 - Visão ilustrada do Laboratório Remoto.....	69
Figura 27 - Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC).....	70

Figura 28 - Estrutura de compressão da Máquina de Ensaio de compressão Didática remota (MDTEC).....	71
Figura 29 - Detalhamento da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão ..	73
Figura 30 - Régua potenciométrica para medição da delocamento	73
Figura 31 - Célula de carga Z 10KN	74
Figura 32 - Vista do mecanismo de alimentação, posicionamento e descarte dos corpos de prova	75
Figura 33 - Detalhes da haste do posicionamento.....	75
Figura 34 - Vista lateral do posicionador	76
Figura 35 - Unidade Hidráulica.....	77
Figura 36 - Painel de controle do motor	78
Figura 37 - Painel de Processamento de Dados	78
Figura 38 - Conversor de sinal analógico para digital ADCPi	79
Figura 39 - Diagrama Elétrico do painel de processamento de dados	80
Figura 40 - Tabela de Pinos do Raspberry Pi	80
Figura 41 - Visão Geral da Página do Laboratório Online de Conformação Mecânica.....	82
Figura 42 - Painel de controle da MDTEC (Vista aba controle).....	84
Figura 43 - Painel de controle da MDTEC (vista aba gráficos).....	84
Figura 44 - Fluxograma de acesso ao Laboratório Remoto de Conformação Mecânica ...	85
Figura 45 - Página de Acesso ao Laboratório Remoto de Conformação Mecânica	88
Figura 46 - dimensões do corpo de prova	90
Figura 47 - Corpos de prova prontos para ensaio de compressão.....	91
Figura 48 - Pesos empilhados sobre a célula de carga para calibração	93
Figura 49 - Resultado dos 25 ensaios realizados na MDTEC.	101
Figura 50 - Histórico de agendamento dos ensaios.....	104
Figura 51 - Gráfico do questionário comparativo Lab. Tradicional x LABCONM (escala de frequência)	106
Figura 52 - Média do questionário comparativo por pontuação (Escala diferencial -2 a 2)	107
Figura 53 - Média das notas de avaliação do Laboratório Online de Conformação Mecânica.....	108
Figura 54 - Gráfico criado pelo estudante 6.....	110
Figura 55 - Resultados do exercícios de cálculo - 1ª avaliação do semestre	116

Figura 56 - Resultados do exercício de cálculo - 2ª avaliação do semestre	116
Figura 57 - Comparação entre as respostas das questões de "extrusão" e "estampagem" no grupo que fez uso ao LABCONM.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Exemplos de áreas de ensino dos laboratórios remotos.....	27
Tabela 2 - Sensores industriais.....	36
Tabela 3 - Níveis cognitivos	45
Tabela 4 - Mudanças da dimensão cognitiva	45
Tabela 5 - Detalhamento da nova dimensão Cognitiva da Taxionomia de Bloom.....	46
Tabela 6 - Tabela bidirecional da taxionomia de Bloom.....	48
Tabela 7 - Exemplo de aplicação das questões de Gowin com análise da Tese	49
Tabela 8 - Roteiro da Atividade de Aprendizagem Experimental	67
Tabela 9 - Tabela de carga dos halteres para calibração da célula de carga.....	94
Tabela 10 - Resultados das medições da altura das amostras	100
Tabela 11 - Coeficientes "C" e "n" dos ensaios com a MDTEC.....	101
Tabela 12 - Coeficientes "C" e "n" extraídas dos ensaios feitos em Máquina de ensaio tradicional	102
Tabela 13 - Relatório de participação dos estudantes	103
Tabela 14 - Local de acesso ao Laboratório Online de Conformação Mecânica.....	105
Tabela 15 - Meios de acesso ao Laboratório Online de Conformação Mecânica.....	105
Tabela 16 - Avaliação do Laboratório Respostas livres - Pontos negativos e sugestões ..	109
Tabela 17 - Avaliação do Laboratório (livre) - Pontos Positivos.....	112
Tabela 18 - Relatório de problemas e dificuldades na utilização dos estudantes	113
Tabela 19 - Resultado das respostas da questão sobre cálculo de extrusão.....	115

LISTA DE SIGLAS

.NET	É uma iniciativa da empresa Microsoft, que visa uma plataforma única para desenvolvimento e execução de sistemas e aplicações.
ANC	Active Noise Controlled
API	Application Programming Interface
APP	Aplicativo móvel
Applet	Small Application
AVA	Ambiente Virtual de aprendizagem
BHT	Instituto de Tecnologia Blecking
DAQ	Data Acquisition Card
DSP	Digital signal processing
E-learn	Aprendizagem Eletrônica
FPGA	Field Programmable Gate Array - Arranjo de Portas Programável em Campo
GCC	GNU Compiler Collection
GND	Ground (fio neutro)
GPIO	General Purpose Input / Output
GSM	Global System for Mobile Communications
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HTML	HyperText Markup Language
I ² C	I-squared-C = Inter-Integrated Circuit
IBSE	Inquiry Based Science Education
J2EE	Java Platform Enterprise Edition – Plataforma Java Edição Empresarial
JAVA	A plataforma permite desenvolver aplicativos utilizando qualquer uma das linguagens criadas para a plataforma Java, sendo a linguagem padrão a que leva seu próprio nome
JRE	Java Runtime Environment
LABCONM	Laboratório Online de Conformação Mecânica
LABVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LMS	Learning Management System (Sistema de Gerenciamento da Aprendizagem)
LVDT	Linear Variable Differential Transformer Transdutor diferencial de variação linear
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation - plataforma robusta baseada em PC para sistemas de medição e automação.
LXI	LAN eXtensions for Instrumentation
MatLab	MATrix LABoratory
MDTEC	Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão

MySQL	Linguagem banco de dados: Structured Query Language
PBL	Problem Based Learn
PCI	Peripheral Component Interconnect
PeTEX	Platform for eLearning and Telemetric Experimentation
PHP	HypertextPreprocessor
PIC	Peripheral Interface Controller
PLC	Programmable Logic Controller – Controlador Lógico Programável
REST	Representational State Transfe
RTW	Real-time Workshop Toolbox
SPI	Serial Peripheral Interface
TCP	Transmission Control Protocol
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USB	Universal Serial Bus
VISIR	Virtual Instrument Systems in Reality
WEB	Rede que conecta computadores pelo todo mundo, também chamada World Wide WEB (WWW)
WiFi	Wireless Fidelity

LISTA DE SÍMBOLOS

A_0	Área inicial do corpo de prova	[mm ²]
A_1	Área final do corpo de prova	[mm ²]
b_0	Largura inicial	[mm]
b_1	Largura final	[mm]
C	Coefficiente da curva de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$)	[MPa]
d_0	Diâmetro inicial	[mm]
d_1	Diâmetro final	[mm]
F	Força [N]	[N]
h_0	Altura inicial de uma peça	[mm]
h	Altura instantânea do peça/corpo de prova	[mm]
k_f	Tensão de escoamento	[N/mm ²]
k_{f1}	Tensão de escoamento final (ou instantânea)	[N/mm ²]
k_{f0}	tensão de escoamento inicial	[N/mm ²].
k_{fm}	Tensão de escoamento média	[N/mm ²]
l_0	Comprimento inicial	[mm]
l_1	Comprimento final	[mm]
$m1$	constante do metal na curva de escoamento a quente	[-]
$m2$	constante do metal na curva de escoamento a quente	[-]
$m3$	constante do metal na curva de escoamento a quente	[-]
n	coeficiente de encruamento	[-]
R^2	Coefficiente de indeterminação	[-]
T_r	Trabalho de conformação	[N.mm]
V_f	Velocidade da ferramenta	[mm/s]
v	Volume da peça	[mm ³]
v_0	Volume inicial	[mm ³]
v_1	Volume final	[mm ³]

Símbolos gregos

Δh	Varição da altura (deformação absoluta)	[mm]
$\dot{\varphi}$	Velocidade de deformação	[s ⁻¹]
μ	Coefficiente de atrito	[-]
ε	Deformação relativa (Deformação de Engenharia)	[%]
η	Rendimento	[-]
σ	Tensão	[N/mm ²]
φ	Deformação verdadeira	[-]
φ_h	Deformação verdadeira em altura	[-]
ϑ	Temperatura	°C
ϕ	Diâmetro	mm

RESUMO.

Esta tese trata do desenvolvimento de um laboratório remoto didático para estudos na área da Conformação Mecânica, chamado de Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM), o qual visa proporcionar a aprendizagem da Conformação Mecânica usando experimentos reais operados remotamente. Este laboratório é formado por duas partes principais: A primeira parte é um Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA) contendo todos os menus, atividades e tarefas, agenda e painel de acesso e controle aos experimentos. A segunda parte é a parte física, ou seja, o experimento remoto, que nesta primeira versão do LABCONM é a “Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão” (MDTEC). No painel de controle da MDTEC o estudante controla e visualiza remotamente um ensaio de compressão real e exporta os dados. Uma atividade de aprendizagem experimental foi desenvolvida para guiar os estudantes na busca da solução do problema, gerando assim a aprendizagem da curva de escoamento. Para validar o laboratório, foram feitos dois tipos de testes: O primeiro é funcional e técnico, que analisa os resultados do experimento remoto, avaliando a similaridade e a repetibilidade para fins didáticos. E o segundo teste é uma validação acadêmica, que foi dividida em duas partes. A primeira, foi direta, e feita por um grupo de estudantes da disciplina de Conformação Mecânica, onde responderam questionários após uso do laboratório. A segunda etapa foi indireta, feita pela comparação das notas da prova entre os estudantes que "usaram" com aqueles que "não usaram" o laboratório, visando obter a influência do uso do laboratório na aprendizagem. Os resultados dos testes técnicos e funcionais mostram que a MDTEC é um experimento que tem condições de realizar ensaios de compressão reais, fornecendo dados com boa repetibilidade para levantamento de curvas de escoamento. Na avaliação dos estudantes o LABCONM demonstrou ter cumprido com o objetivo de ensino aprendizagem. Em relação à avaliação da prova aplicada com ambos os grupos de estudantes com e sem acesso ao LABCONM, observou-se que houve uma influência positiva nos resultados da turma que acessou o laboratório, visto que nenhum destes estudantes do grupo teve nota insatisfatória no exercício de cálculo.

Palavras-chaves: Laboratório Remoto. Laboratório Didático. Experimento Remoto. Ensaio de Compressão. Curva de Escoamento.

ABSTRACT

This thesis deals with the development of a remote didactic laboratory for studies in the area of Metal Forming, called the Online Laboratory of Metal Forming (LABCONM), which aims to provide the learning of the Metal Forming using real remotely operated experiments. This lab consists of two main parts: The first part is a Learning Management System (SGA) containing all the menus, activities and tasks, agenda and access panel and control to the experiments. The second part is the physical part, that is, the remote experiment, which in this first version of LABCONM is the "Teleoperated Testing Machine for Compression Testing" (MDTEC). In the MDTEC control panel the student remotely controls and visualizes a real compression test and exports the data. An experimental learning activity was developed to guide the students in the search of the solution of the problem, thus generating learning the flow curve. To validate the laboratory, two types of tests were performed: The first one is functional and technical, which analyzes the results of the remote experiment, evaluating similarity and repeatability for didactic purposes. And the second test is an academic validation, which was divided into two parts. The first one was direct, and made by a group of students of the discipline of Mechanical Conformation, where they answered questionnaires after using the laboratory. The second stage was indirect, made by comparing test scores among students who "used" those who "did not use" the laboratory, in order to obtain the influence of the use of the laboratory in learning. The results of the technical and functional tests show that the MDTEC is an experiment that is able to perform real compression tests, providing data with good repeatability for survey of flow curves. In the evaluation of the students the LABCONM has demonstrated to have fulfilled with the objective of teaching-learning. Regarding the evaluation of the test applied with both groups of students with and without access to LABCONM, it was observed that there was a positive influence on the results of the group that visited the laboratory, since none of these students of the group had an unsatisfactory grade in the calculation.

Keywords: Remote Laboratory. Remote experiment. Compression Test. Flow Curve.

1 INTRODUÇÃO

A aprendizagem conceitual da Conformação Mecânica é complexa e difícil, pois envolve o conhecimento de símbolos, equações, teorias, procedimentos e princípios. Esta complexidade é natural, pois basicamente o conhecimento é uma abstração da realidade, resultado de experimentações, análises, estudos e padronizações.

Entretanto, o estudante da engenharia normalmente não passa por estas etapas de investigação e construção do conhecimento de forma interativa, pois usualmente este processo de aprendizagem é baseado nas explicações do professor e na interpretação de textos, ilustrações, fotos ou vídeos. Esta forma de aprender tradicional é muito eficaz, contudo, acredita-se que a observação, a interação, a prática e a experimentação são formas didáticas que podem complementar e potencializar o processo de aprendizagem na engenharia, tornando a teoria mais significativa ao estudante. Sem interação, os estudantes ficam passivos e a aprendizagem torna-se mais lenta (FABREGAS, *et al.*, 2011). Sem dúvida, a experimentação estabelece uma relação entre prática e teoria (PIMENTEL, 2007). Por esta razão, as experiências são fundamentais no processo de ensino, principalmente em engenharia e ciências experimentais (IKHLEF, *et al.*, 2014).

Alguns estudos mostram que o ser humano possui níveis cognitivos de aprendizagem que partem do mais simples ao mais complexo, indo desde a simples memorização, até capacidades mais altas, como realizar uma análise ou uma avaliação (FERRAZ e BELHOT, 2010). Para o estudante atingir níveis mais altos de aprendizagem sobre um determinado assunto, ele precisa de instrumentos, ferramentas e materiais que ajudem a dominar e potencializar estes conceitos com maior profundidade e qualidade. Portanto, a metodologia de ensino tem um papel fundamental no processo de organização de atividades de ensino-aprendizagem. Entretanto, nem sempre estão disponíveis recursos para desenvolver tais objetivos, devido aos custos elevados (KHAZRI, *et al.*, 2014), falta de espaço físico, ou por desconhecimento em relação às tecnologias entre outros motivos.

Pensando em disponibilizar a experimentação como forma de auxiliar a aprendizagem, soluções inovadoras têm sido criadas através dos avanços da Tecnologia da Informação e Comunicação (VALLS e VAL, 2013). Estas tecnologias, somadas com dispositivos e conhecimentos da automação e de outras áreas tecnológicas, têm desenvolvido novas formas de facilitar, tanto a pesquisa quanto o ensino na Engenharia, sendo que um destes meios mais promissores são os chamados laboratórios remotos

(LOWE, 2013). Com este novo conceito de Laboratório, é possível compartilhar um mesmo experimento entre vários usuários (IKHLEF, *et al.*, 2014). Muitas vezes os laboratório das Universidades possuem apenas um equipamento para aulas práticas, tornando-a meramente demonstrativa. Desta forma, pode-se reconhecer que os laboratório remotos, permitem disponibilizar um contato mais individualizados e interativo aos estudantes.

A vantagem de interagir com experimentos é poder desenvolver modelos mentais baseados na observação de conceitos e princípios criando uma aproximação com fenômeno real (GRUBER, *et al.*, 2010). Desta forma, o estudante pode ter uma atmosfera mais próxima daquela que originou a teoria. Por essa razão, o uso de experimentos didáticos online são recursos muito importantes para estudantes de engenharia (VILLA-LÓPEZ, *et al.*, 2013). De fato, o fator fundamental de se criar Laboratório Remotos é proporcionar uma proximidade maior com o processo de produção de conhecimento. Isto é, quando parte-se de um problema, o estudante busca na experimentação dados reais como sendo uma das fontes para o estudo dessa questão, e sem deixar a teoria de lado. O que deve ocorrer neste percurso é que a teoria ganha mais sentido e o estudante aprende a resolver problemas reais.

Corroborando com esta linha de pensamento, pesquisadores, consultores e empresários explicam com advento da 4ª revolução industrial, o trabalhador terá um papel criativo na resolução de problemas, quando confrontados com questões complexas dentro das grandes estruturas ciber-físicas das fábricas inteligentes (GORECKY, *et al.*, 2014). Portanto, é um profissional diferenciado, que deverá estar preparado para desafios e habilidades mentais que são poucos desenvolvidas na faculdade, como coletar, transformar e analisar dados antes da tomada de decisão.

Tendo em vista o desenvolvimento dessas capacidades mentais dos profissionais do futuro e a facilitação da aprendizagem na Conformação Mecânica, acredita-se que a estrutura dos Laboratório Remotos podem ser uma das pontes para desenvolvimento das habilidades mentais fundamentais dos futuros profissionais de engenharia. Uma das razões é que os Laboratório Remotos podem ser uma espécie de "prévia das futuras fábricas", onde o trabalhador identificará os problemas, fará o monitoramento e análises, contribuirá com o planejamento, tomará decisões e realizará os controles e monitoramento das máquinas inteligentes via celular, tablet, computador etc.

Pela vasta lista de vantagens e possibilidades, as pesquisas sobre Laboratórios Remotos vêm crescendo cada vez mais nos últimos anos. Este movimento visa acompanhar e aproveitar os recursos e novas tecnologias em prol da melhoria da educação tecnológica. Apesar dos avanços, existem poucos estudos voltados à criação de experimentação para aprendizagem nas áreas da Conformação Mecânica. Muitas das publicações recentes estão relacionada às áreas da engenharia: “**elétrica e eletrônica**” (FRAILE-ARDANUY, *et al.*, 2013; CALLAGHAN, *et al.*, 2013; NETO, *et al.*, 2013; FUERTES, *et al.*, 2013; A. CARPEÑO, 2014; TKÁC, SCHAUER e GERHÁTOVÁ, 2014; ROJKO e BAUER, 2014; HOBAR e SEMRA, 2014; REBIAI, TOUIDJEN e MOUISSAT, 2014), “**telecomunicações**” (VLASOV, *et al.*, 2013), “**física básica**” (OŽVOLDOVÁ, ŠPILÁKOVÁ e TKAC, 2014), “**biomedicina**” (BARROS, *et al.*, 2014) “**automação/robótica/control**” (DZIABENKO, *et al.*, 2012; IONESCU, *et al.*, 2013; PRIETO e MENDONZA, 2013; SANTANA, *et al.*, 2013; VERBELEN, *et al.*, 2013; BESADA-PORTAS, *et al.*, 2013; ZENZEROVIÉ, BELIN e SUIEÍÉ, 2013; CHAOS, *et al.*, 2013; GHORBEL, *et al.*, 2014; AYODELE, INYANG e KEHINDE, 2015) sendo mais raro encontrar algo voltado para o estudo das **propriedades mecânicas dos materiais**, como em (RESTIVO, *et al.*, 2009; MARCELINO, *et al.*, 2010; MICHELS, *et al.*, 2013; NASRI e ENNETTA, 2014) e mais raro ainda sobre deformação plástica como no trabalho de (TERKOWSKY, *et al.*, 2010).

Atualmente, o estudo de parâmetros como atrito (μ), temperatura (ϑ), tensão escoamento (k_f), deformação verdadeira (ϕ), velocidade de deformação ($\dot{\phi}$) entre outros são fundamentais para o planejamento e emissão de custos da fabricação por conformação por exemplo, e portanto, é relevante proporcionar aos estudantes, meios de facilitar a aprendizagem desses conceitos experimentais nas escolas. Porém, algumas dificuldades são encontradas para desenvolver experimentos remotos nesta área da engenharia, por inconvenientes como: manutenção de partes mecânicas, reposição de corpos de prova devido à deformação permanente (o que gera custo com material e mão de obra para produção), sensores de maior precisão e maior custo, uso de atuadores de maior força, precisão e custos de manutenção.

Com base neste conceito de experimentação remota uma questão é proposta: É possível construir um Laboratório de Experimentação Remota, para fins didáticos, de baixo custo, interativo, com acesso via internet para aprendizagem da Conformação Mecânica? Visando atender à esta problemática, o objetivo desta tese é criar um

Laboratório de Experimentação Remota que proporcione a aprendizagem dos conhecimentos básicos da Conformação Mecânica relacionados à deformação plástica.

Por duas razões, deve-se salientar que este Laboratório proposto não é um simples experimento remoto. Primeira razão, trata-se de um local (uma plataforma) na qual vários experimentos da área poderão ser incluídos, portanto não é um simples experimento isolado. E em segundo lugar, a estrutura desenvolvida do laboratório engloba atividades mais complexas como aquisição, controle, análise e estudo avançado, que coloca o estudante em interação com um equipamento real, onde ele obtêm dados para resolver um determinado problema, no qual ele solucionaria apenas com parâmetros prontos. Portanto, possuir uma máquina real não é a única finalidade deste laboratório, mas é o meio pelo qual o estudante resolve um problema aplicando, testando e aprendendo a teoria.

Considerando a relevância e a inovação que este estudo pode trazer ao ensino tecnológico e a pesquisa, os primeiros passos devem ser dados visando superar os desafios existentes na área da Conformação Mecânica e proporcionar avanços significativos à área da experimentação remota. Considerando que a área da pesquisa desta tese é o desenvolvimento de Laboratórios Remotos para Educação em Engenharia, a originalidade abrange os seguintes tópicos:

a) Inovação na área da Conformação Mecânica

Um projeto desenvolvido em parceria com as Universidades da Alemanha, Itália e Suécia (TERKOWSKY, *et al.*, 2010; TERKOWSKY, *et al.*, 2011) desenvolveu um laboratório remoto chamado (PeTEX) que objetivou a caracterização de materiais usando uma máquina de Ensaio de Tração Remota comercial. O projeto PeTEX é um dos laboratórios remotos que mais se aproximou da área da Conformação Mecânica, mas seu enfoque é apenas na caracterização do metal na forma tradicional da engenharia mecânica. PeTex é um projeto bastante caro, pois usa um máquina de ensaio de tração comercial de 250 kN, bem como, um robô para reposição dos corpos de prova. Sabe-se que ensaio de tração não é tão adequado quanto o ensaio de compressão quando se quer caracterizar parâmetros de um metal para fabricação de peças por Conformação Mecânica como Forjamento. E além disso, a plataforma PeTEX não disponibiliza qualquer conteúdo instrucional como vídeos ou apostilas sobre a área de fabricação por conformação plástica que pudessem auxiliar a usufruir dos dados do ensaio, nem atividades dirigidas para aproveitamento do potencial do Laboratório. Desta forma, observando as características de

trabalhos correlatos e especialmente da plataforma PeTEX, esta tese inova em relação a área de ensino por experimentação remota pois propõe um novo laboratório focado no ensino da Conformação Mecânica chamado Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM), o qual busca desenvolver a teoria básica da Conformação Mecânica através da experimentação remota.

b) Sistema de alimentação, posicionamento e descarte robotizado

Incluem-se também inovações como o mecanismo de alimentação, posicionamento e descarte dos corpos de prova, que é simplificado, porém robotizado. Foi produzido com a função de substituir o tradicional "operador", nas tarefas de posicionar o corpo de prova na região de compressão. O mecanismo foi todo desenhado em programa de modelagem 3D e foi fabricado em impressora 3D. Através deste mecanismo robotizado é que foi possível transformar a Máquina Didática de Ensaio de Compressão em um sistema totalmente teleoperado.

c) Embasamento em teorias de aprendizagem:

O ponto mais relevante de pensar os laboratórios remotos é que possuem um potencial muito valioso para aprendizagem e não podem ser vistos apenas como meros experimentos de observação. O que se deve ter em mente é que, o laboratório remoto é um ambiente em que o estudante pode "re-criar" o conhecimento, isto é, pode estar mais próximo do processo experimental em que o conhecimento (a teoria) foi produzido. Ele pode aprender a aprender. E portanto, o estudante pode atuar de forma ativa e investigativa, observando, levantando hipóteses, tirando conclusões ou comprovando princípios. O que se defende aqui é que, assim como em atividades de sala de aula, a qualidade do laboratório depende de como o professor conduz o processo de aprendizagem. Se o trabalho pedagógico for meramente demonstrativa com os experimentos, pode haver pouco aproveitamento. De outro lado, se a atividade de aprendizagem e a abordagem forem trabalhadas com uma base pedagógica, e aproveitando os recursos experimentais do Laboratório, os resultados do processo de ensino aprendizagem serão muito maiores.

Por essa razão, o diferencial desta tese é a estruturação das atividades de modo que proporcionem maior aproveitamento das potencialidades do experimento remoto, tornando-o mais do que um simples equipamento de experimentação e sim o um meio de

aprender. O que torna este diferencial primeiramente é a organização dos objetivos de aprendizagem através da taxionomia de Bloom, a qual auxilia na organização também da metodologia utilizada e da forma de avaliação da aprendizagem. Outra metodologia importante foi o uso da teoria de Gowin, as quais servem como guia na produção de uma aprendizagem que se baseia na interação entre teoria e prática para responder uma questão/problema. Portanto, estas teorias ajudam na montagem de uma

d) Uso do Raspberry Pi

Outra inovação desta tese é o dispositivo usado para coletar, controlar e gerenciar dados. Muitos experimento remotos usam equipamentos de alto custo que incluem servidores de dados e entre outros equipamentos. Nesta tese utilizou-se um moderno minicomputador, denominado Raspberry Pi, que é um dispositivo de baixo custo, de tamanho reduzido (equivalente ao de um cartão de crédito), mas com características de computador e de microcontrolador integrados. É um dispositivo que tem potencializado a aplicação da computação em diversas áreas e por isso é considerado relevante para o mundo em desenvolvimento (ALI, *et al.*, 2013). Porém, há poucas publicações sobre a aplicação do Raspberry Pi em experimentos remotos, alguns poucos exemplo são (MICHELS, *et al.*, 2013) e (JAMES, *et al.*, 2013). Neste ponto, a implementação do Raspberry Pi em um Laboratório remoto didático da área da conformação aplicado no controle e monitoramento de equipamento industrial é uma grande inovação nesta tese.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta tese foi desenvolver um laboratório de experimentação remota didático, na área da Conformação Mecânica caracterizado por uma interação teórico prática via internet. Para ter um nome mais simplificado, o Laboratório foi batizado de Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM).

1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um experimento remoto didático que realize um ensaio de compressão online e que forneça dados experimentais para construção de curvas de escoamento;

- Disponibilizar uma página de internet que permita gerenciar e executar o experimento remoto, bem como exportar os dados para construção de curvas de escoamento. Esta página de internet deve suportar agendamento, cadastro de usuários, publicação de vídeos, aulas, questionários e, submissão de arquivos dos estudantes.
- Adotar o Raspberry Pi como dispositivo de aquisição, automação, controle e processamento de dados do Laboratório Remoto, gerando a comunicação entre experimento remoto, usuário e página WEB.
- Aplicar o LABCONM com estudantes de Coformação Mecânica;
- Analisar a influência do LABCONM na aprendizagem de estudantes de Conformação Mecânica;
- Comparar as características do LABCONM com atividades práticas tradicionais das aulas de conformação mecânica.

1.3 Organização da Tese

Esta tese está organizada de modo a descrever o desenvolvimento do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM). No capítulo 2 está a revisão bibliográfica composta pelos subcapítulo 2.1 o qual descreve sobre laboratórios/experimentos remotos e suas tecnologias e o subcapítulo 2.2 que relata sobre aspectos pedagógicos de aprendizagem relativos à Taxionomia de Bloom, à teoria da aprendizagem significativa e às 5 questões de Gowin e sua metodologia de aprendizagem.

Nos capítulos 2.3 e 2.4 estão descritos os fundamentos da conformação mecânica usados no processo de levantamento de curvas de escoamento. São conceitos, símbolos, equações, procedimentos e representações fundamentais para obter os parâmetros, gráficos e funções para compor o processo de coleta e montagem dos dados de tensões e deformação de metais.

No capítulo 3 está descrita a metodologia de pesquisa e desenvolvimento da tese. Os principais pontos discutidos é o detalhamento do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM). Descrevendo os detalhes de elaboração da atividades de aprendizagem experimental, da fabricação e desenvolvimento da Máquina Didática Teleoprada de Ensaio de Compressão, bem como do procedimento de validação do laboratório.

No capítulo 4 estão os Resultados da aplicação do Laboratório Remoto de Conformação Mecânica com estudantes incluindo resultados, gráficos e discussões. E no capítulo 5 estão as conclusões finais da tese relacionando os objetivos com os resultados.

Um fluxograma geral do trabalho está representado pela Figura 1 de forma a resumir os processos de produção desta pesquisa.

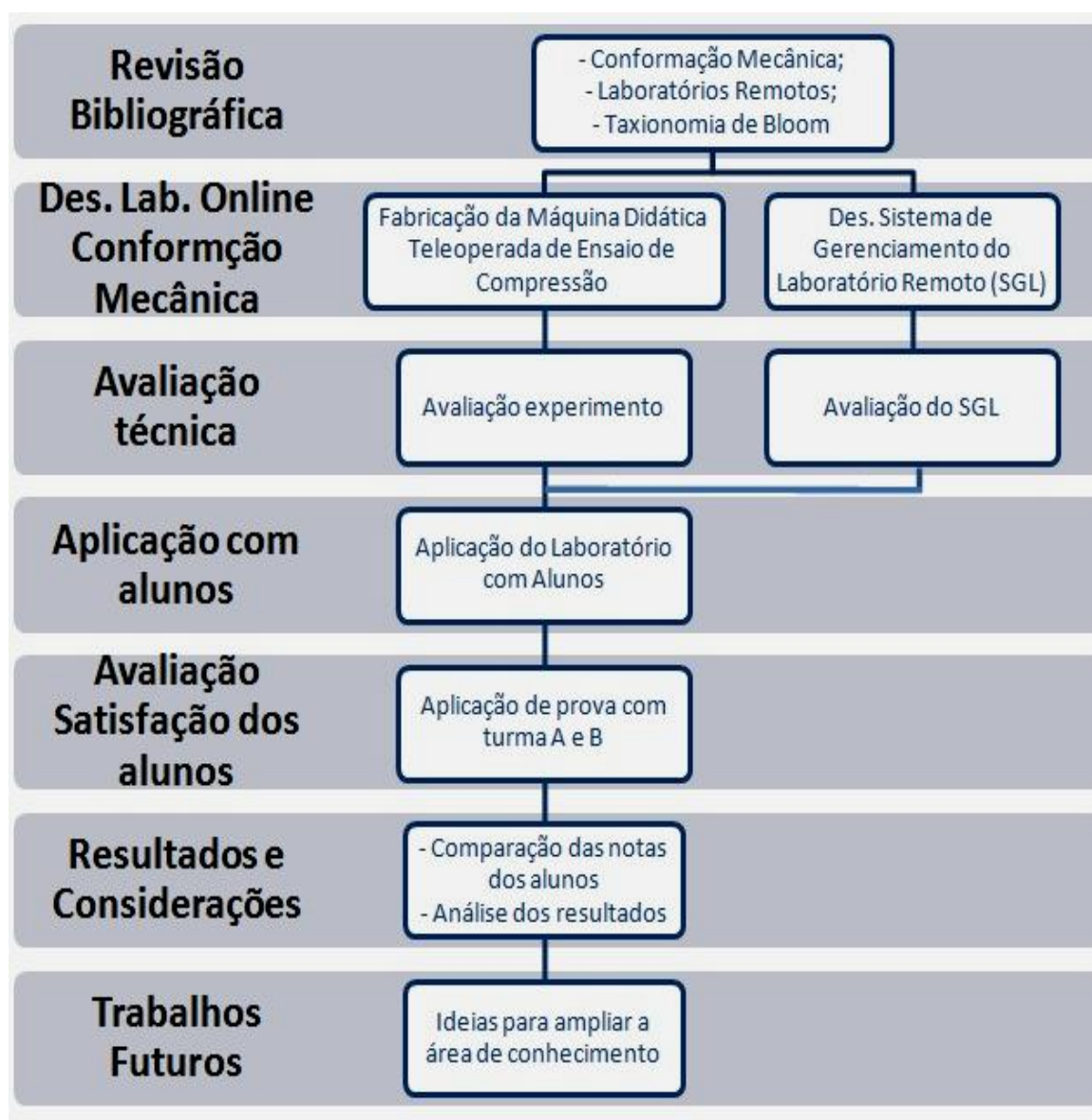


Figura 1 - Visão geral do desenvolvimento da Tese

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução aos experimentos remotos

A ideia de cursos a distância não é nova, surgiu por volta de 1728 por meio da correspondência. Em 1935 iniciou-se os cursos a distância usando transmissão de rádios (no Japão). Em 1956 iniciou-se a primeiras transmissões de cursos educativos pela televisão (nos Estados Unidos). Porém, somente a partir da evolução da internet houve a criação do conceito de E-learn, proporcionando maior interação entre estudantes e professores (SOUSA, R. ALVES e G. GERICOTA, 2010).

A ideia de WEB Based Laboratory, isto é, "Laboratórios via Internet" surgiram nos anos 80 com os avanços da internet (YAZIDI, *et al.*, 2011). Atualmente, com a evolução rápida das Tecnologias de Informação e Comunicação, as famosas TIC, têm trazido inúmeras contribuições para o desenvolvimento de Laboratórios via Internet. Tornando possível cada vez mais a criação de cursos interativos com transmissão de fluxo de áudio e vídeo em tempo real, compartilhamento de arquivos, comunicação instantânea e controle e monitoramento de experimentos reais de qualquer lugar do mundo através da internet. De forma geral, os experimentos e laboratórios remotos são ambientes para controle e administração de experimentos de forma online (TAWFIK, *et al.*, 2012).

Em anos recentes, a educação na Engenharia tem experimentado múltiplas mudanças como uma consequência de avanços nas tecnologias em diferentes campos da pesquisa e novas mudanças da indústria, principalmente por conta dos avanços nas tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) (VALLS e VAL, 2013; RAMOS-PAJA, SCARPETTA e MARTÍNEZ-SALAMERO, 2010). Estas mudanças têm provocado a reorganização do currículo acadêmico em um olhar para os novos modelos de tecnologias para multidisciplinaridade e aplicativos orientados a problemas (RAMOS-PAJA, SCARPETTA e MARTÍNEZ-SALAMERO, 2010). Os critérios de qualificação de novos engenheiros têm necessitado novas habilidades e competências de acordo com o mercado de trabalho (ANDÚJAR, MEJÍAS e MÁRQUEZ, 2011). Em todas as áreas da engenharia deve-se combinar a teoria e a prática (YAZIDI, *et al.*, 2011). Por essa razão a metodologia “aprender fazendo” tem papel fundamental de permitir que estudantes possam fortalecer ou entender fenômenos físicos através da prática. Percebe-se a partir disso, que as contribuições das práticas de laboratório na engenharia são inquestionáveis, pois permitem

que estudantes desenvolvam habilidades para resolução de problemas reais (ANDÚJAR, MEJÍAS e MÁRQUEZ, 2011).

Por mais de 10 anos muitas instituições educacionais ao redor do mundo têm encarado o desafio de adaptar os mecanismos tradicionais de Ensino/Aprendizagem para os hábitos modernos da sociedade, no qual a internet tornou-se a principal canal de transmissão de informações sobre qualquer assunto (VARGAS, *et al.*, 2011). Consequentemente, inúmeras universidades do mundo inteiro vêm desenvolvendo experimentos e laboratórios remotos. É importante considerar que ao contrário dos experimentos remotos que são mais simples e focados no controle e monitoramento, os laboratórios remotos são plataformas que possibilitam inclusive controlar, monitorar, coletar e analisar dados os dados do experimento visando um estudo mais aprofundado do assunto.

As vantagens de usar laboratórios remotos estão ligadas a economia de recursos, simulações de resolução de problemas práticos, segurança do estudante e a facilidade do acesso domiciliar ou de qualquer outro ponto fora da Universidade. Os laboratórios remotos em muitos casos podem operar durante 24 horas diárias 7 dias por semana (KRBECEK, SCHAUER e ZELINKA, 2014). Por tanto, são cruciais para que estudantes possam realizar práticas laboratoriais conforme suas agendas.

Através destes laboratórios remotos os estudantes têm visão do processo real do sistema e a capacidade deles pode ser aprimorada para aplicar teorias aprendidas em sala de aula ou em livros (SZIEBIG, TAKARICS e KORONDI, 2010; FARIAS, *et al.*, 2010). Por serem interativos permite que o estudante visualize simultaneamente a resposta do sistema (FARIAS, *et al.*, 2010). Experimentos remotos podem ser usados para aulas mistas (em Inglês Blended Education), em que o professor usa o experimento como preparativo para aula prática presencial (RESTIVO, *et al.*, 2009).

A estrutura básica de uma plataforma de experimentação remota é composta de um servidor de internet, um servidor de laboratório (ver Figura 2) e os experimentos. O servidor do laboratório é o computador onde ficam conectados os principais sistemas de aquisição de dados como sensores e controladores portanto este servidor é responsável por receber e enviar dados processadores pelas placas de aquisição de dados como PLC (Programmable Logic Controller), CPLD (Complex Programmable Logic Device), Microntroladores, FPGA (Field Programmable Gate Array) e outros. No servidor de laboratório também ficam instalados os programa de controle da instrumentação(TAWFIK,

et al., 2012). O servidor de internet é outra parte fundamental do laboratório remoto, pois é onde ficam hospedados os arquivos do sistema de gerenciamento. O sistema de gerenciamento é construído com tecnologias da computação como o J2EE, .NET, PHP, e por sistemas de banco de dados como MySQL e Oracle (LERRO, *et al.*, 2012; GUIMARÃES, *et al.*, 2011; TAWFIK, *et al.*, 2012) e serve armazenar a plataforma de controle do laboratório.

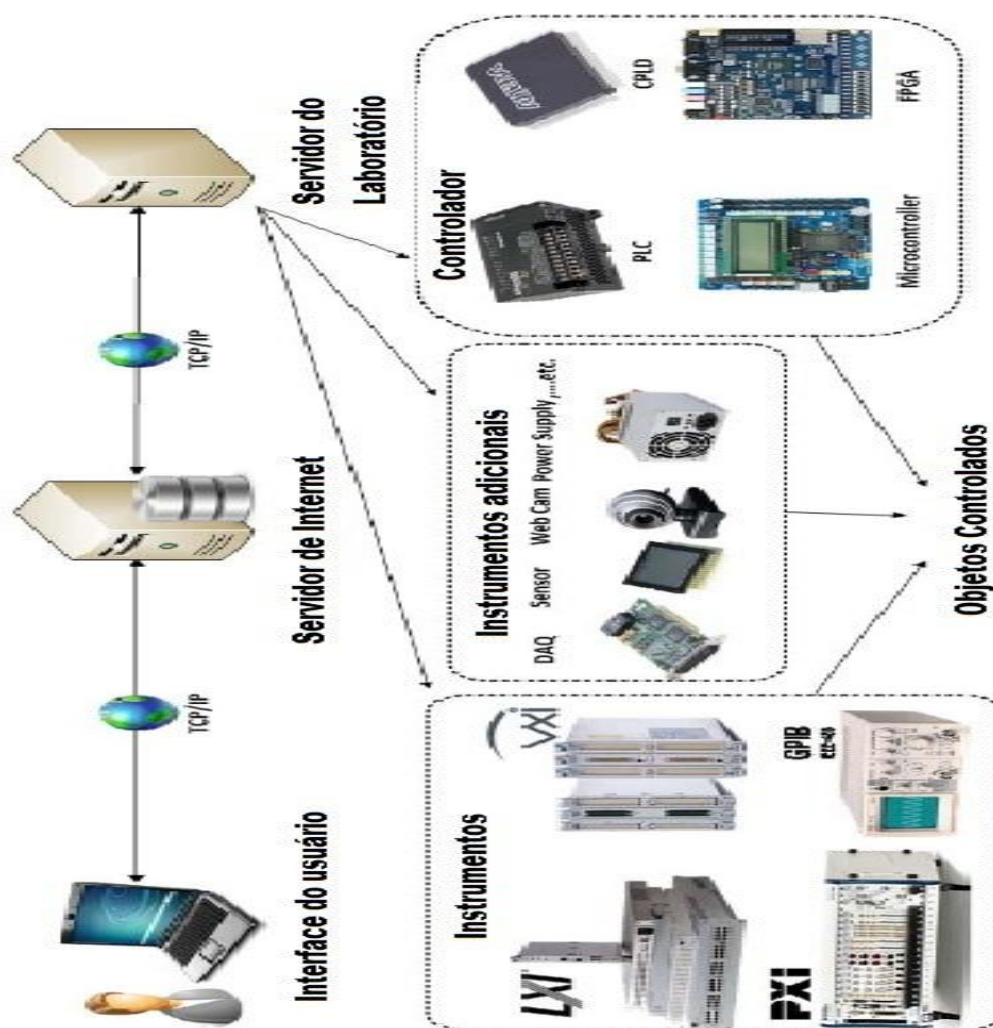


Figura 2 - Configuração comum dos laboratórios remotos

Fonte: (TAWFIK, *et al.*, 2012)

Os experimentos normalmente são equipamentos onde ficam conectados sensores, controladores e placas de aquisição de dados. Os dispositivos mais comuns são sensores, câmeras ou outros instrumentos pré-desenvolvidos para aplicações específicas. O computador do usuário é responsável por controlar o laboratório, monitorar parâmetros e

até assistir em tempo real a movimentação dos dispositivos atuadores do laboratório via câmera.

São vários os exemplos dos avanços que têm possibilitando conectar de forma cada vez mais fácil as pessoas. Cabe aos pesquisadores a busca por aproveitar este potencial, para expandir e produzir conhecimento através de experimentos remotos e as novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC).

O ensino da engenharia vem sendo beneficiado com os novos Laboratórios Remotos que tem sido criados a cada ano. As áreas que mais têm se destacado é a Engenharia Elétrica e de Automação e Controle. Entretanto não são só estas áreas que possuem experimentos. Conforme ilustra a Tabela 1, diversas áreas do conhecimento na engenharia estão sendo contempladas com Laboratórios Remotos Didáticos. A produção de Laboratório remoto cresce a cada ano e aos poucos várias áreas o conhecimento já possuem algum tipo de experimento didático para auxiliar aprendizes de várias partes do mundo.

Tabela 1 - Exemplos de áreas de ensino dos laboratórios remotos

Área da Engenharia	Ano	Fonte
Robótica (programação de Python, Lisp e MatLab)	2015	(CERVERA, <i>et al.</i> , 2015)
Mecânica (Transferência de Calor)	2014	(ENNETTA e NASRI, 2014)
Mecânica (Sistemas de Vibrações)	2014	(NASRI e ENNETTA, 2014)
Elétrica (Controle PID)	2014	(IKHLEF, <i>et al.</i> , 2014)
Elétrica (Circuito Oscilador)	2014	(LATRECHE, ZIARI e MOUISSAT, 2014)

2.1.1 Sistemas de gerenciamento da aprendizagem

Um dos recursos utilizados em laboratório remotos são os LMS (*Learning Management System*), que são Sistemas de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA). São programas criados para gerar ambientes de aprendizagem online que permitem ao professor criar atividades, publicar textos, vídeos e arquivos, avaliar e gerenciar estudantes, etc. Portanto, estes ambientes são uma abstração de um laboratório onde estudantes podem interagir e colaborar com outros colegas e professores (VARGAS, *et al.*, 2011). São muito usados no ensino à distância para gerenciar aulas, disciplinas, conteúdos etc.

Alguns *Learning Management System* (LMS) utilizados em laboratórios remotos são o Moodle usado em (SOUSA, R. ALVES e G. GERICOTA, 2010; RESTIVO, *et al.*, 2009; VALLS e VAL, 2013), o E-ducativa (LERRO, *et al.*, 2012) e o WEBCT (Blackboard). O Moodle tem a vantagem de ser open-source, enquanto que o WEBCT e o E-ducativa precisa de uma licença para executá-lo (VICENTE, *et al.*, 2010).

O Moodle (ver exemplo na Figura 3) é chamado de AVA (Ambiente virtual de aprendizagem), que permite ao estudante gerenciar remotamente recursos. O Moodle esta ganhando popularidade no E-learning, pois produz um ambiente de internet confortável para desenvolver aplicações que gerenciam documentos, fóruns, Bate papos e outros (VICENTE, *et al.*, 2010). Além disso, outros recursos podem ser integradas aos Sistemas de Learning Management System (LMS) para atender novas necessidades de ensino e aprendizagem.

The screenshot shows a Moodle LMS interface for LabTEL (Laboratório de Telecomunicações) at UFSC. The page title is 'Utilidade das prensas hidráulicas'. The navigation menu on the left includes 'Página inicial', 'Páginas do site', 'Meu perfil', and 'Curso atual' with a sub-menu for 'Prensa Didática' containing various topics. The main content area features a text block explaining the utility of hydraulic presses and a photograph of a blue industrial hydraulic press.

Figura 3 - Exemplo de site baseado na plataforma LMS Moodle

Fonte: LabTEL1

¹ Disponível em www.labtel.com.br

Muitas Universidades já utilizam *Learning Management System* (LMS) para que estudantes tenham acesso mais bem organizado à conteúdos disponibilizados pelos seus professores (presenciais ou à distância), inclusive para realizar avaliações virtuais, como em (CERVERA, *et al.*, 2015).

Sem dúvida a integração entre o Learning Management System (LMS) é importante, pois facilita a localização do laboratório remoto em local/plataforma que muitas vezes já conhecida pelos estudantes. Outro LMS é o e-educativa o qual tem configurações parecidos com as do Moodle, e integra serviços de informação, notícias, mensagens, chat, fóruns de discussão, repositório de software, wikis, pesquisas, videoconferências, avaliações, marcas, professores atualizados e dados dos estudantes, agenda de eventos, entre outros. De um ponto de vista técnico, o e-educativa LMS é desenvolvido em Perl e HTML com 4 idiomas (Inglês, Espanhol, Italiano, Português) e utiliza os sistemas de banco de dados MySQL.

Do ponto de vista de gestão permite:

- moldar manualmente perfis, tanto quanto seis diferentes dos usuários, definindo a partir do nome do perfil para as permissões: estudantes, assistentes, tutores, chefes, coordenadores, convidados;
- Dispõe variedade de acompanhamento e relatórios de estatísticas;
- Importar arquivos com grupos de usuários;
- Gerenciar recursos pedagógicos, anúncios, mensagens, fóruns de discussão e bate-papo, com uma variedade de ferramentas para editar e gerir os cursos, bem como avaliações (LERRO, *et al.*, 2012).

O VISIR Open Lab foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia Elétrica no Instituto de Tecnologia Blecking (BHT) é uma arquitetura produzida para acesso remoto de laboratórios Didáticos (SWARTLING, *et al.*, 2012).

Um sistema mais recente criado para interação e gestão de experimento remotos de nível universitário e escolas de ensino básico é o REMLABNET (SCHAUER, *et al.*, 2014). Este sistema permite que o estudante tenha vantagens das ferramentas pré existentes para implementar seus experimentos, mesmo que esteja em um nível muito iniciante. Dentre os recursos destes sistemas estão as funções de agendamento, simulação de fenômenos, liberação de acesso por teste, armazenamento banco de dados, quadro de ajuda e comunicação. Há também opções de permitir que os estudantes conectados ao sistema possam conversar entre si com um recurso de voz sobre IP.

2.1.2 Dispositivos de aquisição e processamento de dados

Uma dos elementos principais dos laboratórios e experimentos remotos é o dispositivo destinado à aquisição de sinais. Estas placas são dispositivos programáveis que com a função de fazer uma intermediação entre o experimento e o computador servidor de Internet (servidor WEB). Uma das suas funções é controlar dispositivos, pois podem enviar pulsos/sinais elétricos acionados de acordo com a programação interna ou por comandos vindos do servidor WEB. Outra função é coletar sinais emitidos por sensores. Tais sinais são convertidos em sinais interpretáveis pelo sistemas. Os dispositivos mais conhecidos são: PLC Controlador Lógico Programável (CLP) (ver exemplo na Figura 4); Dispositivos lógicos programáveis (PLD); *Field-Programmable Gate Array* (FPGA)(KOIKE, 2012), *Complex Programmable Logic Devide*) Dispositivo Lógico Programável e Complexo, e os Microcontroladores (PIC, Arduino (NETO, *et al.*, 2012), etc.) (TAWFIK, *et al.*, 2012). Normalmente estes dispositivos possuem portas de entrada e saída, tanto digitais quanto analógicas que são programadas conforme a necessidade do Laboratório Remoto.



Figura 4 - Controlador Lógico Programável (CLP)

Fonte: <http://img.diytrade.com/>

O dispositivo mais utilizado para aquisição de dados em experimentos remotos são os chamados DAQ card (Data Acquisition Card) (Ver Figura 5).

Estes cartões coletam e convertem sinais digitais e analógicos de sensores. Estas placas são conectadas através de portas USB ou via conexão de rede com ou sem fio (YAZIDI, *et al.*, 2011). Os DAQs podem ser complementados com módulos como o PXI e LXI da *National Instruments* feitos para aplicações desse tipo. Nestes dispositivos, normalmente usa-se o LabVIEW para desenvolver a plataforma de acesso ao experimento, contudo para se ter acesso remoto é necessário ter instalado no servidor do Laboratório Remoto o LabVIEW *WEBserver* (IKHLEF, *et al.*, 2014).



Figura 5 - Cartão de aquisição de dados - DAQ

Fonte: <http://www.nexusengiconsults.com/userimages/DAQ1.jpg>

A maioria dos dispositivos de aquisição de dados não são dedicados apenas para construção de laboratórios remotos. Entretanto, o ISES (Internet School Experimental System) ilustrado na Figura 6, é um dispositivo criado para controle, aquisição, coleta e processamento de dados em experimentos remotos.



Figura 6 - ISES com conexão PCI

Fonte: <http://www.ises.info/index.php/en/systemises>

ISES é um sistema em diversas versões, que variam pelo número de portas entrada/saída de dados ou da comunicação com o PC. Este sistema já vem com sensores para medição de: Corrente, tensão, temperatura, posição, resistência, força, som, etc (KRBECEK, SCHAUER e ZELINKA, 2014)

2.1.3 Raspberry Pi

Uma novidade no mundo tecnológico voltado para a aquisição, processamento e controle de dados é conhecido por Raspberry Pi (ver Figura 7). Na realidade o Raspberry foi criado recentemente para encorajar a inserção ciência da computação básica nas escolas.



Figura 7 - Raspberry Pi

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

A ideia iniciou através da Fundação Raspberry Pi, quando verificou que estava caindo o número de programadores amadores e as pessoas que estavam indo para a área da ciência da computação estava caindo.

A percepção dos criadores do Raspberry Pi foi de que este problema poderia ser reduzido através das escolas, onde ao invés de só ensinar a usar aplicativos, passariam a realizar a programação dos próprios programas, tornando a ciência da computação uma disciplina (EDWARDS, 2012).

Richarson e Wallace (2013) explicam que na verdade o Raspberry é um computador e pode ser usado realmente como um computador. Pode-se optar por iniciá-lo em um ambiente desktop gráfico com um navegador WEB, ou instalar uma grande variedade de programas para trabalhar. Além disso, o pequeno tamanho e preço baixo do Raspberry Pi, oferecem a possibilidade à muitos dispositivos que não poderiam ser automatizados à estarem conectados aos servidores de Internet ou redes domésticas (GOODWIN, 2013).

O Raspberry é considerado um minicomputador, pois possui o tamanho de cartão de crédito (TASNIM, *et al.*, 2014) e é montado em uma única placa mãe (DUDAS, *et al.*, 2014). O processador é ARM com 700MHZ de clock e a memória é de 512MB. Pode receber periféricos através das portas USB, HDMI e RCA, bem como se conectar à rede local através de cabo Ethernet (FERDOUSH e LI, 2014). Para armazenamento possui um leitor de cartão de memória SD (TASNIM, *et al.*, 2014).

Poucas coisas diferenciam o Raspberry Pi dos computadores normais, “uma das principais diferenças é que o Raspberry Pi pode ser usado diretamente em projetos de eletrônicos porque tem pinos de entradas e saídas direto na placa (RICHARSON e WALLACE, 2013)”. Esta característica sem dúvida é muito importante ao Raspberry, pois são as entradas e saídas que tornam possível o processo de aquisição e controle de sinais.

O Raspberry foi pensado em algo para que crianças pudessem explorar de forma natural, com baixo custo, as tecnologias de programação (EDWARDS, 2012). A arquitetura é como a do Arduino, ou seja é baseada no conceito *open-source*. (Código fonte-aberto). Uma das plataformas chamada *TargetR* de código aberto exibe uma sequência de conteúdos digitais em qualquer tela e fornece total acesso (controle e monitoramento) remoto através de uma interface de administração baseada na WEB (EDWARDS, 2012). O *TargetR* é uma plataforma utilizada nos sistemas Android (para celulares e tablets). Este recurso faz com que o Raspberry Pi possa carregar imagens, vídeos, canais (TARGETR LTD). Neste sentido o Pi pode ser usado como uma placa leitora para a sinalização digital TargetR. A empresa *CISECO*, usou o Pi para sistema de automação doméstica, interligando vários dispositivos diferentes, utilizando comunicação de radio frequência de baixa potência. Os planos da empresa é que cada dispositivo de uma casa desde lâmpadas até fogões tenha seu próprio endereço IP.

Características conexões e componentes do Raspberry Pi estão mais bem ilustradas na Figura 8 e detalhadas a seguir.

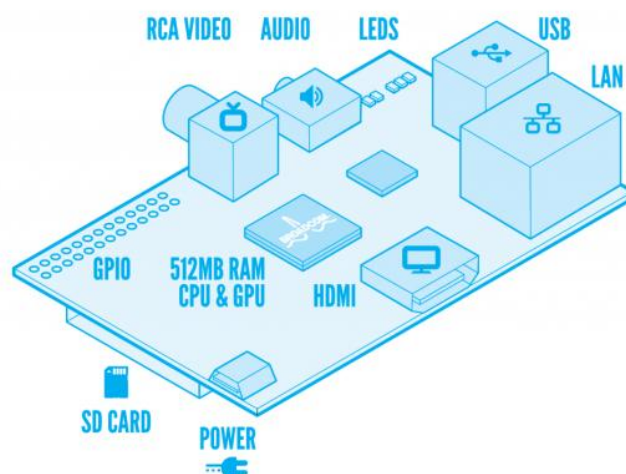


Figura 8 - Componentes do Raspberry Pi

Fonte: <http://www.raspberrypi.org/>

Onde: (ELINUX.ORG, 2013):

- a) USB – A conexão USB é um padrão de protocolo de comunicação muito usado atualmente. Nesta conexão é possível transferência de dados, até mesmo energizar o dispositivo quando conectado a um computador; Por esta porta também é possível usar um adaptador WiFi, fornecendo a capacidade de comunicação de rede de forma sem fio.
- b) HDMI: É uma conexão usada atualmente para ligação de dispositivos de reprodução de imagem e som de alta qualidade. Podendo ligar o Raspberry a monitores e televisores;
- c) Áudio: É uma conexão usada para transmissão de som. É a mesma conexão de fones de ouvido P2.
- d) LAN: É uma porta RJ45, padrão atual para ligação de computadores em rede. Esta porta é o canal direto entre o Pi e o computador.;
- e) RCA Video: É um padrão em conexões de vídeo usada em televisores;
- f) SD card: Usado para inserir cartões de memória SD. Com um cartão complementar é possível armazenar dados capturados ou processados pelo dispositivo.
- g) GPIO (General Purpose Input / Output): Trata-se de uma forma de comunicação feita por um conjunto de pinos (13x2=26) (detalhes na Figura 9), fornecendo transmissão de tensão, ou de dados. Alguns pinos GPIO fazem parte de protocolos de comunicação e são usados para comunicação entre outros dispositivos

complementares (como conversores). Os protocolos presentes são I2C, SPI, serial e UART. Existem também os pinos com função de alimentação de energia 3,3 e 5 volts e GND (terra) que servem para funções gerais de alimentação de sensores e dispositivos diversos.

A característica principal do Raspberry Pi, é que “não há uma única maneira de usá-lo, [...] é uma plataforma flexível para a diversão, utilidade, e experimentação (RICHARSON e WALLACE, 2013)”. Com estas funções é possível usar o Raspberry Pi para inúmeros formas de automação através da leitura de sensores, acionamento de dispositivos e captura de imagens, tornando possível monitorar e controlar equipamentos diversos. Por exemplo, ma aplicação realizada com Raspberry Pi foi a construção de uma pequena e compacta estação celular de tecnologia GSM. Considera-se esta uma prova de que apesar de barato é um dispositivo que pode gerar aplicações ou produtos de grande complexidade (EDWARDS, 2012). Atualmente, o Raspberry Pi está na versão 3 Modelo B, que oferece um número maior de recursos e melhor processador (que opera em 64 bits à 1,2 GHz) e 1GB memória RAM.

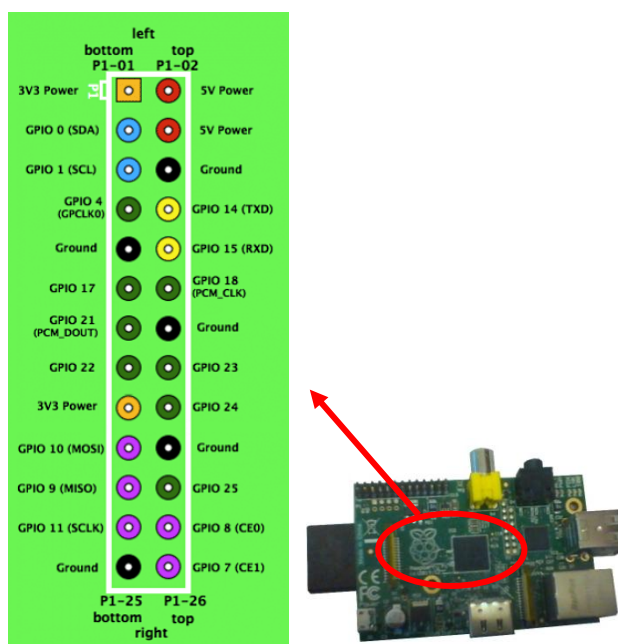


Figura 9 - Pinos conexão GPIO

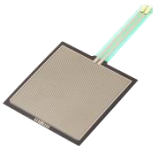


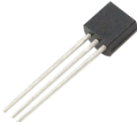



Fonte: <http://elinux.org/images/2/2a/GPIOs.png>

2.1.4 Sensores

Os sensores ou transdutores são elementos muito importantes no desenvolvimento industrial. Com eles é possível determinar diversas grandezas como temperatura, pressão, deslocamento, luminosidade, força e outros. Os sensores são componentes essenciais em sistemas de medição no campo da instrumentação (GRUBER, 2010).

Na Tabela 2 estão os principais sensores utilizados em automações industriais. O sensor é qualquer dispositivo sensível à determinada forma de energia presente no ambiente como, por exemplo, a luz, calor, movimento, distância, corrente, etc. (TOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2010).

Tabela 2 - Sensores industriais

Sensor	Fonte da imagem	Imagens
Sensor de força	http://www.robocore.net/upload/lojavirtual/178_1_M.png	
Sensor de deslocamento linear LVDT	http://img.directindustry.com/pt/images_di/photo-g/13783-3913247.jpg	
Sensor efeito Hall (Corrente)	http://www.robocore.net/upload/lojavirtual/206_1_H.png	
Sensor de temperatura	http://www.robocore.net/upload/lojavirtual/142_1_H.png	
Sensor de vibração	http://www.robocore.net/upload/lojavirtual/433_1_H.png	
Sensor temperatura infravermelho	http://www.robocore.net/upload/lojavirtual/342_1_H.png	
Sensor de força (célula de carga)	http://www.liderbalancas.com.br/imagens/produtos/individual/celula_de_carga_CS_250_500_1000_2000_5000kg.jpg	

Existem dois tipos principais de sensores: analógicos e digitais. Os sensores analógicos apresentam uma leitura mais ampla e ilimitada de valores para representar grandezas físicas tais como: temperatura, pressão e vazão. Isto é, os sinais variam conforme a grandeza varia. Estes sensores são acoplados a transdutores que transformam os sinais do sensor e sinais elétricos mensuráveis pelos microcontroladores. Os sensores muitas vezes são chamados apenas de transdutores, mas na verdade podemos dizer que o transdutor é um sistema completo composto de sensor e circuito de transformação (TOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2010). Entretanto, comercialmente, nem sempre os sensores vêm com um transdutor acoplado.

Ao contrário dos sensores analógicos, os sensores digitais não conseguem interpretar mais do que duas faixas de valores, resultando em apenas duas níveis saídas, acionado ou desacionado, correspondendo respectivamente a 1 (energizado) e 0 (desenergizado). Por exemplo, quando a temperatura, pressão ou outra grandeza supere determinado valor, o sensor é acionado, caso contrário ele desaciona. São exemplos de sensores digitais: termostatos e pressostatos, pois ligam ou desligam um circuito qualquer conforme uma determinada temperatura ou pressão respectivamente.

Nos laboratórios remotos da área mecânica os sensores são tecnologias essenciais para que se possam coletar dados sobre o fenômeno em estudo. Grandezas como: deslocamento, velocidade, posição, vibração, pressão, temperatura, força, vazão só são possíveis devido a esses aparatos criados principalmente para suprir monitoramento de máquinas operatrizes ou equipamentos de ensaio, industriais.

2.1.5 Tecnologias para programação dos experimentos

Os sinais recebidos pelas placas de aquisição de dados são processados pelos programas que ficam instalados nos servidores dos laboratórios. Estes programas são adicionados aos sites ou aos *Learning Management System* (LMS) para proporcionar a interação do usuário com o experimento.

Para produzir estes os sites são utilizados alguns recursos da área de computação, programação e engenharia, dentre eles estão: JAVA (NETO, *et al.*, 2012), HTML (GARAIZAR, VADILLO e LÓPEZ-DE-IPÍÑA, 2012), PEARL (LERRO, *et al.*, 2012), Python, MatLab (GUIMARÃES, *et al.*, 2011), HTML5, JavaScript, JSON (ZORNIG, CHEN e DINH, 2012), C#, C/C++ (TAWFIK, *et al.*, 2012), Visual Basic (NASRI e ENNETTA, 2014).

O programa LABVIEW foi criado para facilitar a produção dos site que possuem experimentos remotos, sendo considerado um dos mais populares. É um programa baseado na linguagem em JAVA e requer a instalação do Java Runtime Environment (JRE) no computador do usuário (TAWFIK, *et al.*, 2012). Diferentemente de outros sistemas esta é uma linguagem de programação gráfica e não por texto (YAZIDI, *et al.*, 2011), e é amplamente usada entre estudantes para montar laboratórios virtuais e remotos (SOUSA, R. ALVES e G. GERICOTA, 2010) de forma intuitiva, bem como para criar sistemas industriais de monitoramento, de testes e de controle (TAWFIK, *et al.*, 2012). As versões mais completas mostram o diagrama de blocos do projeto (YAZIDI, *et al.*, 2011). Essa é uma tecnologia padrão no campo da aquisição de dados. Uma pequena desvantagem ao usuário final nesta linguagem é que o acesso ao experimento precisa ter instalar um programa adicional ao navegador (SOUSA, R. ALVES e G. GERICOTA, 2010; TAWFIK, *et al.*, 2012). O LabVIEW é conhecido por dispor de Instrumentos Virtuais (Virtual Instruments - VI), pois possibilita inserir na área de trabalho do programa, painéis idênticos aos instrumentos reais (ver exemplos de instrumentos virtuais na Figura 10).

Para que o LabVIEW trabalhe em modo remoto é necessário instalar o Internet Toolkit (YAZIDI, *et al.*, 2011). E com a instalação do DataSocket, o LabVIEW pode realizar também a troca de dados entre usuários e aplicativos pela internet sem necessidade de programação TCP de baixo nível (TAWFIK, *et al.*, 2012).

O RESTLab é uma arquitetura que está sendo desenvolvida para facilitar a criação de ambientes remotos educacionais. A tecnologia aproveita recursos atuais da internet como o html5, JavaScript, JSON, APP, e API, e deve facilitar pessoas não programadores a criarem seus próprios sistemas didáticos remotos (ZORNIG, CHEN e DINH, 2012). Esta arquitetura iniciou pela vontade de aumentar o crescimento da comunidade de desenvolvedores de experimentos remotos. Elimina-se com esta arquitetura muitas dificuldades encontradas pelos programadores principiantes. Além disso, a necessidade de criar ambiente sem que o usuário tenha que baixar qualquer arquivo (applets por exemplo). Esta plataforma é um avanço, pois possui um Learning Management System (LMS) integrado ao experimento. Isso faz mais sentido, pois dessa forma o estudante não precisa entrar em outro ambiente para acessar o experimento. Neste caso, após acesso ao Learning Management System (LMS), o estudante apenas terá que acessar o link e desfrutar do experimento no mesmo ambiente. (SCHULZ, RUDD e PAYNE, 2012)

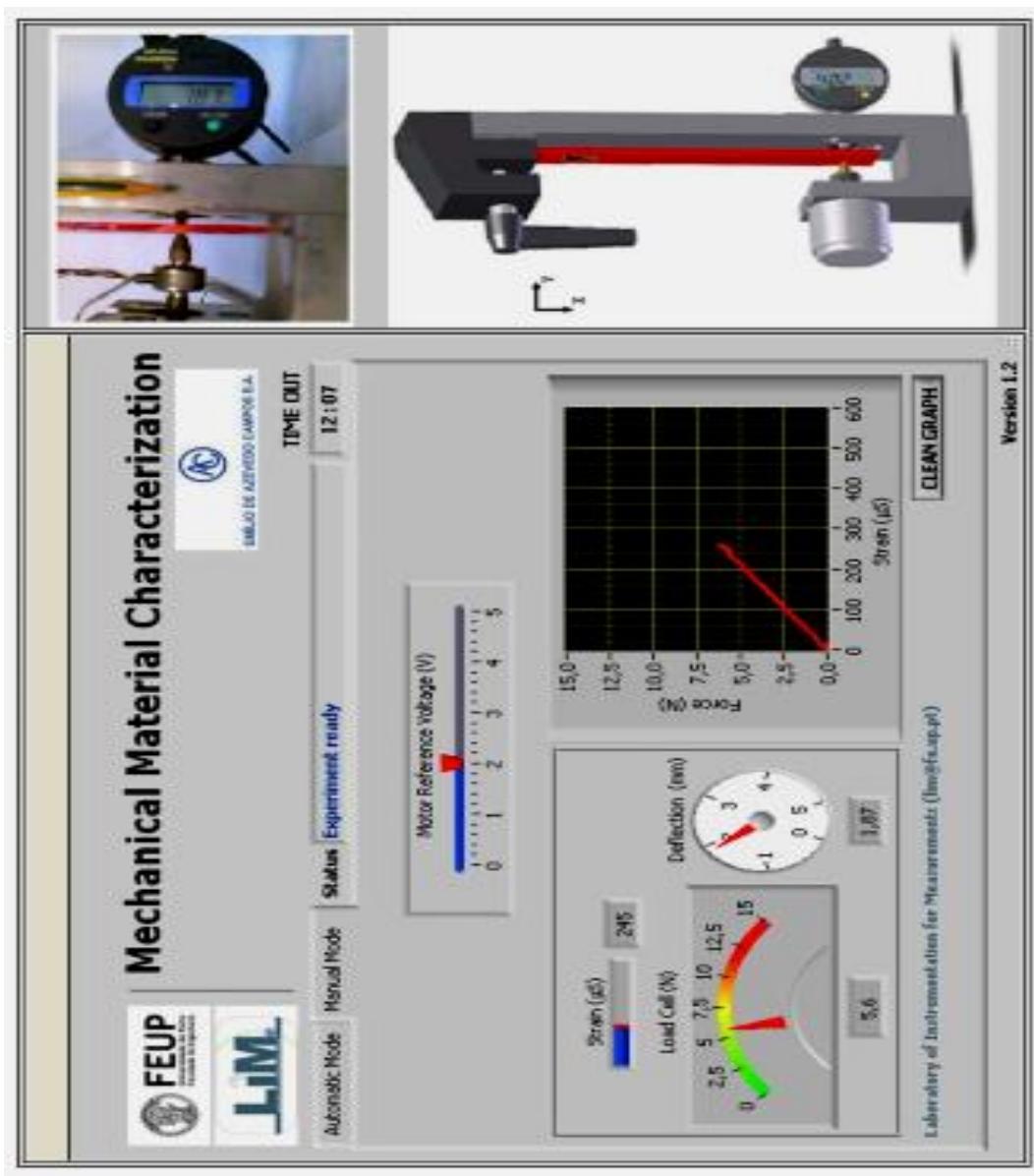


Figura 10 - Exemplo de laboratório programado com LabVIEW

Fonte: (RESTIVO, *et al.*, 2009)

No lado do usuário (Estudante) é importante que o acesso seja via navegador de internet e não por um programa que deve ser instalado. Nestes casos uma linguagem de programação mais adequada do que as disponíveis nos navegadores deve ser utilizada em alguns casos. Em termos de arquitetura, acredita-se que o Microserver, solução baseada em AJAX, é a mais evoluído (GUIMARÃES, *et al.*, 2011)

2.1.6 MatLab: Popularidade e flexibilidade

O MatLab é considerado uma linguagem de programação computacional de alto nível muito difundida na comunidade científica, que permite realizar simulação numérica computacional para desenvolvimento de algoritmos, visualização e análise de dados. Este programa é usado em diversas áreas da ciências exatas para encontrar soluções numéricas, pois é um software útil para processamento de cálculos matemáticos (RAMOS-PAJA, SCARPETTA e MARTÍNEZ-SALAMERO, 2010; TAWFIK, *et al.*, 2012; FARIAS, *et al.*, 2010). Em vista disso, o MatLab vem sendo integrado em alguns laboratórios remotos para análise e interpretação de dados como forma de aprendizagem e prática deste programa. Entretanto, ele é um programa pago. Alguns laboratórios possuem integração ao Matlab com outras aplicações como LabVIEW (TAWFIK, *et al.*, 2012), o Easy Java Simulations (FARIAS, *et al.*, 2010), Real Toolbox Time Workshop, Simulink (SANTANA, *et al.*, 2013).

Os Toolboxes, são pacotes complementares oferecendo maiores possibilidades de aplicações e troca de dados entre softwares e o Matlab (TAWFIK, *et al.*, 2012). Em experimentos da Engenharia de Controle e automação o uso do MatLab é essencial. Para que ele possa ser usado em tempo real, um servidor central que possua o Matlab e que esteja conectado via internet pode fornecer serviço de simulação e compilação remota sem instalar o MatLab no computador local do lado do usuário (QIAO, *et al.*, 2010). Essa tecnologia possibilita de manter um servidor localizado em qualquer lugar do mundo. Para ocorrer a simulação e a compilação o Matlab precisa do pacote Simulink e do Real-time Workshop Toolbox (RTW). Para que seja fornecido o acesso remoto há necessidade de ter o compilador GCC e mais alguns programas em Java. O que torna possível também, o acesso simultâneo de usuários em tarefas de simulação e compilação (QIAO, *et al.*, 2010).

Um interessante aplicação de código aberto semelhante ao MatLab é conhecida por SciLab (RAMOS-PAJA, SCARPETTA e MARTÍNEZ-SALAMERO, 2010; FARIAS, *et al.*, 2010). Com o SciLab torna-se possível o acesso à este tipo de linguagem de alto nível com um menor custo.

2.1.7 Controle de acesso aos laboratórios e experimentos remotos

Uma das desvantagens dos experimentos e laboratórios remotos é que por terem funções reais fisicamente não há como ter o controle e acesso simultâneo de um mesmo experimento por mais de um usuário, por isso precisam de um sistema a parte para gerenciar este acesso (MAITI, 2010; LOWE e OROU, 2012; QIAO, *et al.*, 2010;

RESTIVO, *et al.*, 2009; VARGAS, *et al.*, 2011; GUIMARÃES, *et al.*, 2011). Por conta desta limitação alguns laboratórios são preparados para que o estudante ao acessar o sistema, as suas primeiras atividades sejam leitura de manuais, análise de dados entre outras tarefas que não ocupem o experimento remoto prático o tempo inteiro (MAITI, 2010). Entretanto, essa estratégia não garante que não ocorra o acesso simultâneo ao experimento.

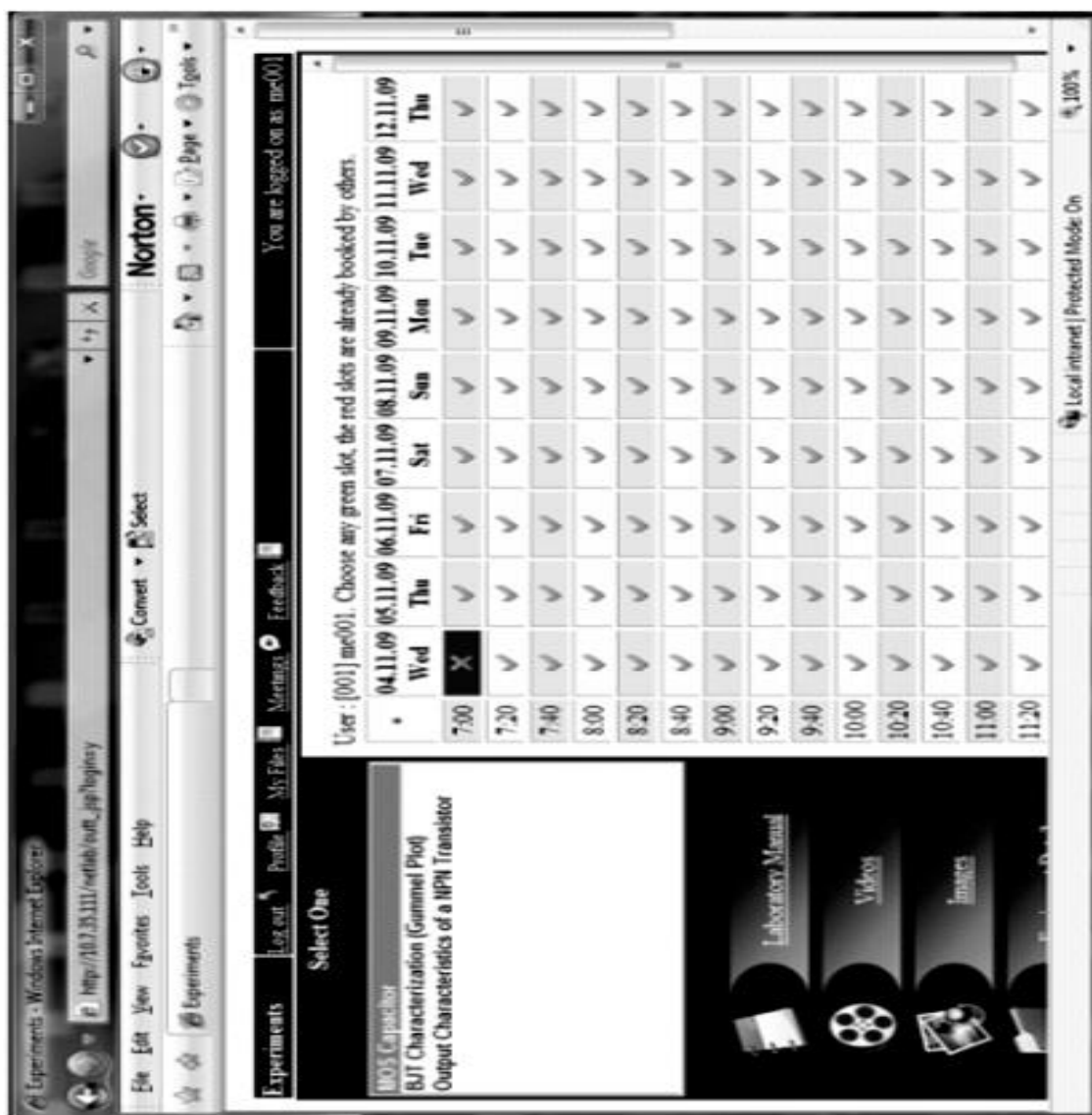


Figura 11 - Aplicação de agendamento para experimentos remotos

Fonte: (MAITI, 2010)

Baseado nisso, além do recurso do bloqueio automático do acesso de mais que um usuário, o sistema pode direcionar o usuário para uma aplicação de agendamento, para que ele possa se cadastrar em uma faixa de tempo livre na agenda, possibilitando executar o experimento em horário especificado por ele (MAITI, 2010). Um exemplo de sistema de agendamento está ilustrado na Figura 11. Os critérios de decisão sobre qual metodologia usar dependem do número de usuário simultâneos, plataformas disponíveis e o tempo de uso de cada usuário (LOWE, 2013).

2.1.8 Embasamento Pedagógico para Desenvolvimento do Laboratório Remoto

Uma das poucas metodologias utilizadas para aproveitar melhor as vantagens dos Laboratórios remotos é a PBL (Aprendizagem baseada em problemas) utilizada em (RAMOS-PAJA, SCARPETTA e MARTÍNEZ-SALAMERO, 2010)(SAVIN-BADEN, 2012). Aprendizagem baseada em problemas surgiu de um desejo de dar à estudantes a oportunidade de aplicar técnicas e teorias em problemas ou cenários de dentro do ambiente profissional ou clínica, proporcionando à colaboração com colegas e o uso de recursos do contexto da vida real de aplicação.

Outra forma organizada pedagogicamente é o laboratório UniSchoolLab desenvolvido na Europa pois possui um kit didático com modelos de planos de aula baseado na teoria IBSE (Inquiry Based Science Education) que facilita a aprendizagem e ajuda o professor na montagem de uma aula de experimentação remota (CHIOCCARIELLO, CEREGINI e TAVELLA, 2012).

Dependendo da profundidade de conhecimento necessário para realização da experimentação remota, um roteiro e outras estratégias criadas com algum embasamento teórico pedagógico são essenciais para não deixar que estes recursos inovadores de aprendizagem se tornem pouco aproveitados didaticamente.

2.2 PROCESSOS DE APRENDIZAGEM

A aprendizagem é um processo próprio do ser humano feito através de diversas formas de contato com a realidade. Os livros, sons, vídeos, fotos, experiências são símbolos, abstrações produzidas pelo processo de aprendizagem e produção do conhecimento. Portanto, aprender vai muito além de memorizar informações.

Na escola, o processo de ensino é algo complexo e o professor precisa ter claros e coerentes três pontos principais: os objetivos de aprendizagem, a metodologia de ensino e a forma de avaliar a aprendizagem dos estudantes.

De acordo com Krathwohl (2002),

a taxionomia dos objetivos educacionais de Bloom é um esquema para classificação das metas, objetivos e [...] dos padrões educacionais. Ele fornece uma estrutura organizacional que dá um significado com entendimento comum para classificar suas categorias, melhorando assim a comunicação.

A taxionomia de Bloom pode ser usada também para examinar o alinhamento de um currículo para poder decidir onde e como melhorar o planejamento e o desenvolvimento das aulas (KRATHWOHL, 2002). Para Raths (2002) a taxionomia de Bloom é um instrumento que possibilita “[...] revisar planos de aula para assegurar que os objetivos, atividades e avaliações estão corretamente alinhados”. A avaliação é um ponto importante da taxionomia, pois se feita coerentemente alinhada com a metodologia, reduz os riscos que o professor têm de exigir capacidades e conhecimentos maiores do que àquelas desenvolvidos durante o processo de aprendizagem. E assim não privilegia aqueles com capacidades de raciocínio e entendimento prematuros. Observado-se estas premissas o professor garante mais qualidade do processo avaliativo.

Desta forma a taxionomia de Bloom não é um instrumento ao estudante, mas sim ao professor para determinar de forma mais coerente seu plano de ensino, alinhado aquilo que ele espera do estudante e aquilo que ele ensina, facilitando a decisão da melhor metodologia de ensino e dos instrumentos mais adequados.

A base desta teoria é classificar as formas como o ser humano aprende em categorias, que são chamadas de domínios. Existem três domínios: Cognitivo, afetivo e psicomotor.

- a) O domínio Cognitivo é classificado em 6 níveis de categorias. Eles estão relacionadas ao desenvolvimento intelectual da pessoa, ao aprender e dominar um conhecimento, bem como desenvolver habilidades e atitudes. Estes níveis são organizados em grau de capacidade do mais simples para o mais complexo (FERRAZ e BELHOT, 2010). E estão classificados da seguinte forma (OMAR, *et al.*, 2011):
 - Nível de Conhecimento: É também chamado de nível da lembrança, é uma aprendizagem mecânica uma memorização. É o nível mais baixo da hierarquia.

Neste nível o estudante consegue lembrar ou memorizar fatos e lembranças do conhecimento aprendido anteriormente.

- Nível da Compreensão: É descrito como um nível onde o estudante aprende o significado da informação. A habilidade de interpretar, traduzir, extrapolar, classificar e explicar pertencem a este nível.
- Nível de Aplicação: se caracteriza por aplicar o conceito em certo contexto.
- Nível de Análise: Neste nível os estudantes separam a informação em partes para análise. Implica em classificar, fazer relações, suposições e distinções.
- Nível de Síntese: Se o estudante consegue atingir este nível pode estar hábil para integrar ou combinar ideias ou conceitos para rearranjar componentes em um novo produto, plano, modelo ou proposta.
- Nível de Avaliação: Neste último nível o estudante tem condições de julgar, defender e criticar a própria criação (OMAR, *et al.*, 2011).

A Tabela 3 oferece uma visão esquemática nos níveis cognitivos correlacionando os principais verbos usados no processo de construção dos objetivos de aprendizagem.

- b) O domínio afetivo relaciona o sentimento e posturas ligados ao desenvolvimento emocional e afetivo, tais como comportamento, atitude, responsabilidade, respeito, emoção e valores. Nesta categoria os níveis são: Receptividade, Resposta, valorização, organização e Caracterização.
- c) Por outro lado, o domínio psicomotor é uma categoria relacionado às habilidades físicas e específicas. Na categoria do domínio psicomotor existem seis níveis de aprendizagem relacionadas à reflexos, percepção, movimentos aperfeiçoados e comunicação não verbal. Os níveis são: a imitação, manipulação, articulação e naturalização. Na engenharia o domínio cognitivo apresenta maior relevância na formação dos profissionais e acaba sendo a mais complexa de ser desenvolvida.

A taxonomia de Bloom tem sido usada de forma sistemática no campo da educação (OMAR, *et al.*, 2011) e já sofreu mudanças em 2001 por um grupo de pesquisadores, os quais fizeram uma revisão e atualização da Taxonomia de Bloom apresentada em 1956. As principais alterações foram que os verbos e substantivos deveriam pertencer a dimensões separadas na qual os substantivos formariam a base para a

dimensão conhecimento (o que) e verbo para a dimensão relacionada aos aspectos cognitivos (o como) (FERRAZ e BELHOT, 2010).

Tabela 3 - Níveis cognitivos

Conhecimento	Memorizar alguns conceitos de estatística que está sendo aprendido	Definir, nomear
Compreensão	Compreender os fatos, informações ou subjacentes ou seja, para as estatísticas que estão sendo estudados	Explicar, discutir, interpretar
Aplicação	Usando a compreensão sobre o conceito, princípios estatísticos em problemas específicos.	Resolver, calcular
Análise	Resolvendo casos estatísticos por dividir em partes menores	Analisar, comparar
Síntese	Integrando técnicas para realizar procedimentos estatísticos.	Sugerir, construir, prever
Avaliação	Fazendo consideração ou julgar certos casos estatísticos.	Concluir, escolher, provar

Fonte: (JUDI, *et al.*, 2012)

Essa observação levou a nova equipe a perceber o conhecimento em dois tipos: (1) conhecimento como processo e (2) conhecimento como conteúdo assimilado (FERRAZ e BELHOT, 2010). Baseado nestas conclusões, foi alterada a dimensão “cognitiva” e criada uma classificação denominada “conhecimento”. As principais mudanças da dimensão cognitiva estão ilustradas na Tabela 4. As principais alterações foram no item 1 que antes se chamava “conhecimento” e agora passou a se chamar lembrar. O item 5 chamava-se síntese foi para posição 6 da tabela com novo nome (criar). No item 6 chamava-se avaliação e foi trocado para posição 5 (Avaliar).

Tabela 4 - Mudanças da dimensão cognitiva

Níveis	Dimensão cognitiva (Antiga)	Dimensão Cognitiva (nova)
1	Conhecimento	Lembrar
2	Compreensão	Entender
3	Aplicação	Aplicar
4	Análise	Analisar
5	Síntese	Avaliar
6	Avaliação	Criar

Fonte: Autor

A nova dimensão cognitiva baseou-se na primeira classificação da cognição e foi distribuída conforme detalhamento da Tabela 5.

Os níveis da dimensão cognitiva poderiam ser classificados pela ordem de complexidade conforme ilustra a Figura 12. Nesta ilustração uma pirâmide fornece a ideia de que na base está a capacidade mais simples, porém com mais participação na realização de atividade superior. Isto é, para adquirir uma habilidade deve dominar a habilidade do nível anterior.

Tabela 5 - Detalhamento da nova dimensão Cognitiva da Taxionomia de Bloom

Dimensão cognitiva	Descrição
1. Lembrar	Relacionado a reconhecer e reproduzir ideias e conteúdos. Reconhecer requer distinguir e selecionar uma determinada informação e reproduzir ou recordar está mais relacionado à busca por uma informação relevante memorizada. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Reconhecendo e Reproduzindo.
2. Entender	Relacionado a estabelecer uma conexão entre o novo e o conhecimento previamente adquirido. A informação é entendida quando o estudante consegue reproduzi-la com suas “próprias palavras”. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Interpretando, Exemplificando, Classificando, Resumindo, Inferindo, Comparando e Explicando.
3. Aplicar	Relacionado a executar ou usar um procedimento numa situação específica e pode também abordar a aplicação de um conhecimento numa situação nova. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Executando e Implementando.
4. Analisar	Relacionado a dividir a informação em partes relevantes e irrelevantes, importantes e menos importantes e entender a inter-relação existente entre as partes. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Diferenciando, Organizando, Atribuindo e Concluindo.
5. Avaliar	Relacionado a realizar julgamentos baseados em critérios e padrões qualitativos e quantitativos ou de eficiência e eficácia. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Checando e Criticando.
6. Criar	Significa colocar elementos junto com o objetivo de criar uma nova visão, uma nova solução, estrutura ou modelo utilizando conhecimentos e habilidades previamente adquiridos. Envolve o desenvolvimento de ideias novas e originais, produtos e métodos por meio da percepção da interdisciplinaridade e da interdependência de conceitos. Representado pelos seguintes verbos no gerúndio: Generalizando, Planejando e Produzindo.

Fonte: (FERRAZ e BELHOT, 2010)

Os pesquisados perceberam que a primeira categoria, antes chamada de conhecimento deveria ser enquadrada como uma nova dimensão, pois há uma relação entre ela e os demais processos cognitivos. As capacidades humanas estão ligadas ao “o quê” e o “como” manipular a realidade e o conhecimento preexistente (FERRAZ e BELHOT,

2010). Então, para garantir que o objetivo de aprendizagem fosse mais bem elaborado verbos e substantivos deveriam pertencer a dimensões separadas na qual os substantivos formariam a base para a dimensão conhecimento (o que) e verbo para a dimensão relacionada aos aspectos cognitivos (como) (FERRAZ e BELHOT, 2010).

A dimensão conhecimento criada ficou descrita conforme o Figura 12, onde se encontram 4 subcategorias. A subcategoria Metacognição foi uma novidade em relação à classificação anterior. A subcategoria metacognição tem se tornado cada vez mais importante na área educacional uma vez que a possibilidade de autoaprendizagem e o controle do aprendizado relacionado à autonomia de aprender deve ser um processo cada vez mais consciente e passível de medição.

Isso é possibilitado pela utilização da tecnologia da comunicação na educação, a criação de novas oportunidades educacionais e a popularização da modalidade à distância (FERRAZ e BELHOT, 2010). Dessa forma foi criada a tabela bidirecional de Bloom que relaciona o conhecimento e as capacidades cognitivas ficando conforme a Tabela 6 que ajuda a definir os objetivos de aprendizagem de forma mais detalhada. Esta tabela pode classificar os objetivos, atividades e avaliações fornecendo uma clara e concisa representam visual de uma unidade curricular ou curso (KRATHWOHL, 2002). Observe-se que, em cada objetivo, o gerúndio do verbo possibilita que seja esclarecido o “quê” e “como” avaliar, e se o objetivo foi ou não alcançado (FERRAZ e BELHOT, 2010).

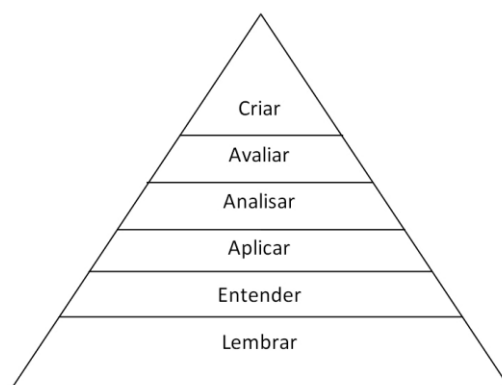


Figura 12 - Pirâmide ilustrativa dos níveis da dimensão cognitiva

Fonte: adaptado de (FERRAZ e BELHOT, 2010)

Assim, pensando os objetivos em termos de verbos, substantivos e gerúndios, é possível escolher estratégias, conteúdos e instrumentos de avaliação eficazes e efetivos. A

montagem da tabela deve iniciar-se a partir da definição dos objetivos específicos da disciplina, curso ou conteúdo (FERRAZ e BELHOT, 2010).

É uma estrutura para classificar afirmações daquilo que esperamos que estudantes precisam aprender no final de uma atividade instrucional qualquer (KRATHWOHL, 2002). Na verdade, o ser humano produz conhecimento a partir de sua prática, mas também produz ou pode orientar sua prática através de teorias. Este último processo torna-se mais complexo, que demanda diversos fatores para acontecer, por isso é o caminho em que os estudantes podem apresentar maiores dificuldades, como quando o estudante apresenta pouco conhecimento prévio sobre o assunto ou área, quando nunca observou o fenômeno em estudo, se apresenta dificuldades de abstração entre outros fatores.

Tabela 6 - Tabela bidirecional da taxionomia de Bloom

Dimensão conhecimento (O quê?)	Dimensão cognitiva (Como?)					
	Lembra r	Entende r	Aplicar	Analisar	Sintetiza r	Criar
Efetivo/factua l	Objetivo 1.1	Objetivo 2.1	Objetivo 3.1	Objetivo 4.1	Objetivo 5.1	Objetivo 6.1
Conceitual	Objetivo 1.2	Objetivo 2.2	Objetivo 3.2	Objetivo 4.2	Objetivo 5.2	Objetivo 6.2
Procedimenta l	Objetivo 1.3	Objetivo 2.3	Objetivo 3.3	Objetivo 4.3	Objetivo 5.3	Objetivo 6.3
Metacognitiv o	Objetivo 1.4	Objetivo 2.4	Objetivo 3.4	Objetivo 4.4	Objetivo 5.4	Objetivo 6.4

Fonte: (FERRAZ e BELHOT, 2010)

O processo cognitivo, além de auxiliar o professor a classificar objetivos instrucionais de desenvolvimento cognitivo, fornece subsídios para direcionar atividades, avaliações e escolha de estratégias (KRATHWOHL, 2002).

Além da Taxionomia de Bloom, uma teoria fundamental é da aprendizagem significativa. Uma teoria construtivista que entende a aprendizagem como uma construção do conhecimento em uma busca ativa de um sentido, afastando-se do processo mecânico que é voltado apenas à mera memorização de conhecimento (MAYER, 2002). Nesta teoria, aprendizagem deve ocorrer a partir de relações geradas a partir de conceitos existentes na mente do aprendiz. É uma montagem mental que deve partir de conceitos mais abrangentes e gerais (uma grande ideia) para ir sendo diferenciado, especificado, individualizado. Assim ocorre na resolução de um problema, por exemplo (MAYER, 2002).

Numa visão construtivista, o ideal é usar dados brutos, com materiais físicos manipuláveis e interativos, estruturando tarefas que envolvam capacidades como

"classificar", "analisar", "criar" (SANTOS, 2014). De alguma forma, a aprendizagem significativa busca estabelecer o desenvolvimento do conhecimento em níveis mais elevados conforme explica a taxionomia de Bloom. Isto é, a aprendizagem deve ir além do conhecimento factual ou do simples processo de relembrar uma teoria (MAYER, 2002).

Baseado na ideia de aprendizagem significativa, Gowin estudou formas de conduzir o estudante na análise da produção do conhecimento ou no que ele chamou de "desempacotamento do conhecimento". Uma das contribuições mais importantes de Gowin, para a epistemologia, foi a criação das "5 questões da produção do conhecimento" (FERRACIOLI, 2005). A respostas dessas questão de Gowin formam o núcleo da produção de muitos conhecimentos como em livros, artigos, dissertações e teses produzidas como publicação de pesquisas científicas. Para exemplificar como é feita a análise através das questões de Gowin, a Tabela 7 foi montada a partir da análise do conteúdo desta tese de doutorado.

Tabela 7 - Exemplo de aplicação das questões de Gowin com análise da Tese

Questões de Gowin	Exemplo respostas para a estrutura desta tese
Quais são as Questões-foco?	É possível construir um Laboratório de Experimentação, para fins didáticos-pedagógicos, de baixo custo, interativo e com acesso via internet através de Smartphones para área da Conformação Mecânica?
Quais são os conceitos chaves?	Experimentação Remota, acesso teleoperado, Ensaio de Compressão, Curva de escoamento, Conformação Mecânica.
Quais são os métodos para responder a questão-Foco? (metodologia aplicada)	Produção de um Laboratório de Experimentação Remota contendo acesso à uma Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão para prática de ensaios e aplicação das teorias da conformação mecânica na construção das curvas de escoamento e seus parâmetros. Os resultados dos ensaios foram comparados com de ensaios de máquinas tradicionais. Além disso, um grupo de estudantes utilizou e avaliou o Laboratório. Com estas duas avaliações foi feita a validação da utilidade e comprovação do potencial didático do LABCONM.
Quais as asserções de Conhecimento? (resposta da questão foco)	O Laboratório foi desenvolvido com baixo custo com operação via internet e apresentou interatividade, motivação e potencializou a aprendizagem dos estudantes de Conformação Mecânica. Os resultados dos ensaios foram comparados com de ensaios tradicionais e obtiveram-se semelhanças suficientes para considerar que o Laboratório possui requisitos para ser considerado apto para fins didáticos-pedagógicos. Além disso, através da avaliação dos estudantes observou-se o potencial pedagógicos da atividade experimental de aprendizagem que foi planejada visando obter maior proveito da MDTEC como experimento remoto didático.
Quais as asserções de valor? (importância, considerações)	As vantagens de utilizar um laboratório de experimentação teleoperado é que os recursos são reduzidos, na aquisição, manutenção e produção de corpos de prova. Além disso, o estudante pode acessar de qualquer lugar e qualquer horário via celular, tablet, ou notebook sem instalação de aplicativos adicionais ou complementares, podendo realizar sua prática sem burocracias e com maior segurança.

Fonte: Autor

Para Gowin o processo de pesquisa leva à tríade fato-evento-conceito (FERRACIOLI, 2005), isto é, baseado num "fato" (num problema, uma curiosidade), o estudante produz ou adota um "evento" (uma metodologia, um experimento, um fenômeno), que leva ao estudo, à análise, à resolução do problema, e principalmente à organização dos "conceitos". Portanto, este caminho faz com que ele vivencie o processo mais organizado de produção do conhecimento, ao invés de apenas memorizá-lo ou aplicá-lo de forma meramente mecânica. Observa-se desta forma que através deste processo organizado de questões norteadoras o estudante passa a compreender o conhecimento de forma mais ativa, desenvolvendo mais capacidades daquelas relacionadas à taxionomia de Bloom como entender, aplicar, analisar entre outras. O que fica claro com as questões de Gowin, é que além da função de facilitar a interpretação de um documento científico, ele pode torna-se uma alternativa para o relatório de aulas de laboratório, o que torna a aprendizagem mais significativa para o estudante.

2.3 Aspectos Gerais da Conformação Mecânica

Conforme a norma DIN 8580, os processos de fabricação são classificados em seis grupos principais (ver Figura 13): Fundir, separar, juntar, recobrir, alterar propriedade e conformar (SCHULER, 1998).

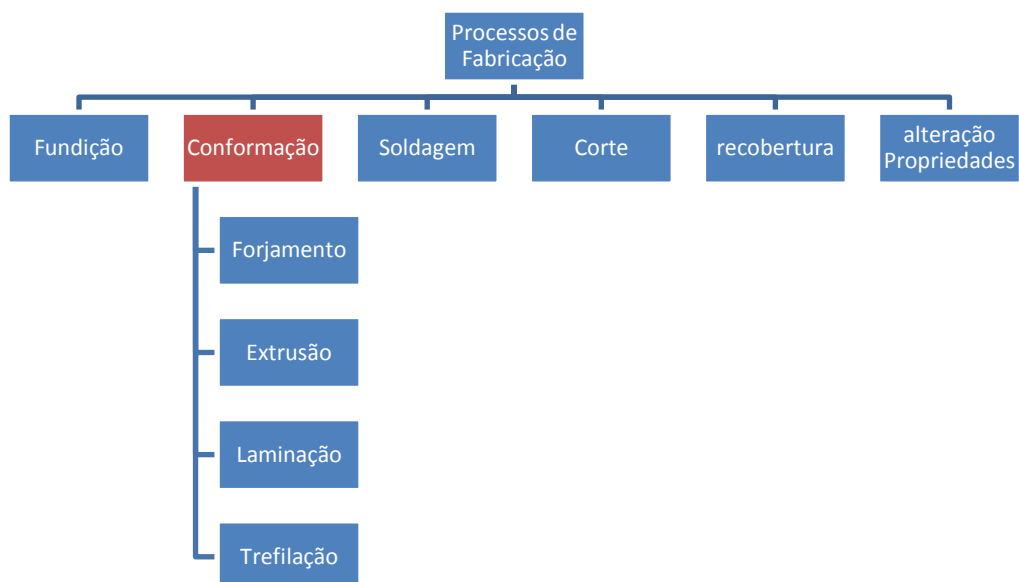


Figura 13 - Processos de fabricação

Fonte: Adaptado de (SCHULER, 1998)

Nesta tese o processo de fabricação que está sendo estudado é o de Conformação. A fabricação por Conformação Mecânica é uma denominação aos processos que alteram a forma de um corpo metálico (BRESCIANI, 2011).

O campo da "tecnologia em conformação" não inclui somente a categoria conformação, mas também os subtópicos como Separação e junção através da conformação. A norma DIN8580 define que a conformação é um processo de fabricação feito através da modificação plástica ou tri-dimensional da forma mantendo a massa e a coesão do material (SCHULER, 1998).

São processos de deformação plástica gerado por tensão inferior à resistência à ruptura do material. Os processos mais conhecidos de fabricação por Conformação Mecânica são: forjamento, extrusão, laminação e trefilação (detalhes Figura 13).

É fundamental entender que para planejar a fabricação de uma peça que será conformada, é necessário conhecer aspectos básicos comuns da Conformação Mecânica e que sem eles não se pode prever ou calcular custos gerais, quantidade de material, energia total, força máxima, forma inicial do material ou tempo de fabricação. A curva de escoamento é um destes fundamentos da Conformação Mecânica, que por sua complexidade, carrega elementos teóricos e práticos que incluem conceitos, equações, simbologias e procedimentos que são indispensáveis para o projetista.

Nos subcapítulos a seguir estão alguns dos aspectos teóricos que permitem compreender e determinar a curva de escoamento de metais para os processos de Conformação Mecânica.

2.3.1 **Curvas de escoamento**

Atualmente, a importância sobre o conhecimento das propriedades mecânicas de um metal, bem como da interpretação e análise de dados experimentais, está no fato de serem fundamentais para calcular a deformação; energia; força e performance (SCHULER, 1998); quantificar o preenchimento, desgaste e tensões dos ferramentais (KNOLL, LIMA e SCHAEFFER, 2007), realizar simulação numérica dos processos de Conformação Mecânica bem como para um melhor dimensionamento do projeto das matrizes e assim obter um melhor grau de eficiência do consumo de insumos para processos de conformação (SCHAEFFER, 2009) e, desta forma melhorando a qualidade final dos produtos.

As curvas de escoamento são um dos principais meios de análise do comportamento mecânico de um metal e são fundamentais para o projeto de peças por conformação. Estas curvas são construídas com dados da zona plástica (acima da tensão de escoamento) do diagrama tensão-deformação verdadeiro e expressam o comportamento mecânico do metal durante a fase plástica. A deformação é alteração permanente da forma geométrica de um metal ocorrida após aplicação de uma tensão (σ) com intensidade acima do limite de escoamento. A deformação é visível pela alteração de altura, comprimento e profundidade do metal.

Para obter os dados de tensão e deformação de um metal, são feitos ensaios mecânicos de tração/compressão/torção com corpos de provas dos metais a serem conformados. Entretanto, quando se quer fazer cálculos e simulações do processo de Conformação Mecânica, a forma gráfica da curva de escoamento não é apropriada, sendo necessário torná-la em uma equação.

A tensão de escoamento (k_f) é influenciada pelo tipo de material (liga), microestrutura, temperatura (ϑ), grau de deformação (φ) e velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) (SCHAEFFER, 2009). Portanto, para um mesmo material, a temperatura (ϑ) e velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) são parâmetros que influenciam diretamente no resultado do ensaio. Para processos a frio, a tensão de escoamento (k_f) pode ser expressa pela equação (1), a qual representa matematicamente o comportamento do metal em função apenas da variação da deformação verdadeira (φ) e das constantes C e n.

$$k_f = C \cdot \varphi^n \quad (1)$$

k_f = tensão de escoamento [N/mm²]. Para φ igual à zero é necessário ser definir separadamente através dos dados do ensaio.

φ = deformação verdadeira [-];

C = Coeficiente de resistência [N/mm²];

n = coeficiente de encruamento [-].

A constante “C” da equação é o coeficiente de resistência e indica a tensão necessária para realizar uma deformação de valor igual a 1 (um). A constante “n” é o índice de encruamento, que é um fator de endurecimento do metal no processo de deformação a frio (CIPRIANO, 2008). Uma das razões disso é que a medida que ocorrem interações entre as discordâncias dos grãos é dificultado o escorregamento dos planos cristalográficos e assim gera maior resistência a deformação (SOUZA, 1982).

No caso de deformações realizadas a quente a tensão de escoamento (k_f), pode ser calculada pela equação (2), pois acima da temperatura ambiente a resistência à deformação é fortemente influenciada tanto pela intensidade da temperatura (ϑ) quanto pela velocidade de deformação (*strain rate*) ($\dot{\varphi}$). Ao utilizar a equação (2), onde k_s de T, f_0 são buscados em tabelas de banco de dados, é importante ficar atento para valores limites de $T, \varphi, \dot{\varphi}$.

$$k_f = k_{f_0} \cdot e^{-m_1 \cdot T} \cdot \varphi^{m_2} \cdot \dot{\varphi}^{m_3} \quad (2)$$

Onde:

k_{f_0} = tensão de escoamento para deformação (φ) igual a zero [N/mm²].

φ = deformação verdadeira [-].

$\dot{\varphi}$ = velocidade de deformação [s⁻¹].

ϑ = temperatura da peça [°C].

m_1, m_2 e m_3 = constantes do metal. São definidos a partir de inúmeras curvas de escoamento feitas em diversas temperaturas (ϑ) e velocidades de deformação ($\dot{\varphi}$).

A velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) para o forjamento é calculada pela equação (3).

$$\dot{\varphi} = \frac{V_f}{h} \quad (3)$$

Sendo que V_f é a velocidade da ferramenta (máquina) em (mm/s) e h altura da peça (mm).

Para demonstrar a influência da velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) e da temperatura (ϑ) na curva de escoamento em ensaios a quente, a Figura 14 ilustra dois gráficos (a=815°C e b=955°C) de escoamento a quente da liga Ti-6Al-4AV com temperaturas (ϑ) diferentes para serem comparados.

Tanto no gráfico "a" quanto no "b" foram feitas as curvas em 3 velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$), sendo elas: 0,001s⁻¹, 0,1s⁻¹ e 10 s⁻¹.

Por esta razão, o ideal é obter as curvas de escoamento em diferentes temperaturas e velocidades de deformação (SCHAEFFER, 2006) para se adequarem as mesmas condições do processo de conformação em que o metal será conformado.

Observa-se nos dois gráficos, que a mudança de velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) influencia na tensão de escoamento (k_f), e o mesmo acontece pela diferença de temperatura (ϑ). Quanto maior a temperatura e menor a velocidade ($\dot{\varphi}$), menor é a tensão de escoamento (k_f).

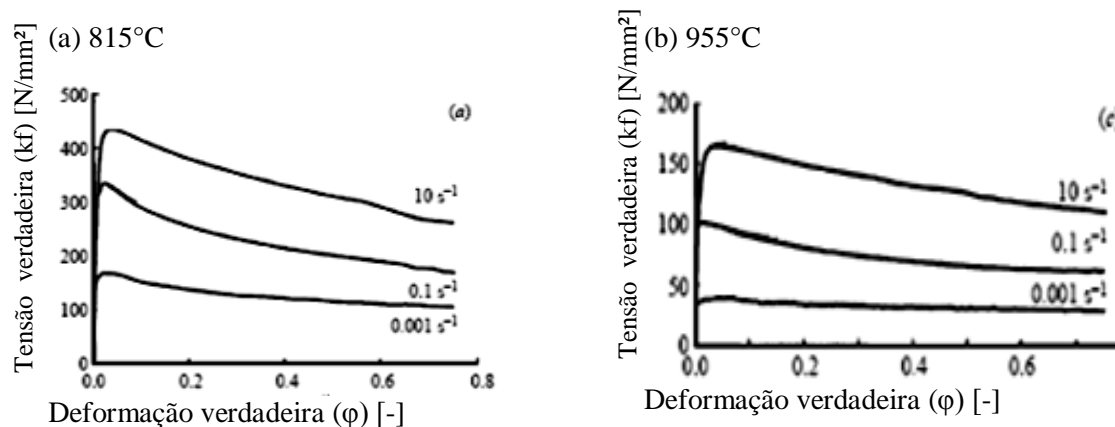


Figura 14 - Curvas de escoamento da liga Ti-6Al-4AV em temperaturas e velocidades de deformação diferentes

Fonte: (HENTZ, SCHAEFFER e KNOLL, 2007)

Para construir curvas de metais a quente, o ensaio deve ser feito com velocidade de deformação ($\dot{\phi}$) constante. Desta forma, o equipamento de ensaio precisa variar sua velocidade de atuação (V_f) na mesma proporção da variação da altura (h) do corpo de prova durante todo o ensaio. Entretanto, este é um processo complexo e mais difícil de ser obtido mecanicamente, pois o equipamento necessita ter mais controle de seus parâmetros eletro-mecânicos.

No desenvolvimento desta tese, por ser a frio, foi considerado apenas a influencia da deformação (ϕ) na variação da tensão de escoamento (k_f). Portanto, o experimento do laboratório remoto desenvolvido realiza os ensaios controle de temperatura e velocidade da ferramenta, ficando estes parâmetros definidos, respectivamente, pelo ambiente e pelas características eletromecânicas do experimento.

2.3.1.1 Parametrizando a tensão de escoamento

Neste subcapítulo será apresentado como obter a equação da tensão de escoamento (k_f) de um metal a frio.

A curva de escoamento é a região da zona plástica do diagrama tensão deformação verdadeiro, e a partir desta curva é que se obtêm a equação da tensão de escoamento (k_f). O diagrama tensão-deformação verdadeiro é construído com praticamente os mesmos dados experimentais brutos que são elaborados os diagramas tensão-deformação convencionais (ou de engenharia), porém, existem algumas

transformações matemáticas e geométricas que são consideradas para tornar o diagrama tensão-deformação-verdadeiro mais adequado aos cálculos de conformação.

O primeiro deles é considerar que a área do corpo de prova se altera durante uma compressão/tração. Entretanto, importante salientar que medir a área de uma amostra ao longo do ensaio é uma tarefa complexa, e usualmente, obtém-se o valor aproximado da área instantânea pela teoria da lei da constância dos volumes (ver Figura 15), a qual define que em um corpo que sofre deformação o volume inicial (V_0) é igual ao seu volume final (v_1) (SHI, *et al.*, 2013; SCHAEFFER, 2009). Então, se $v_0 = v_1$ chegam-se as equações (4) (para corpos paralelepípedicos) e (5) (para corpos cilíndricos).

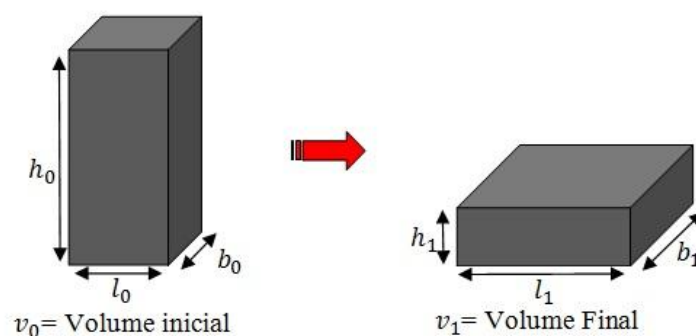


Figura 15 - Lei da constância dos volumes (processo de compressão)

Fonte: Adaptado de (SCHAEFFER, 2006)

Onde:

v_0 = volume inicial do corpo de prova [mm³];

v_1 = volume final ou instantânea do corpo de prova [mm³];

l_0, h_0, b_0 = Comprimento, altura e largura inicial, respectivamente [mm];

l_1, h_1, b_1 = Comprimento, altura e largura final, respectivamente [mm];

Para corpos paralelepípedicos $v_0 = h_0 \cdot l_0 \cdot b_0 = h_1 \cdot l_1 \cdot b_1$ (4)

Para corpos cilíndricos $v_0 = h_0 \cdot A_0 = h_1 \cdot A_1$ (5)

Onde:

A_1 = área final [mm²];

A_0 = área inicial [mm²];

Isolando-se a área (A_1) da equação (5), a tensão de escoamento (k_f) é calculada pela equação (6).

$$k_f = \frac{F}{A} = \frac{F \cdot h_i}{A_0 \cdot h_0} = \frac{F(h_0 - \Delta h)}{A_0 \cdot h_0} \quad (6)$$

A segunda característica no gráfico tensão-deformação verdadeiro é que a deformação (φ) do metal deve ser calculada através da equação (7). A vantagem das transformações logarítmicas é que torna-se possível somar duas ou mais deformações (φ) parciais.

altura Deformação na $\varphi_h = \ln\left(\frac{h}{h_0}\right)$ (7)

Onde:

φ_h = deformação verdadeira em altura (-)

h_0 = altura inicial do corpo de prova [mm]

h = Altura instantânea [mm].

Para se obter os coeficientes "C" e "n" da equação ($k_f = C \cdot \varphi^n$) basta determinar uma função do tipo equação (8) com os dados de tensão (y) e deformação (x) da região de escoamento a partir da deformação 0,25, onde:

$$y = a \cdot x^b \quad (8)$$

$$y = k_f$$

$$a = C \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$b = n \text{ [-]}$$

$$x = \varphi \text{ [-]}$$

O R^2 que o programa apresenta, indica o índice de determinação, que é correlação entre os valores práticos e os valores estimados. Matematicamente, quanto mais próximo de 1 melhor é a equação estimada (MILANEZ, 2012).

Depois de obtidos os valores de "C" e "n", a equação (1) fica pronta para ser usada nos cálculos de Conformação Mecânica a frio. Além disso, após definir a equação de escoamento, é importante extrair a tensão inicial de escoamento (k_{f0}), pois alguns cálculos precisam deste parâmetro que deve ser previamente localizada na curva de escoamento. Existem dois tipos típicos de gráficos de um ensaio de um metal. Na Figura 16 está o

exemplo de curva que não há um patamar bem definido para o início da tensão do escoamento.

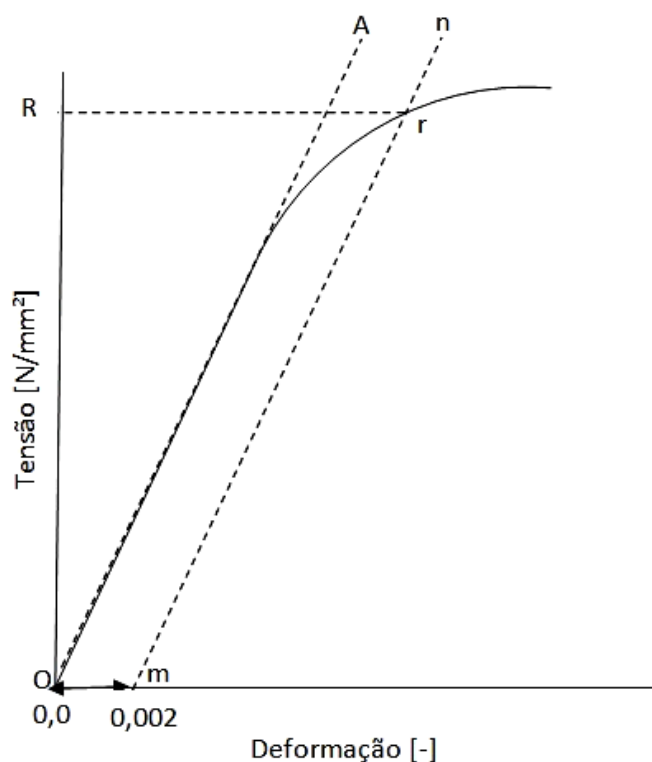


Figura 16 - Demonstração do processo de determinação da tensão k_{f0}

Fonte: adaptado de (ASTM, 1989)

Para definir este valor usa-se o método offset norma E9-09 ASTM (ASTM, 1989). Neste método offset ilustrado na Figura 16, são traçadas duas retas (A e n) paralelas à região elástica. A reta n é deslocada até a deformação de 0,002 (ponto m). No ponto onde a reta "n" cruza com a curva de escoamento traça-se uma reta paralela ao eixo "x", partindo do ponto "r" até o ponto "R". A tensão de escoamento inicial (k_{f0}) será o valor de "R".

O segundo caso típico de gráfico de escoamento está ilustrado na Figura 17, onde há um patamar (região) que expressa melhor o momento em que se inicia a deformação plástica do material, a qual considera-se como sendo a tensão inicial de escoamento (k_{f0}). Neste caso o método é simples, basta apenas traçar uma reta colinear ao patamar formado, e adotar a tensão do ponto "R" como sendo o valor da tensão inicial de escoamento (k_{f0}).

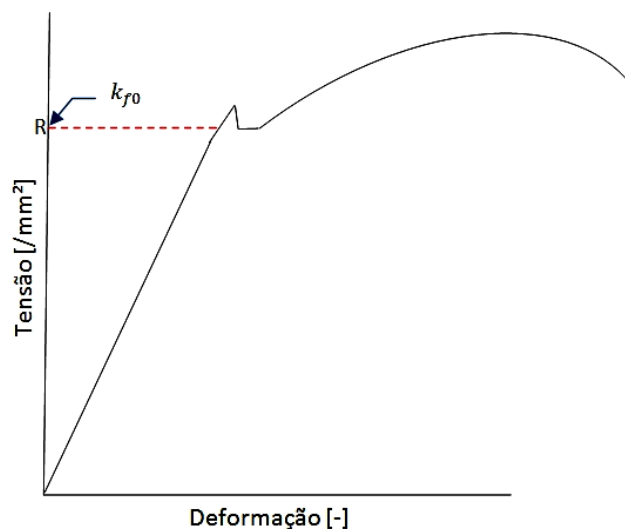


Figura 17 - Gráfico típico de um metal com patamar da tensão inicial de escoamento bem definido

Fonte: adaptado de (ASTM, 1989)

2.3.1.2 Ensaios Mecânicos usados na Coleta de Dados sobre um Metal

Os ensaios de tração e compressão são muito usados para obter uma relação do comportamento de deformação dos materiais (PUCHI-CABRERA, *et al.*, 2013). De modo geral, possibilitam determinar de forma experimental as propriedades mecânicas relacionadas ao comportamento de um material qualquer, normalmente expressas em função de tensões e/ou deformações (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2000). Estes ensaios permitem distinguir se o material é dúctil ou frágil, quantificar o módulo de elasticidade, determinar as curvas de escoamento, entre outros.

Para se obter as características mecânicas do metal, a maneira mais simples é realizar um ensaio de tração ou compressão. Estes testes aplicam uma força axial sobre um corpo de prova deformando-o até o rompimento (ou até atingir a deformação desejada), durante o processo a máquina de ensaio deve coletar os dados da força e deslocamento, pois posteriormente as informações são convertidas por equações e expressas em gráficos ou parâmetros.

Estes ensaios são relativamente simples de serem realizados, porém necessitam de equipamentos de médio a alto custo para poderem deformar e coletar dados da força e o deslocamento durante a deformação do corpo de prova. As máquinas mais são hidráulicas ou de fuso com controle por motores de passo. Os equipamentos que fazem ambos os

ensaios de compressão e tração são chamados de máquinas de ensaio (Figura 18). As máquinas de ensaio de tração usam um mecanismo para prender as extremidades do corpo de prova. Para o ensaio de compressão basta uma matriz inferior e uma superior com faces planas e paralelas entre si.



Figura 18 - Máquina de ensaios universal

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

Para a coleta dos dados de força usam-se células de carga (A principal vantagem do tipo Z é que compensa eventuais deslocamentos do centro de aplicação de força). Estes sensores precisam de amplificadores para serem utilizadas, pois emitem sinais de apenas alguns milivolts. Para a leitura dos dados de deslocamento alguns equipamentos de ensaio possuem um sensor ótico (encoder) acoplado ao fuso de movimento do cabeçote e através do giro do fuso identificam o deslocamento linear do punção.

Este sensoriamento por encoder não é tão preciso para corpos de prova com deformações pequenas e por isso usam-se extensômetros (ver Figura 19) acoplados diretamente ao corpo de prova (no caso do ensaio tração) ou entre as matrizes (no caso de ensaios de compressão).



Figura 19 - Extensômetro acoplado ao corpo de prova para ensaio de tração

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

O LVDT é um sensor que possui boa precisão para medição de deslocamento em ensaios, mas precisa ser acoplado entre as matrizes para poder fazer a leitura.

No ensaio de compressão o corpo de prova recebe uma força compressiva uniaxial gerando deformações longitudinais e transversais (SHI, *et al.*, 2013). O ensaio de compressão é útil aos processos de conformação, pois com os dados pode-se gerar informações sobre características mecânicas de um metal. Permite parametrizar informações dos processos que envolvem laminação, forjamento, extrusão e outros (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2000). É um método que, com boa lubrificação, mais se adapta à determinação das curvas de escoamento (SCHAEFFER, 2009). Tanto o ensaio de compressão quanto o ensaio de tração são cabíveis para determinação de informações sobre o metal, mas devido à presença de trincas submicroscópicas que se propagam, os materiais frágeis rompem-se mais rapidamente em condições de tração (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2000), então o mais indicado para obter dados que serão aplicados em processos de conformação como forjamento, extrusão e prensagem, é o ensaio de compressão (MILANEZ, 2012), já que em situações de compressão a resistência é maior (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2000) e o gráfico representa melhor o comportamento do metal. As precauções ao ensaio de compressão são referentes à lubrificação da amostra utilizada para que não ocorra instabilidade plástica, e que a relação entre comprimento e diâmetro seja dimensionada para resistir à flambagem e demais tensões, conforme orientações das normas ASTM.

Dependendo da necessidade, o ensaio pode ser gerado a quente ou a frio, com velocidade constante ou não (KNOLL, LIMA e SCHAEFFER, 2007). Para ensaios em maior temperatura o equipamento precisa ter a capacidade de aquecimento do corpo de prova, bem controle da velocidade da compressão para ensaios com velocidades de deformação constantes.

O coeficiente atrito é outro parâmetro que influencia profundamente os processos de conformação por deformação plástica, tanto positivamente quanto negativamente, conforme o caso. De forma positiva, por exemplo, a presença de atrito ajuda prender o material em processos como a laminação. De forma negativa, o atrito é responsável por aumento de consumo de energia, desgaste das ferramentas, aumento da temperatura entre outros (SCHAEFFER, 2009). Nos ensaios de compressão o atrito influencia nos resultados, sendo fundamental utilizar lubrificação nos corpos de prova visando reduzir a deformação irregular no diâmetro do corpo de prova, é um fenômeno chamado de barrilamento (BOFF, *et al.*, 2012) e caracterizado pelo aumento maior da região central e menor nas faces (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2000). Para determinar o coeficiente de atrito (μ) usam-se os testes do anel ou do tubo cônico (SCHAEFFER, 2009). O atrito é variável conforme o conjunto composto pelo material bruto, matrizes e óleo lubrificante.

2.3.1.3 Exemplos de aplicações dos parâmetros k_{f0} e k_f em cálculos de Conformação

O foco desta tese é na construção das curvas de escoamento utilizando dados de ensaio de compressão. Neste subitem estão relacionados dois exemplos de equações que precisam usar parâmetros obtidos em curvas de escoamento (k_{f0} e $k_f = C \cdot \varphi^n$) para realizar cálculos relativos ao processo de conformação por prensagem.

a) Exemplo de cálculo do trabalho (T_r) usando k_{f0} e $k_f = C \cdot \varphi^n$: A

Figura 20 ilustra o processo de prensagem de um cilindro, para o cálculo do trabalho de prensagem (T_r) usa-se a Equação (9) a qual usa o parâmetro de tensão de escoamento médio (k_{fm}) (SCHAEFFER, 2006):

$$T_r = k_{fm} \cdot \frac{\varphi}{\eta} \cdot v \quad (9)$$

Onde:

T_r = trabalho de conformação [N.mm]

k_{fm} = tensão de escoamento média [N/mm²]. A tensão de escoamento médio (k_{fm}) é encontrada pela soma da tensão de escoamento inicial (k_{f0}) com a tensão de escoamento final, dividindo por 2, conforme mostra a equação (10).

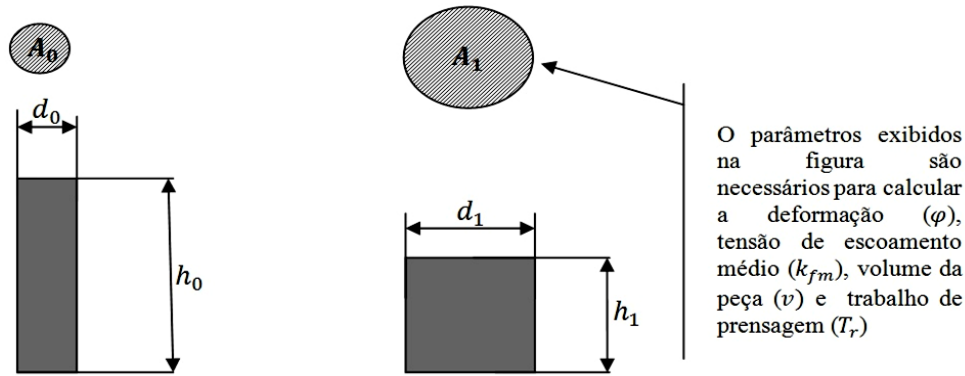


Figura 20 - Prensagem de um cilindro

Fonte: Autor

$$k_{fm} = \frac{k_{f0} + k_{f1}}{2} \quad (10)$$

φ = deformação verdadeira $\left(\ln \frac{h_0}{h_1} \right)$ (-)

η = rendimento da deformação 0,8 [-]

v = volume da peça ($A_0 \cdot h_0$) [mm³]

O rendimento (η) é um fator utilizado para considerar perdas energéticas do processo de conformação. É um valor empírico e normalmente encontrado em tabelas. Ele significa que o trabalho realizado pelo equipamento não é totalmente usado na transformação do metal. Com este índice, o resultado no cálculo fica mais perto do valor de energia consumido em todo o processo de conformação.

b) Exemplo de cálculo de força de prensagem usando k_{f0} e $k_f = C \cdot \varphi^n$:

A Figura 21 ilustra o processo de prensagem em que se quer calcular a força (F) necessária para deformar a peça. Para isso usa-se a equação (11) a qual necessita do valor da tensão de escoamento final ($k_{f1} = k_f = C \cdot \varphi^n$) e outros dados do processo.

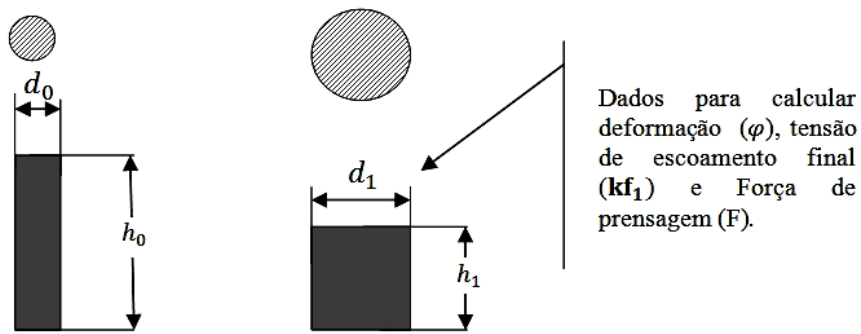


Figura 21 - Dados do processo de prensagem para cálculo

Fonte: Autor

$$F = A_1 \cdot k_{f1} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \mu \cdot \frac{d_1}{h_1} \right) \quad (11)$$

Onde:

A_1 = área final da peça [mm²]

k_{f1} = Tensão de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$) em função da deformação $\varphi = \ln \frac{h}{h_0}$

[MPa]

d_1 = diâmetro final da peça [mm]

h_1 = altura final da peça [mm]

μ = coeficiente de atrito da peça [-]

O coeficiente de atrito (μ) de cada material é um fator obtido através de ensaios mecânicos, normalmente usando o ensaio do anel ou de tubos cônicos, conforme comentado no capítulo 2.3.1.2.

3 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA DA TESE

O desenvolvimento do Laboratório Online de Conformação Mecânica foi executado conforme descrito resumidamente na Figura 22. Salienta-se que, nos laboratórios tradicionais existe um espaço físico e vários experimentos (ou máquinas/dispositivos) para que o estudante/pesquisador possa interagir realizando experimentações, testes ou práticas.

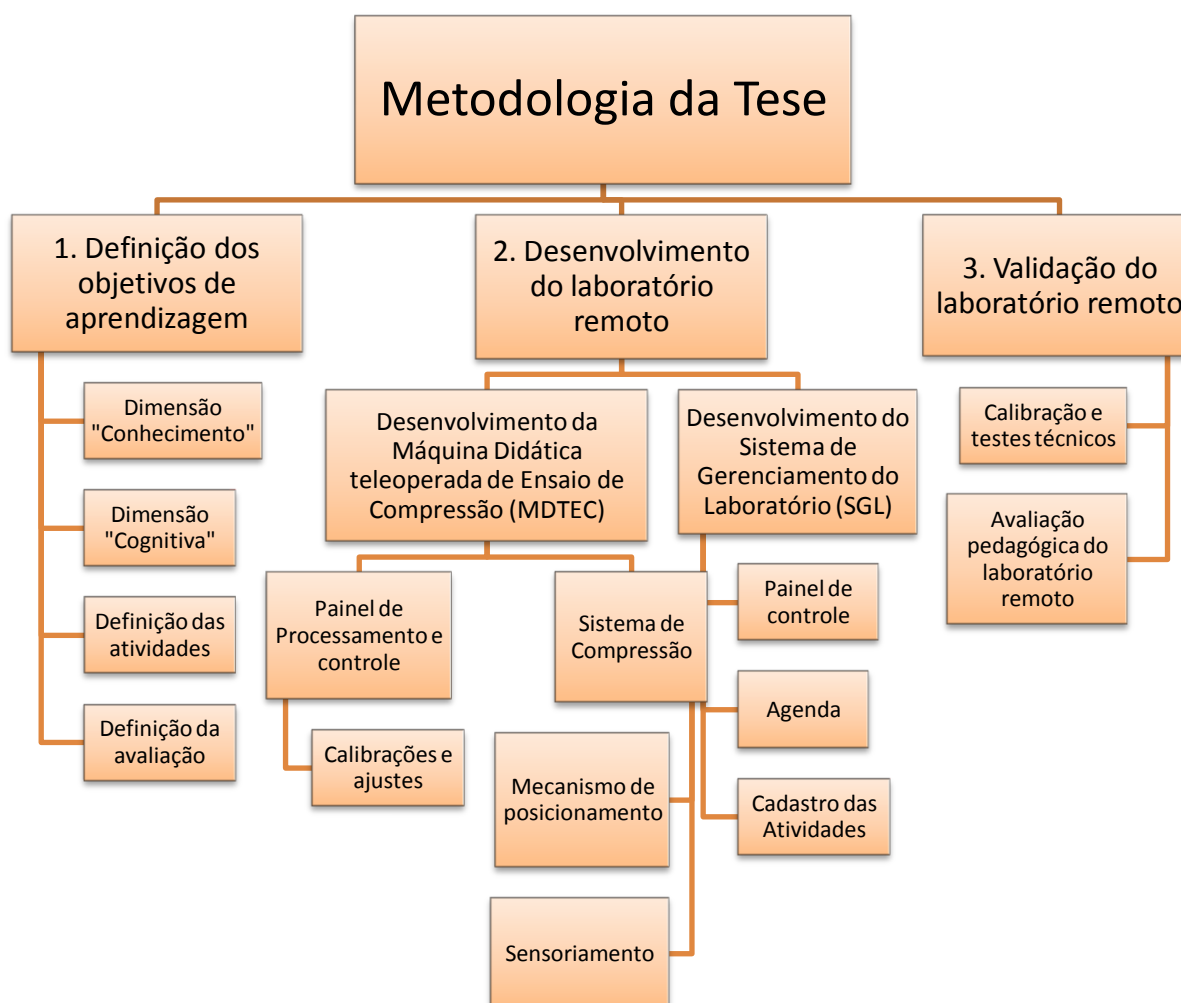


Figura 22 - Etapas principais da parte experimental da tese

Entretanto, no Laboratório Remoto, a diferença é que a interface do estudante é uma Página de Internet, com funções de Sistema de Gerenciamento da Aprendizagem (SGA), e o seu experimento também é real mas fica fisicamente distante do estudante.

3.1 DEFINIÇÃO DA ATIVIDADE DE APRENDIZAGEM EXPERIMENTAL

É importante lembrar que a grande área deste laboratório é a Conformação Mecânica. Portanto, o objetivo das atividades desenvolvidas são focadas em proporcionar a aprendizagem em algum assunto desta área. Nesta primeira versão do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM) foi desenvolvida uma Atividade de Aprendizagem Experimental que visa motivar e conduzir o estudante à níveis mais altos de aplicação do conhecimento na área Conformação Mecânica. O objetivo é gerar um processo de construção do conhecimento através de um problema de aprendizagem que integra teoria e prática para resolver um problema. Desta forma, a busca pela resposta leva a busca pelo conhecimento e assim portanto, gera a aprendizagem.

A Figura 23 representa um modelo de como foi idealizada a forma de aplicação do LABCONM.

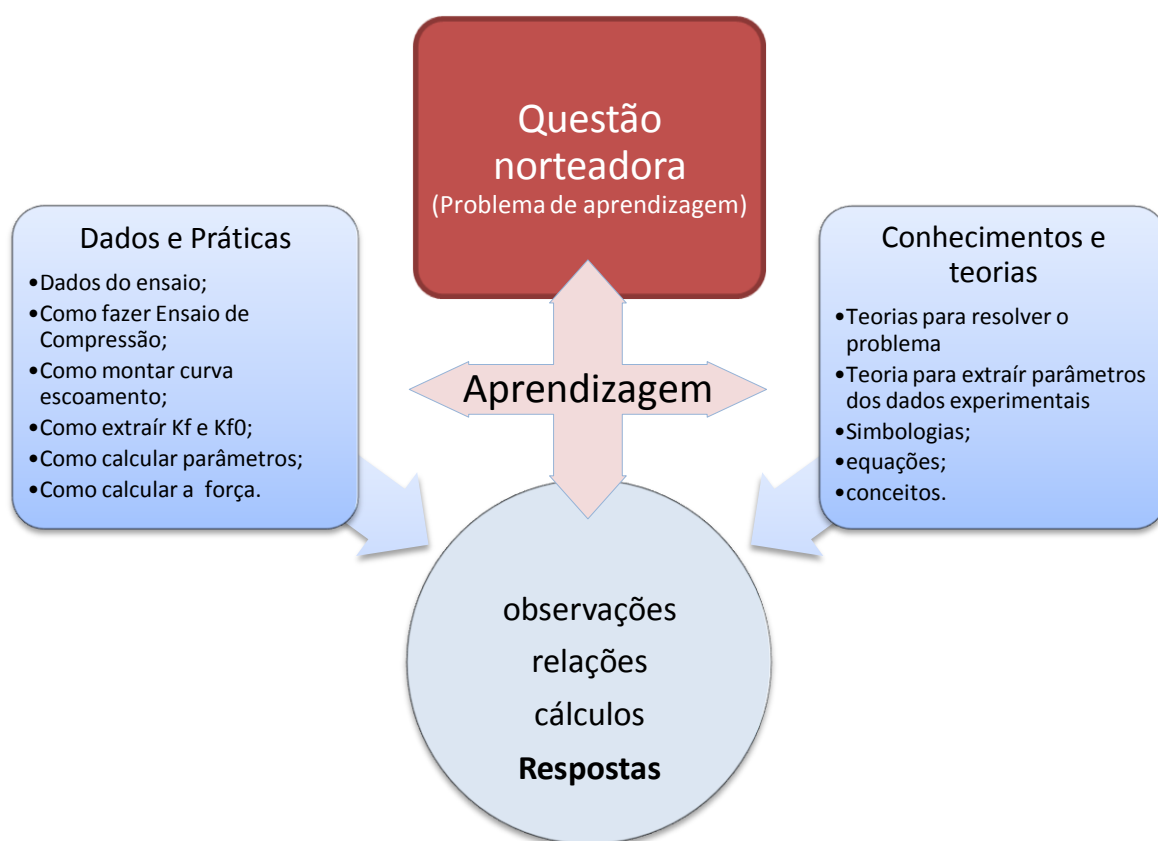


Figura 23 - Esquema para exemplificar o processo de aprendizagem desenvolvido pelo LABCONM

De um lado está a parte "prática" e de outro estão os "conhecimentos". Entretanto, tudo se interliga quando um problema é formulado, pois a partir dele o estudante relaciona os dois lados (teoria e prática), através da observação, tabelas e gráficos, para formar a

resposta da questão. Neste caso, quando o professor aplicar um prova teórica, com a mesma questão em que os dados estejam prontos, para o estudante será mais simples resolver pois, sua capacidade foi desenvolvida com maior intensidade do que a avaliação exigirá.

Com apoio da Taxionomia de Bloom e com apoio das 5 questões de Gowin, os objetivos de aprendizagem foram criados nas tabelas dos apêndices A e B e a partir deles é que se definiu melhor o problema de aprendizagem (questões-foco de Gowin) e a forma de avaliação que poderia ser aplicado. Com o resultado do cruzamento das informações dessas tabelas gerou-se ao seguinte problema de aprendizagem (Questão foco): Qual a Força mínima de uma prensa para fabricar a peça (ver Figura 24) com liga de alumínio 4043 através do processo de extrusão.

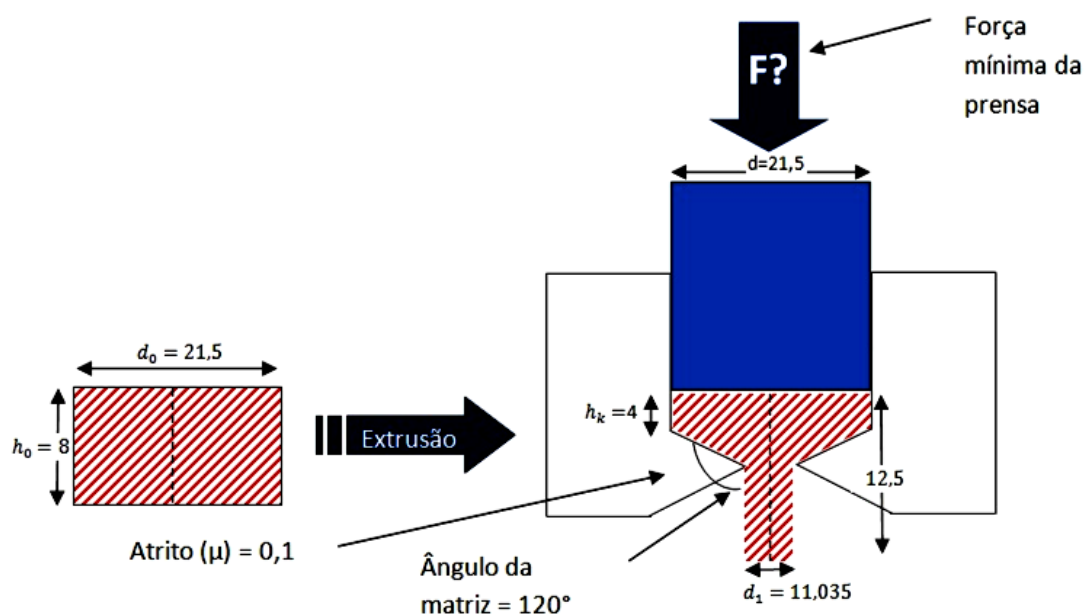


Figura 24 - Peça para a Atividade Aprendizagem Experimental

Fonte: Autor

A partir dessa questão de aprendizagem foi elaborado um roteiro (Tabela 8), (como dito por Gowin: um "evento"), com as tarefas passo a passo de como atingir a resposta do problema proposto. A Tabela 8 contém também um detalhamento "do quê é avaliado" e "como é avaliado" cada tarefa. Na Figura 25 está um fluxograma do processo de resolução do Problema de Aprendizagem proposto. Nota-se que o estudante passa por atividades de análise, cálculo, construção de gráficos com uma interação entre os dados experimentais e teóricos. Através desta atividade experimental espera-se proporcionar um

exercício desafiador que impulse o estudante no processo de estudo, aplicação, análise e prática da Conformação Mecânica gerando maior motivação no aprendizado dos conceitos, simbologias e equações básicas desta área.

A ideia básica é que, com objetivo de determinar $k_f = C \cdot \varphi^n$ e k_{f0} a partir de um ensaio de compressão o estudante aplica teorias da conformação mecânica. A ideia surgiu para facilitar a assimilação de conceitos básicos aproveitando os dados experimentais e a prática do Ensaio de Compressão.

Tabela 8 - Roteiro da Atividade de Aprendizagem Experimental

	Etapas das tarefas	O que é avaliado e forma de avaliação
1.	Realizar o ensaio de compressão na Máquina de Ensaio (MDTEC) do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM);	Os dados do ensaio ficam registrados no banco de dados. A avaliação é apenas para ver se o estudante completou o ensaio corretamente e se a curva escoamento que ele postou foi feita através destes dados.
2.	Anotar (calcular) dados do corpo de prova: altura inicial (h_0), diâmetro inicial (d_0), volume inicial (v_0);	O estudante deve anotar os dados do corpo de prova que são exibidos no painel de controle da MDTEC. A Nesta planilha devem estar colocados corretamente todos os dados solicitados.
3.	Construir a curva de escoamento na planilha modelo a partir dos dados do ensaio da MDTEC	Aqui será avaliado dentro da planilha postada pelo estudante se ele conseguiu trabalhar os dados corretamente para construir a curva de escoamento. Além disso, deverá constar nos eixos do gráfico as unidades e simbologias corretas de cada grandeza.
4.	Determinar $k_f = C \cdot \varphi^n$ a partir da curva de escoamento	Aqui é avaliado se o estudante conseguiu determinar corretamente os parâmetros: $k_f = C \cdot \varphi^n$ em consonância com os dados do ensaio.
5.	Determinar k_0 a partir da curva de escoamento	Aqui será avaliado dentro da planilha se ele encontrou corretamente o valor de k_0 .
6.	Avaliação 1: Cinco Questões de Gowin Calcular a Força (F) exercida para extrusão da peça.	Aqui o estudante deve calcular a força de fabricação de uma peça x usando equações e os dados experimentais do metal. O cálculo é feito à mão e a avaliação é uma postagem do cálculo via foto que é postada no site. É exigido que o estudante faça o desenho da peça junto ao cálculo. Esta exigência é importante, pois na avaliação da disciplina o professor pode exigir a resolução de um cálculo e ele deve estar preparado para tal. Além da resposta da Questão norteadora Força (F), na Avaliação 1 o estudante deve responder as demais questões de Gowin sobre a Atividade de Aprendizagem Experimental.

Fonte: Autor

A questão foco escolhida para a Atividade de Aprendizagem Experimental (AAE) é um cálculo comum, porém, a diferença estabelecida aqui está no processo de resolução do problema. O qual se tornou mais contextualizado ao aproximar mais da realidade. Pois, deixou de ser um cálculo abstrato e passou a ser um problema mais "real", menos

mecânico, em que o estudante deverá, através do experimento, relacionar a teoria com a prática para resolvê-lo. Outro motivo para escolher este cálculo, é que sem dúvida ele aplica praticamente quase todos os objetivos de aprendizagem definidos e, portanto é um problema mais completo.

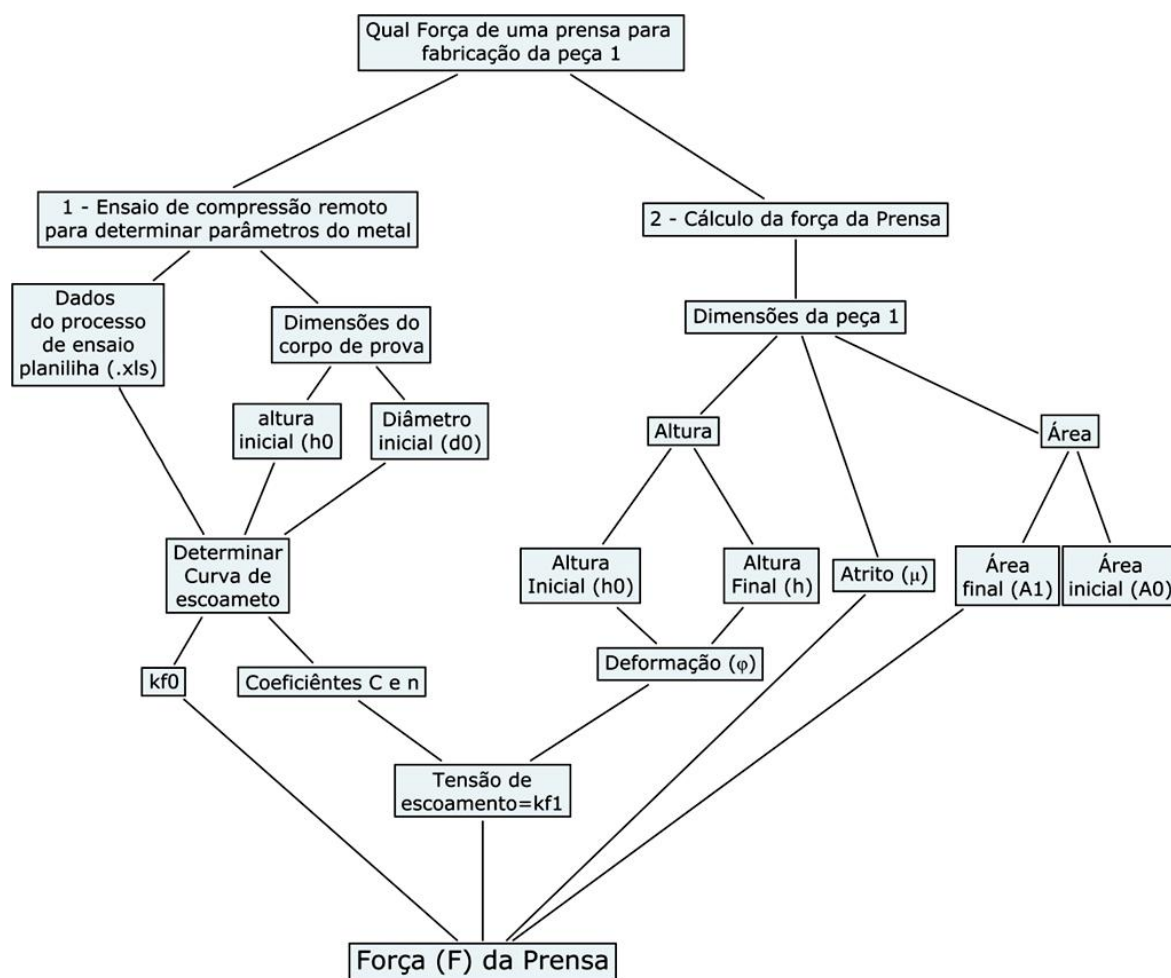


Figura 25 - Fluxograma de resolução da Atividade de Aprendizagem Experimental

Fonte: Autor

Dentro deste roteiro, a avaliação 1 que foi postada no site do LABCONM é onde foram inseridas as 5 questões de Gowin sobre a Atividade de Aprendizagem Experimental.

3.2 DETALHAMENTO DO LABORATÓRIO ONLINE DE CONFORMAÇÃO MECÂNICA (LABCONM)

A Figura 26 exibe um esquema ilustrativo do Laboratório Online de Conformação Remota. Este laboratório foi dividido em duas partes principais (parte do site e parte do experimento). No interior do quadrado verde está representado o portal de acesso ao laboratório, chamado de Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA) (uma página de internet) que fica hospedada dentro do servidor WEB (localizado na Universidade Federal de Santa Catarina) e contém também o banco de dados. Ao servidor ficam conectados os experimentos que estão representados pelos quadrados azuis e roxos da Figura 26.

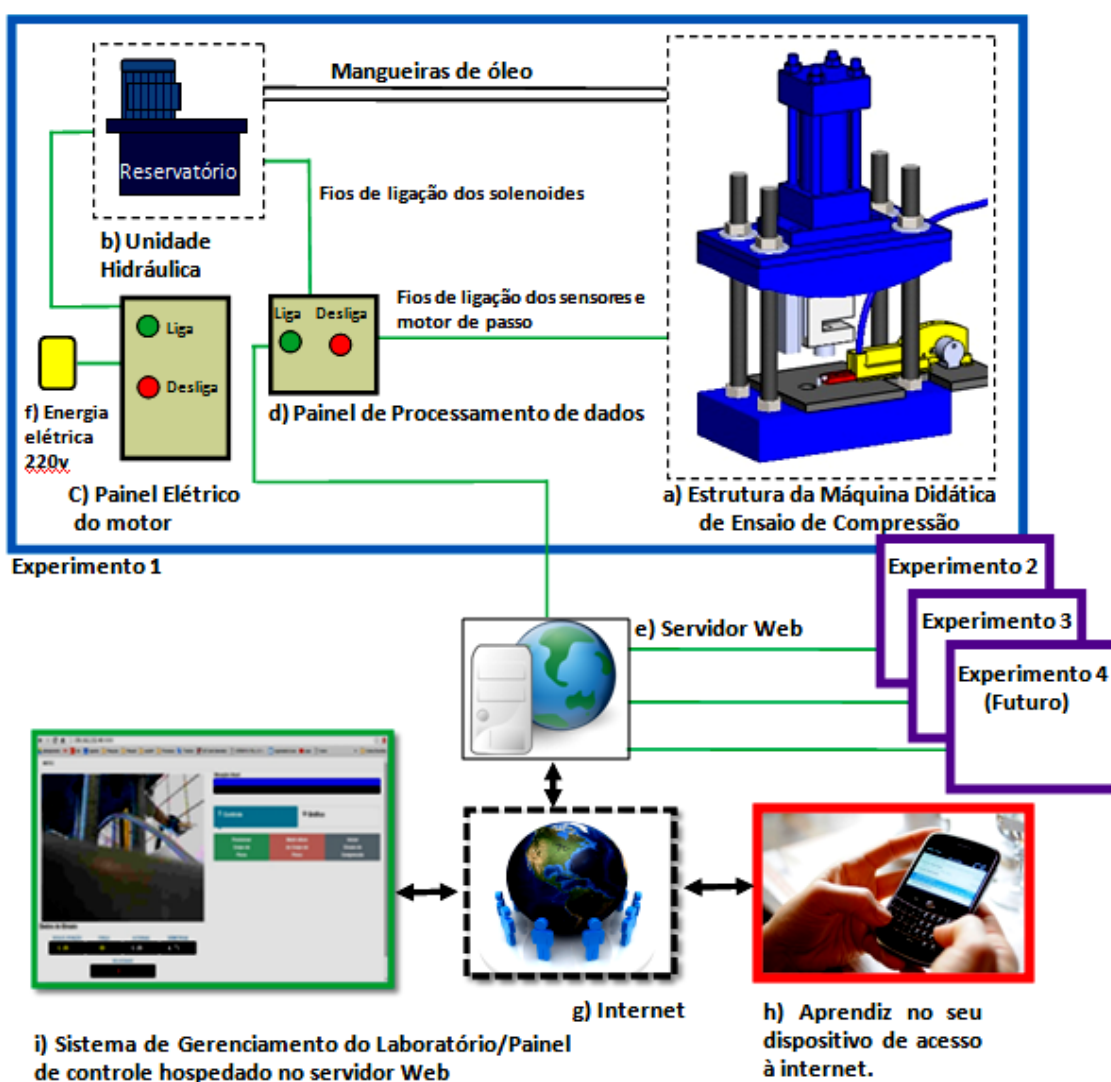


Figura 26 - Visão ilustrada do Laboratório Remoto

Dentro do quadrado azul está representada a Máquina Didática de Ensaio de Compressão (MDTEC) que é o primeiro experimento remoto integrado à este laboratório.

Nos quadrados roxos são experimentos futuros, apenas uma representação do que poderá existir nas próximas versões do laboratório. Por fim, o quadrado vermelho representa o estudante acessando o Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (site) através de um dispositivo com acesso à internet. Cada item da Figura 26 foi identificado por letras a fim de facilitar o detalhamento de cada um nos subcapítulos a seguir através de uma identificação dentro do texto.

Nota-se que o Laboratório Remoto apesar de ser um grande sistema, ele não é constituído de todas as partes em um único ambiente físico/virtual. É na verdade, uma integração de recursos tanto por parte do usuário, quanto por parte da Universidade e dos serviços de comunicação WEB existentes. O laboratório, portanto se forma quando o usuário com seu dispositivo com acesso à internet se conecta à página do Laboratório e executa o experimento completando assim o elo que forma o Laboratório completo.

Destaca-se que nesta tese o objetivo foi desenvolver a primeira versão do Sistema de Gerenciamento de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA) e o experimento remoto chamado "Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão" (MDTEC) (Figura 27) que é o Experimento #1, o qual está localizado fisicamente no Laboratório LabTel da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) Campus Araranguá.



Figura 27 - Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC)

Espera-se que no futuro possam ser incluídos outros experimentos remotos para serem integrados ao LABCONM, visto que podem ser adicionados no mesmo sistema de gerenciamento até mesmo estando em lugares físicos distintos, como em Campus de Universidades ou em Empresas.

3.2.1 Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC)

Nos subcapítulos que seguem, está detalhado todas as partes da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão, a qual é a parte física (experimental) desenvolvida para ser integrada ao Laboratório Online de Conformação Mecânica conforme já esquematizado e ilustrado na Figura 26.

3.2.1.1 Estrutura de compressão da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão

Neste subcapítulo está detalhado o item "a" da Figura 26. Trata-se da estrutura mecânica da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão - MDTEC, que na verdade é um conjunto de dispositivos eletromecânicos unidos para formar um sistema capaz de realizar um ensaio de compressão remotamente. A MDTEC é o elemento principal do experimento desenvolvido.

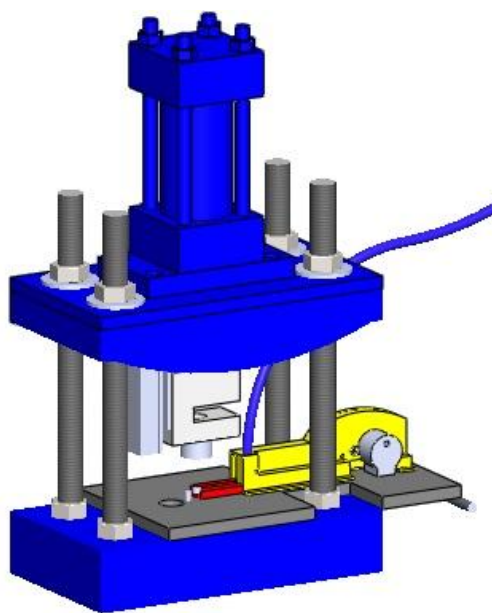


Figura 28 - Estrutura de compressão da Máquina de Ensaio de compressão Didática remota (MDTEC)

As principais funções deste equipamento são: armazenamento, posicionamento, mensuração, compressão e descarte dos corpos de prova. Todas estas funções e processos são feitos de forma automatizada e teleoperados através dos comandos pré-programados no minicomputador Raspberry Pi e gerenciado e acionados pelo painel de controle dentro da

página de acesso. Na MDTEC a velocidade de atuação da ferramenta (V_f) depende das características da máquina e da resistência que ela encontra durante o ensaio, sendo portanto, impossível fazer ensaios com velocidade de deformação ($\dot{\phi}$) constantes. A MDTEC realiza a compressão do corpo de prova e armazena cerca de 8 leituras por segundo dos dados da força e da variação da altura do corpo de prova.

Na MDTEC há uma série de elementos fundamentais para seu funcionamento (Figura 29), os quais podem ser classificados em 4 (quatro) mecanismos/sistemas de acordo com a função dele:

- Mecanismo de Compressão: Composto por um atuador hidráulico, matriz superior e região de compressão (base). Sua função é deformar o corpo de prova;
- Sistema de Coleta de Dados: Composto por um sensor de deslocamento (modelo régua potenciométrica) e um sensor de força (modelo célula de carga).
- Mecanismo Robotizado de Alimentação, Posicionamento e Descarte: Composto por uma estrutura de atuação eletromecânica movida por correias que é acionado por motor de passo (detalhes no subcapítulo 3.2.1.2);
- Sistema de Mensuração: Composto pelos sensores (Figura 30) e de força (Figura 31). O sensor de deslocamento mede a altura e a célula de carga mede a força, ambas aplicadas no corpo de prova ao longo do processo de compressão. Os dados mais importantes do experimento são a variação da altura Δh (mm) e da força (N) aplicada sobre o corpo de prova. Os dados de variação da altura do corpo de prova (Δh) são coletados pela régua potenciométrica (sensor de deslocamento da Figura 30). Este sensor apresenta boa precisão em substituição ao LVDT que são indutivos e mais caros. A régua trabalha com variação de resistência elétrica (de 0 até 5K Ω). Conforme a lei de Ohm, $R = \frac{U}{i}$ (U=tensão elétrica, i=corrente e r=resistência). A medição do deslocamento é feita medindo a variação da tensão aplicada nos terminais do sensor, esta tensão varia proporcionalmente à variação da resistência que

ocorre com o deslocamento do cursor deste sensor. No Raspberry Pi o valor de tensão recebida é convertido para milímetros. O erro médio deste sensor é 0,2%.

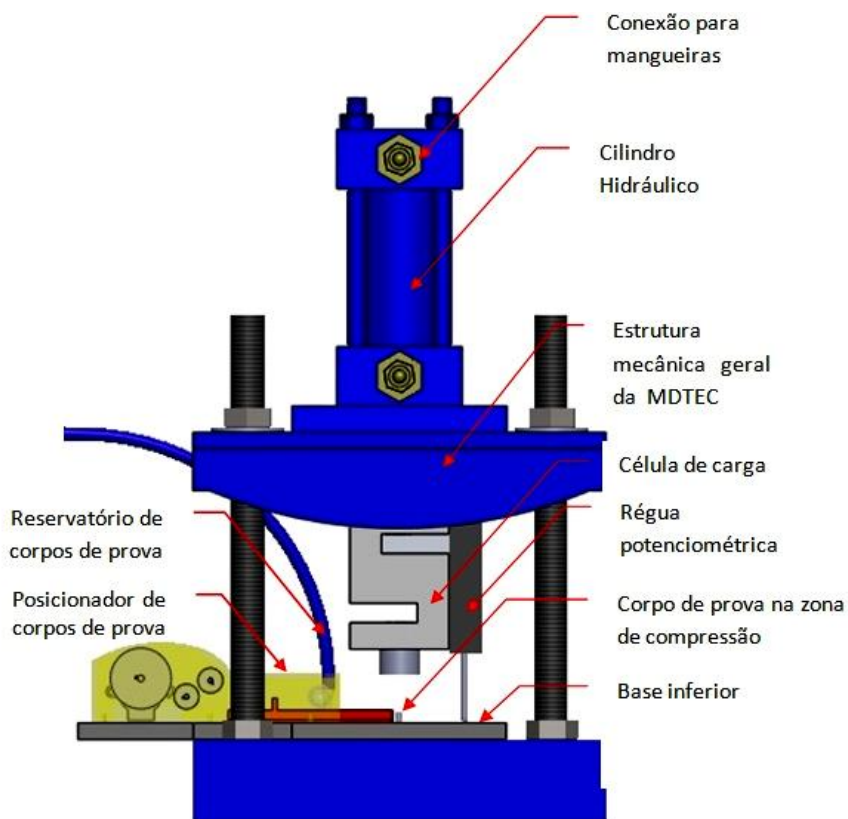


Figura 29 - Detalhamento da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão



Figura 30 - Régua potenciométrica para medição da delocamento

Para captar informações sobre a força aplicada no corpo de prova, uma célula de carga tipo Z (Figura 31) com capacidade de 10,1 kN está acoplada abaixo da matriz

inferior. As células de carga trabalham com a variação da resistividade do extensômetro (strain gauge) que fica fixado ao corpo da célula de carga. Quando uma força é aplicada ocorre a alteração do tamanho e consequentemente da resistência do extensômetro.



Figura 31 - Célula de carga Z 10KN

Fonte: Autor

A variação desta resistência é da ordem de miliVolts, portanto foi necessário utilizar um amplificador de tensão para que o Raspberry pudesse ler estes sinais.

3.2.1.2 Detalhamento do Mecanismo de alimentação, posicionamento e descarte dos corpo de prova.

Nas máquinas de ensaio de compressão tradicionais a colocação das amostras é feito manualmente pelo estudante. Entretanto, na MDTEC por ser uma máquina de ensaio remota foi necessário criar um mecanismo chamado de "Braço Robótico Posicionador de Corpos de Prova" ou apenas "Posicionador" com a função de armazenar, alimentar, posicionar e descartar as amostras no processo de ensaio. O posicionador (ver detalhes na Figura 32) trata-se de um mecanismo eletromecânico composto por: a) motor de passo; b) haste de posicionamento (detalhes Figura 33); e c) estrutura principal de proteção, a qual suporta as polias (movidas e motora), a correia, o motor de passo, um funil de alimentação de corpo

de prova. A estrutura principal e a haste foram desenhadas em solidworks e posteriormente fabricadas em impressora 3D.

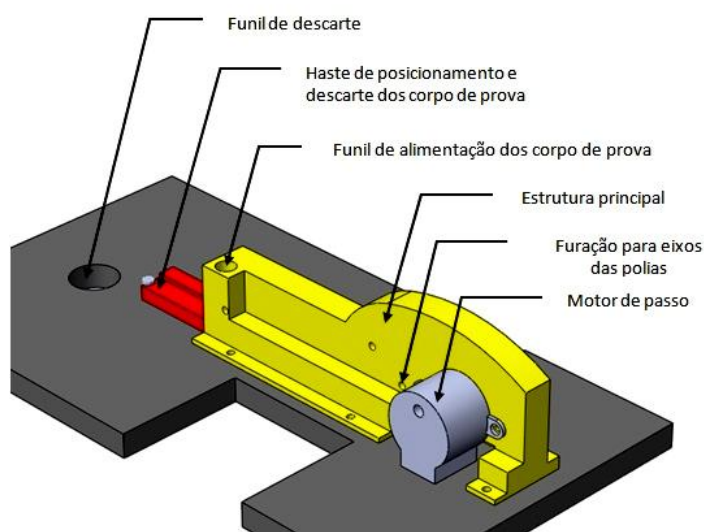


Figura 32 - Vista do mecanismo de alimentação, posicionamento e descarte dos corpos de prova

A Figura 34(b) é uma seção em corte na vista lateral do posicionador ilustrando onde ficam as polias movidas e a motora, a coreia e o engate da haste que fixa a correia.

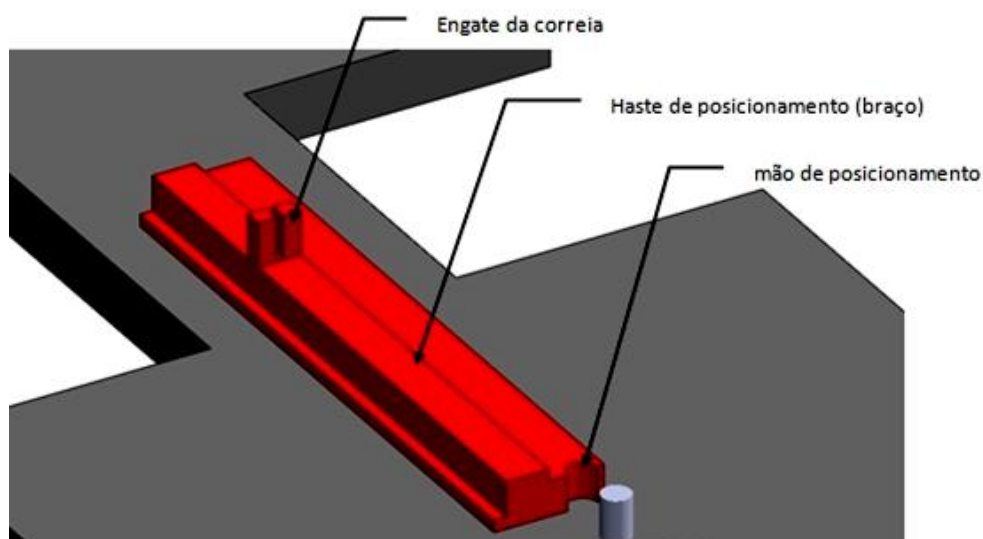


Figura 33 - Detalhes da haste do posicionamento

O mecanismo funciona movimentando a haste para frente e para trás e desta forma movimenta o corpo de prova até a área de compressão. Entretanto, para retirar o corpo de prova do funil e fazer descer até a base, a haste é deslocada para trás até a queda

do corpo de prova e em seguida o posicionador avança e leva o corpo de prova até a área de compressão.

A Figura 34 (a) é uma vista em corte do braço robótico numa seção que corta o meio do funil de alimentação. Este funil fica conectado uma mangueira (diâmetro externo de 8 mm e diâmetro interno de 5,5 mm) para armazenamento dos corpos de prova.

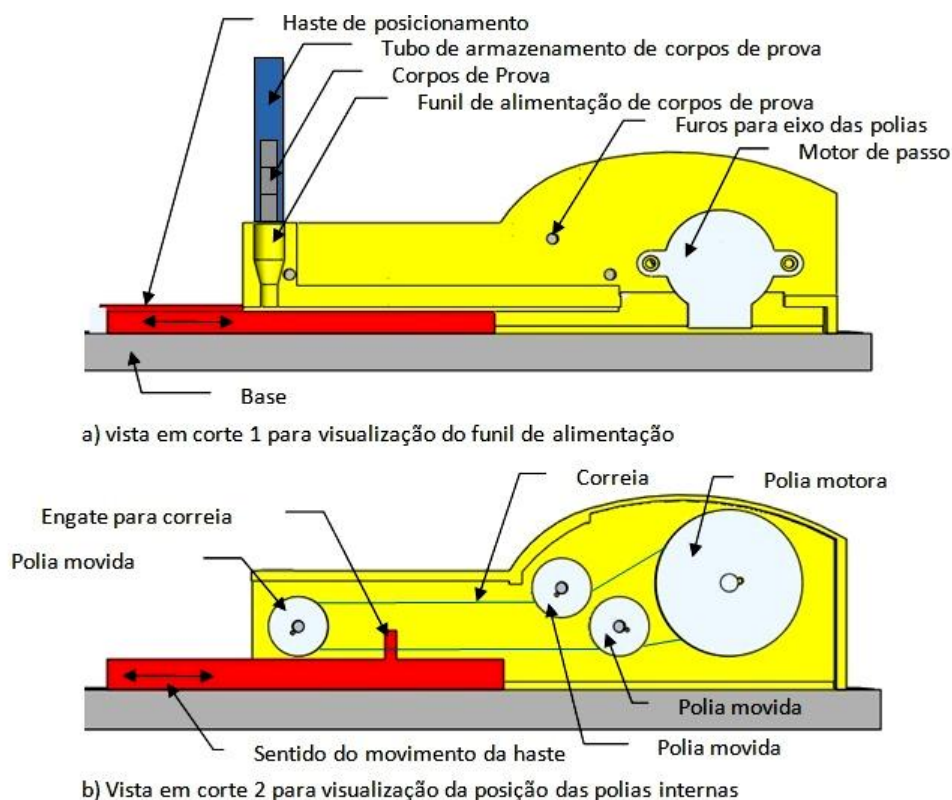


Figura 34 - Vista lateral do posicionador

Além disso, na parte frontal do experimento ficam 2 câmeras para visualização do processo de experimentação na página de acesso ao laboratório.

3.2.1.3 Unidade Hidráulica

Neste subcapítulo está detalhado o item "b" da Figura 28. A unidade hidráulica (Figura 35) é um sistema de pressão movido por bomba hidráulica e baseado na pressão e fluxo de óleo. Um motor elétrico faz o controle do giro da bomba. Além disso, uma válvula direcional controlada por solenóide controla o sentido do óleo, e conseqüentemente gerando o avanço e retorno do cilindro hidráulico que está fixado na estrutura da MDTEC. A unidade hidráulica é composta por uma bomba hidráulica, motor trifásico de 380 Volts,

reservatório de 40 litros, válvula direcional de duplo solenóide e uma válvula limitadora de pressão.



Figura 35 - Unidade Hidráulica

3.2.1.4 Painel de acionamento do motor da unidade Hidráulica

Neste subcapítulo está detalhado o item "c" da Figura 28. O painel de acionamento do motor (Figura 36) é desenvolvido para ligar, desligar, controlar a velocidade e proteger de sobrecargas o motor elétrico. Permite acionamento pelo minicomputador Raspberry. O painel é composto por um inversor de frequência, disjuntor de proteção contra sobrecarga e relê térmico. O inversor possibilita ligar o experimento em redes 220 volts, controlar a rotação do motor e energizar o motor via contato do relê.



Figura 36 - Painel de controle do motor

3.2.1.5 Painel de Processamento Dados

Neste subcapítulo está detalhado o "Painel de Processamento de Dados", item "d" do esquema da Figura 28. Este painel (Figura 37) é responsável pela aquisição, controle e processamento da dados da MDTEC.

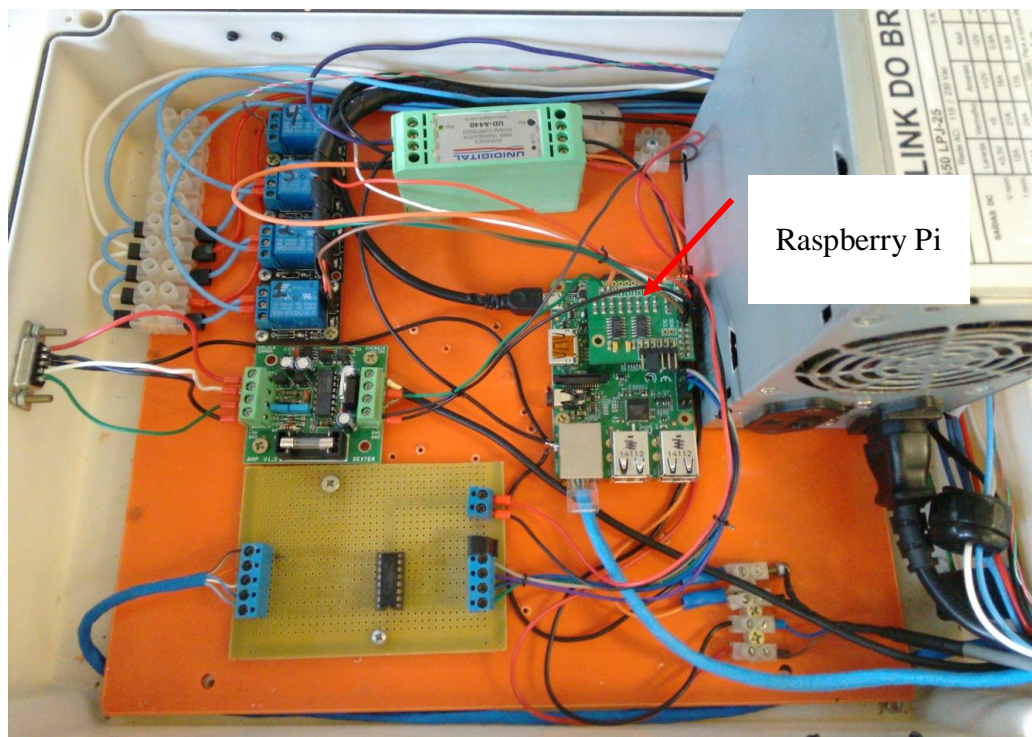


Figura 37 - Painel de Processamento de Dados

O componente responsável por estes processos é o Raspberry Pi o qual dispõe de pinos que servem como entrada e saída de sinais. Os principais dispositivos que o Raspberry controla são: lâmpada (relê 1), motor elétrico (relê 2), duas solenoides da válvula direcional de avanço e retorno do atuador hidráulico (relês 3 e 4), e motor de passo do posicionador.

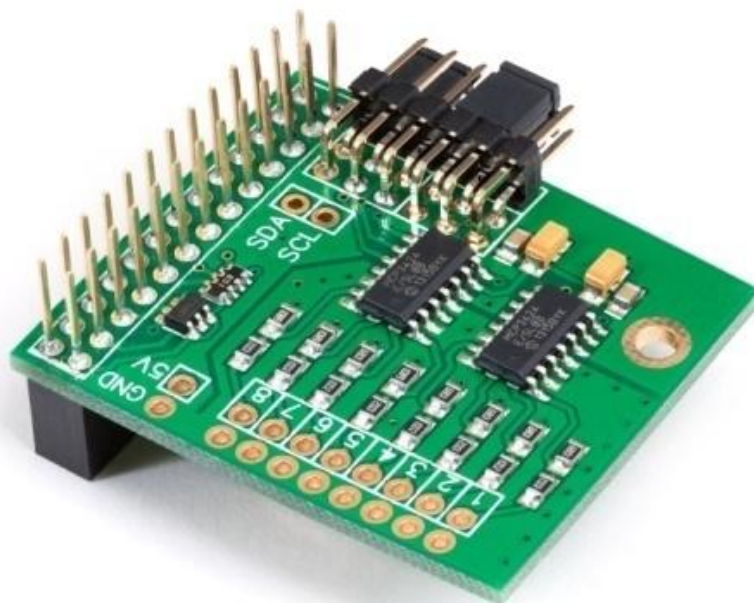


Figura 38 - Conversor de sinal analógico para digital ADCPi

Fonte: <https://www.abelectronics.co.uk/>

Os dados de entrada são os sinais dos sensores analógicos de força e deslocamento, dos sensores digitais de proximidade presentes no alimentador de corpos de prova, e também as imagens das câmeras. Portanto, a função principal do painel é fazer a troca de dados entre o usuário, o site, e os dispositivos eletromecânicos de sensoriamento e controle presentes na máquina didática de ensaio de compressão teleoperada (MDTEC).

Como o Raspberry Pi não possui conexões para sensores analógicos (RICHARSON e WALLACE, 2013), um conversor de sinal analógico-digital (ADC) (ver Figura 38) foi acoplado sobre ele para possibilitar a leitura dos sinais da célula de carga e do sensor de deslocamento. Uma visão completa das ligações dos dispositivos do painel de processamento de dados está melhor elaborado no diagrama elétrico da Figura 39. Para ter detalhes dos pinos GPIO do Raspberry Pi na Figura 40

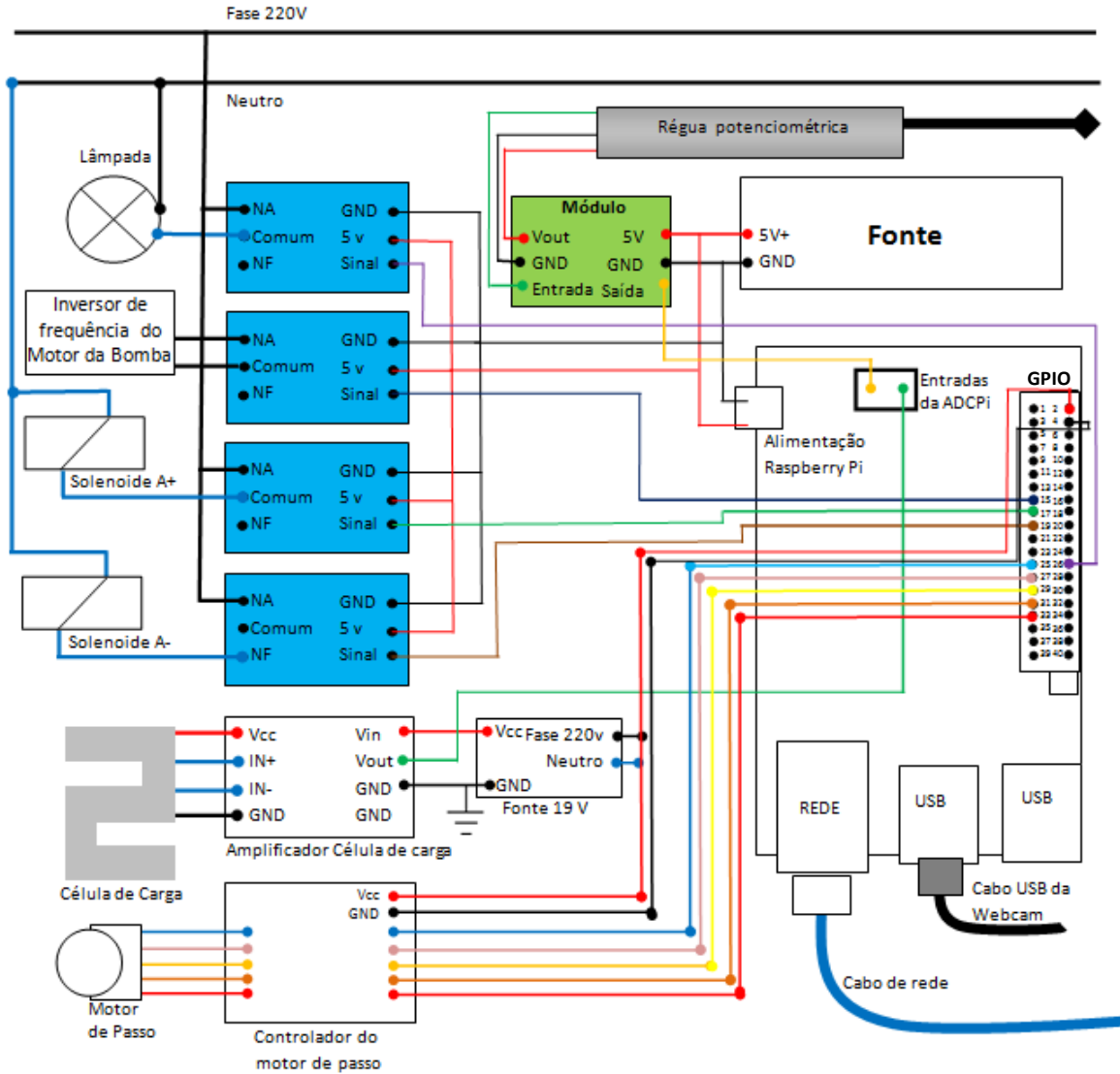


Figura 39 - Diagrama Elétrico do painel de processamento de dados

01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I2C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I2C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I2C ID EEPROM)		(I2C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Figura 40 - Tabela de Pinos do Raspberry Pi

3.2.1.6 Servidor WEB

Neste subcapítulo está detalhado o item "a" da Figura 28. O servidor WEB é um computador que possui acesso à internet e suporta o banco de dados da página de internet do Laboratório.

3.2.2 Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem

O Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem do laboratório é a parte virtual do Laboratório (detalhes na Figura 41). É uma página de internet desenvolvida em formato de Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA) ou LMS (Learning Management System), que permite que seja acessado o laboratório de qualquer lugar via internet. Os principais menus da página encontram-se detalhadas abaixo:

Agenda: O link agenda serve para realizar a programação do horário de uso do experimento.

Aproveitamento: este menu exibe uma página com um resumo da situação do estudante. É um relatório da realização das tarefas obrigatórias de aprendizagem e avaliação propostas.

Atividades: Neste menu existem diversas atividades com vídeos, textos e imagens sobre assuntos relacionados ao experimento MDTEC e ao levantamento de curvas de escoamento. parte do experimento e a parte do conteúdo/atividades. Além disso, apostilas, vídeos e artigos sobre diversos assuntos pertinentes estão disponíveis no site, a fim de servir como apoio didático ao estudante. Nesta seção está a Atividade de Aprendizagem Experimental #1 desenvolvida para a primeira aplicação do LABCONM.

Experimentos: No menu experimentos ficam submenus para acesso aos painéis de controle dos experimentos do Laboratório Online de Conformação Mecânica. É onde o estudante realiza/controla/monitora o processo de experimentação. Atualmente só há a MDTEC.

Avaliações: Neste item ficam questionários utilizados pelos estudantes para avaliar os uso do Laboratório.

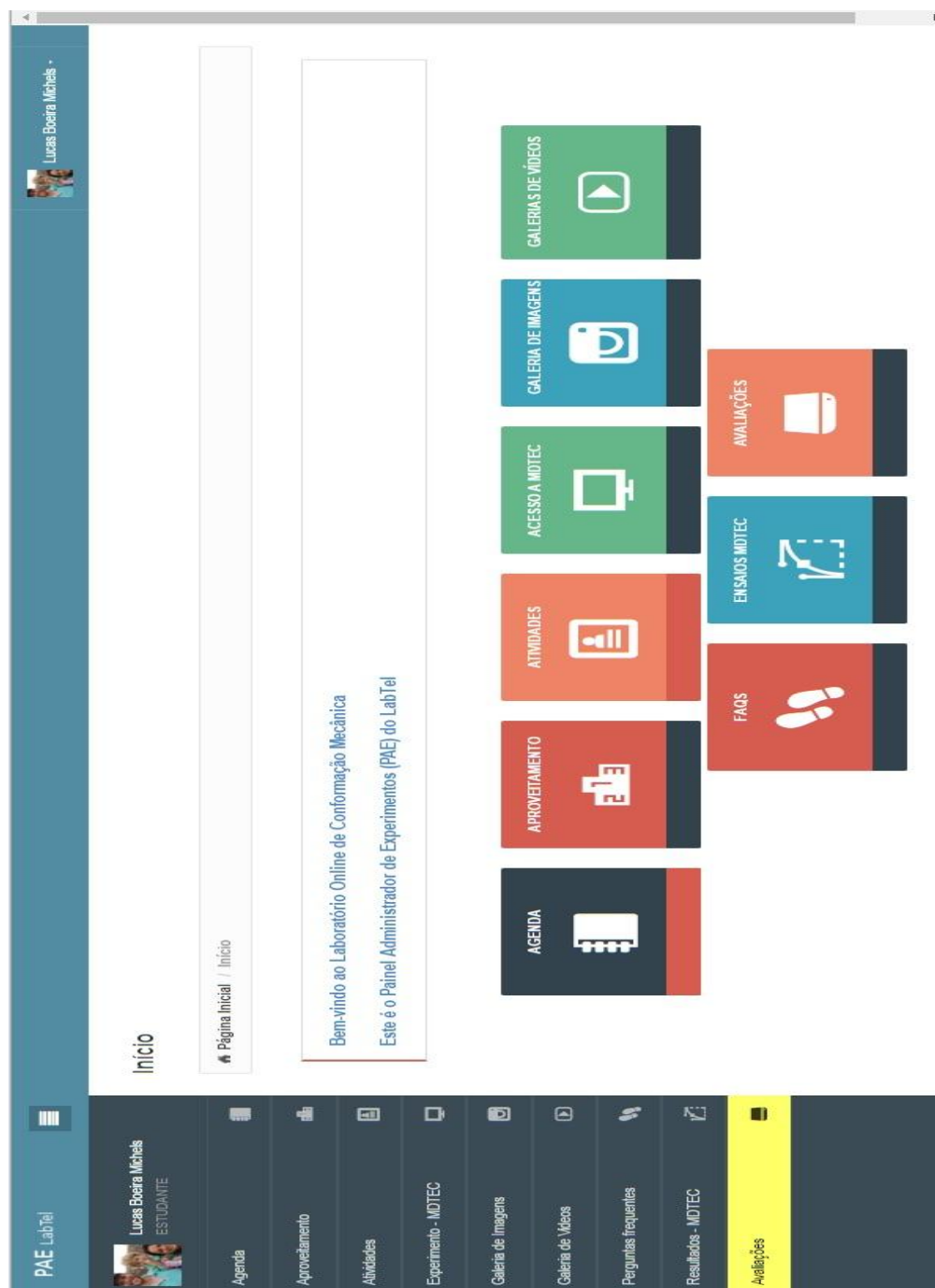


Figura 41 - Visão Geral da Página do Laboratório Online de Conformação Mecânica

3.3 Painel de Controle da MDTEC

Para o controle da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC) foi desenvolvido um aplicativo chamado de "painel de acesso ao experimento"

integrado ao Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA). Para cada experimento novo deverá ter também um Painel de Acesso ao Experimento, o qual é responsável pela interface de controle e monitoramento do experimento.

A parte de controle foi dividida em duas abas: "Controles" e "Gráficos". A Figura 42 representa o painel com a aba "controles" ativa. Os principais itens do painel nesta figura são: A janela de imagens da câmera; o mostrador 1 que indica a etapa atual do processo de ensaio; o mostrador 2 que indica informações úteis sobre a etapa do ensaio; os mostradores dos sensores (deslocamento, Força, altura da amostra, diâmetro da amostra e velocidade de deslocamento da matriz superior); as abas "controle" e "gráficos"; e os botões de acionamento presentes na aba "controles", sendo: a) responsável por retirar do alimentador e posicionar os corpos de prova na área de compressão. b) responsável por medir a altura do corpo de prova e c) responsável por iniciar o processo de deformação e coleta de dados, isto é, iniciar o processo de ensaio efetivo.

A Figura 43 por outro lado, indica as mesmas informações da Figura 42 exceto que, neste caso ela, mostra o conteúdo da aba "Gráfico" e nesta configuração, exibe o gráfico ($F \times \Delta h$) e outros botões de acionamento, sendo: d) responsável por exportar os dados coletados no ensaio, e) responsável por descartar o corpo de prova levando-o até o funil de descarte e, f) e g) responsáveis, respectivamente, por fazer subir ou descer a matriz superior do sistema de compressão.

Portanto, para controlar a MDTEC não há necessidade de instalar nenhum programa além daqueles presentes para navegação e visualização de vídeos via internet. Que podem ser via smarphone, tablet, celular e computadores em geral. Como já definido anteriormente, os dispositivos de acesso ao laboratório não fazem parte do desenvolvimento desta plataforma de experimentação criada, pois são equipamentos comumente encontrado na residência ou na escolas dos aprendizes em que já dispõem dos requisitos necessário para acesso ao Laboratório.

O Fluxograma da Figura 44 ilustra esquematicamente como é feito o acesso ao laboratório e como se realiza o ensaio mecânico de compressão. O detalhamento do processo de ensaio está descrito a seguir.



Figura 42 - Painel de controle da MDTEC (Vista aba controle)



Figura 43 - Painel de controle da MDTEC (vista aba gráficos)

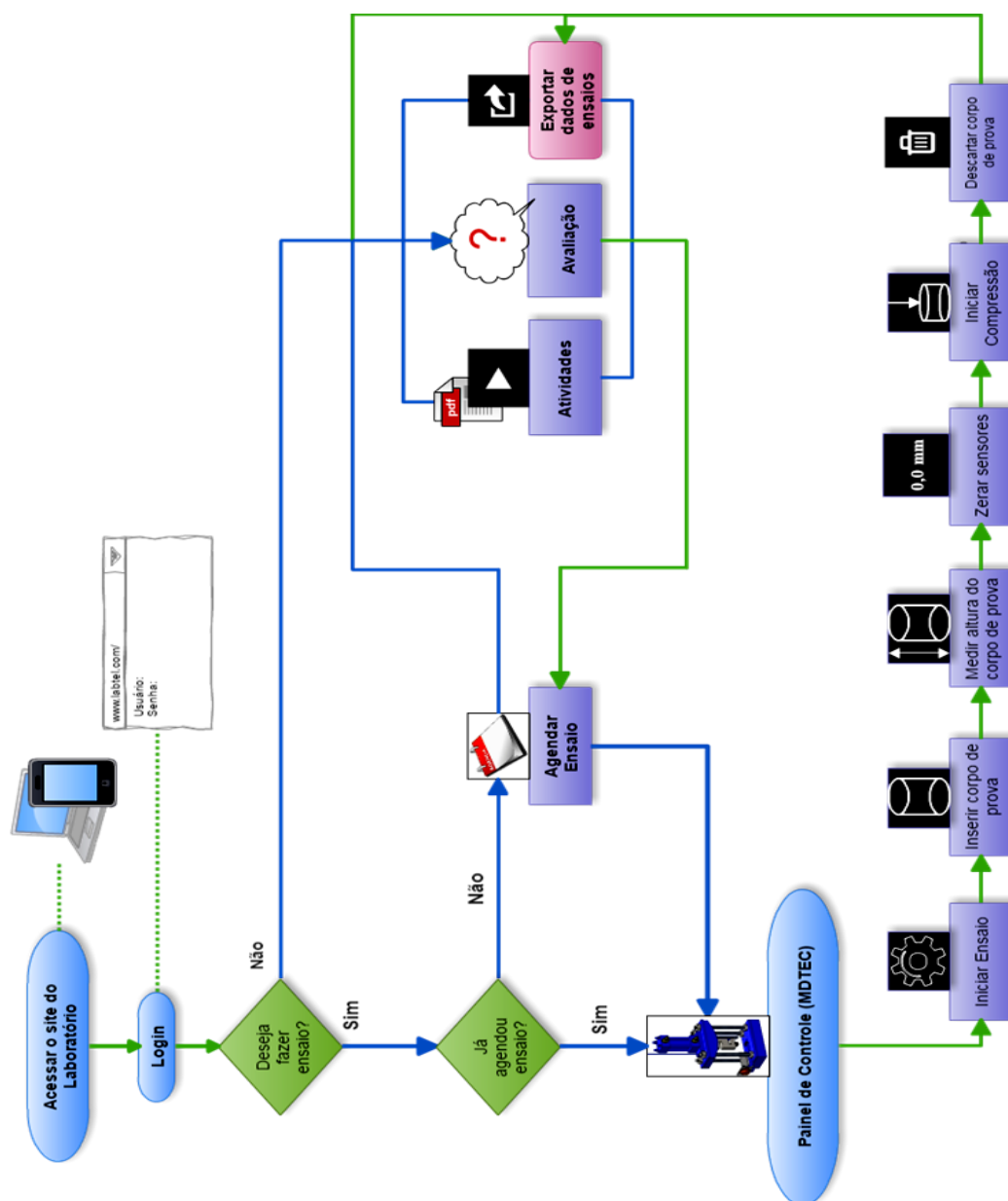


Figura 44 - Fluxograma de acesso ao Laboratório Remoto de Conformação Mecânica

3.4 Experimentações que podem ser realizados no LABCONM

Como em um laboratório físico, o Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM) pode ter diversos experimentos teleoperados como ensaio de atrito, ensaio de tração entre outros. Entretanto, nesta primeira versão, o primeiro passo foi desenvolver um único experimento remoto chamado de "Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC)" e seu respectivo Painel de Acesso ao Experimento (PAE), o qual fica hospedado na página WEB do Laboratório (Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem).

Com relação às experimentações que podem ser feitas com a MDTEC, por ser uma máquina de ensaio de compressão, o estudante pode realizar remotamente um ensaio de compressão real deformando mini corpos de prova de alumínio. Portanto, a MDTEC é uma máquina projetada para realizar as etapas similares/parecidas àquelas realizadas em ensaios de compressão convencionais e fornece dados para determinação de curva de escoamento. Ela é um experimento controlado através de um "painel de controle" (PAE) específico, alocado dentro do Sistema WEB de Gerenciamento do Laboratório (SGL).

Os principais comandos/ações de controle da MDTEC são: posicionamento do corpo de prova, medição da altura do corpo de prova, controle de subida e descida da matriz de compressão e descarte do corpo de prova, deformação do corpo de prova. Estas funções indicam que o estudante realizará um ensaio com praticamente todas as etapas reais de um ensaio, com certa interação e controle da máquina. As principais etapas e diferenças estão descritas nos itens a seguir:

a) Produção do corpo de prova: Assim como em aulas tradicionais onde o professor leva os estudantes para frente da máquina de ensaio, na MDTEC os corpos de prova já estão pré-fabricados e armazenados no sistema de posicionamento. Deste modo, não há diferença nesta etapa, pois os estudantes normalmente não aprendem a produzir seus os corpos de prova. Para o professor, a reposição de corpos de prova é uma tarefa simples, ele mesmo pode fazer, tendo uma cortadeira metalográfica.

b) Posicionamento do corpo de prova: Para posicionar o corpo de prova na região de compressão o sistema da MDTEC posiciona-o roboticamente na região de compressão, ou seja, não é feito manualmente. Esta etapa é um pouco diferente do tradicional onde o estudante coloca o corpo de prova com a mão na região de compressão. Na MDTEC o estudante inicia o processo de posicionamento do corpo de prova através de um botão e o mecanismo de posicionamento é quem coloca o corpo de prova na zona de compressão.

c) Medição do corpo de prova: Na etapa de medição do corpo de prova, que normalmente é feita antes de posicionar o corpo de prova na região de compressão e medida manualmente através de um paquímetro ou micrômetro, na MDTEC a medição da altura é feita após ser posicionado o corpo de prova sobre a região de compressão. O instrumento de medição neste caso é o próprio sistema de compressão/medição da MDTEC que é composto pelos sensores de força e deslocamento que são controlado pelo cilindro hidráulico. Poderiam ser usados corpos de prova com tamanhos padrões, e proceder com tamanhos tabeladas porém, para dar interatividade ao sistema, esta etapa foi incluída na

MDTEC como um procedimento indispensável ao estudante, similar ao que ocorre no cotidiano dos ensaios mecânicos.

d) Deformação: A etapa de compressão/ensaio é feita de forma quase que similar ao sistema tradicional, através de sistema de atuação hidráulico e com coleta de dados adquiridas pelos sensores célula de carga e uma régua potenciométrica.

e) Descarte corpo de prova: Na etapa final de descarte (retirada) do corpo de prova da região de compressão é feita também roboticamente pelo mecanismo de posicionamento (posicionador). Para o estudante, basta apertar um botão para realizar o processo.

f) Armazenamento de dados: Os dados dos ensaios são armazenados em banco de dados e ficam disponíveis para o estudante utilizá-los na determinação da curva de escoamento. São dados com as mesmas características que as máquinas de ensaios comerciais industriais oferecem. Dentro do SGL existem também apostilas, artigos e vídeos para auxiliar no processo de experimentação, conversão dos dados, construção de gráficos, gerar parâmetros e analisar informações.

De modo geral, além de entender o processo de ensaio de compressão o estudante não fica só nesta questão, pois o que foi planejado dentro do laboratório é que realize o processo completo de levantamento das curvas de escoamento através dos dados experimentais do ensaio que ele mesmo executou. Os estudantes postam seus resultados e análises no sistema e o professor retorna com a avaliação final. Assim, o fato de realizar um ensaio de compressão completo, auxilia na aprendizagem sobre conceitos básicos da Conformação Mecânica como simbologia, equações e conceitos da tensão verdadeira (σ), deformação verdadeira (ϕ) e tensão de escoamento (k_f), tensão de escoamento inicial (k_{f0}), força e energia de conformação.

Os procedimentos e conhecimentos de como proceder para a construção da curva de escoamento ficam na página do Laboratório Remoto. Os ensaios que são feitos neste laboratório são a frio e desprezam a influencia da velocidade de deformação ($\dot{\phi}$), pois não há controle da velocidade da máquina.

No futuro espera-se melhorar a capacidade da MDTEC para que se possa alterar as variáveis de material, temperatura e velocidade de máquina, adicionando-se uma fonte de calor, projetando o alimentador para selecionar um segundo tipo de corpos de prova com materiais diferente e melhorando o sistema de controle de pressão e vazão hidráulico. Desta forma, seria possível gerar 4 tipos de resultados: material 1, a frio e a quente e;

material 2, a frio e a quente. Com estes dados a aprendizagem seria melhorada, pois possibilitará praticar as habilidades de comparar, analisar e aplicar de forma mais interativa e construtiva. Os detalhes de como proceder com o ensaio de compressão e detalhes deste recurso estão no subcapítulo 3.3.

3.4.1 Passo a passo do Processo de Ensaio Teleoperado

ACESSO e LOGIN: O Laboratório Remoto de Conformação Mecânica é acessado pelo endereço eletrônico: www.pae.noip.me/ clicando-se no link "entrar" após preencher os dados de usuário e senha conforme mostra a Figura 45. Caso o estudante possua conta de "Gmail" (google) ou "facebook", não precisará se cadastrar para acessar o site. Poderá fazer o login diretamente pelos ícones: Google ou Facebook.

AGENDAMENTO: O usuário deverá agendar um horário de experimentação na "agenda do sistema" para que não ocorram conflitos de horário e acesso.



Figura 45 - Página de Acesso ao Laboratório Remoto de Conformação Mecânica

A máquina didática não pode ser acessado simultaneamente, por tanto o sistema solicita a confirmação do agendamento para aquele horário, caso contrário deverá voltar ao sistema de agendamento;

INÍCIO DO ENSAIO: Para acessar o painel de controle da MDTEC deve-se acessar o menu "Experimentos" e uma janela lateral exibirá o painel por completo. Quando o estudante acessar a área de experimentação no horário marcado no sistema de

agendamento, o sistema libera os comandos para realização do ensaio de compressão, entretanto, nem todas as funções do laboratório ficam disponíveis de forma imediata. Para que o ensaio seja realizado por completo, cada etapa/função é liberada após outra acontecer de forma completa. As etapas do ensaio estão descritas a seguir:

a) Posicionamento do corpo de prova: Esta é a primeira etapa do processo de Compressão. O usuário deve pressionar o botão "Posicionar corpo de prova" e a MDTEC colocará um corpo de prova na zona de compressão.

b) Medir altura do corpo de prova: Esta é a segunda etapa do ensaio. O estudante deverá comandar a medição do tamanho (h_0) do corpo de prova através do botão "Medir altura do corpo de prova". O sistema irá fazer o processo de medição e retornará o valor da altura no mostrador.

c) Deformação e coleta de dados. Esta é a terceira etapa do ensaio. É o processo de compressão propriamente dito. Nesta etapa o corpo de prova recebe uma força axial compressiva. Durante este processo o sistema coleta os dados de força e variação da altura (h) do corpo de prova e armazena em banco de dados. Para iniciar este processo o usuário deve pressionar a tecla "Iniciar Ensaio" no painel de controle.

d) Descarte do corpo de prova: Esta é a 4ª etapa do ensaio. Nesta etapa o usuário deve pressionar o botão "Descarta corpo de prova" do painel de controle para que o mecanismo posicionador da MDTEC atue retirando o corpo de prova da zona de compressão e coloque no funil de descarte.

e) Exportação dos dados: Esta é a última etapa do processo de ensaio. O usuário deve pressionar o botão "Exportar Dados" para baixar o arquivo contendo os dados do ensaio.

3.5 Produção dos Corpos de Prova

Para verificação do material a ser usado como corpo de prova para enquadramento à capacidade da máquina didática teleoperada de ensaio de compressão (MDTEC) buscou-se um material de baixo custo e de fácil preparação. O fator mais importante de ter amostras em tamanho reduzido é obter um número maior de amostras com pouco material, resultando em baixo custo de produção.

Como a máquina de ensaio poderia exercer forças de no máximo 1kN, o critério inicial de escolha do material para produção dos corpos de prova é que pudessem ser

deformados (φ) entre 0,8 e 1, e pudesse apresentar uma curva de escoamento característica. Optou-se pela utilização das varetas de solda TIG feitas em liga de alumínio 4340-O, pois os ensaios mostraram que este material se encaixara dentro dos limites estabelecidos quanto a deformação e força máxima. Além disso, como estas varetas já são comercializadas em formato cilíndrico e com diâmetros de 4,73 mm, a preparação dos corpos de prova tornou-se facilitada, necessitando apenas de cortes transversais e algum acabamento nas superfícies para retirar rebarbas.

Para realizar os cortes transversais foi usada a cortadora metalográfica CM60 da Teclago. Este modelo possui um reservatório de 50 litros de água para refrigeração do corte o que diminui possíveis deformações pelo excesso de calor. Como as varetas de solda possuem 1 metro de comprimento foi necessário cortar em pedaços de 10 mm para que coubessem no interior da cortadora metalográfica.

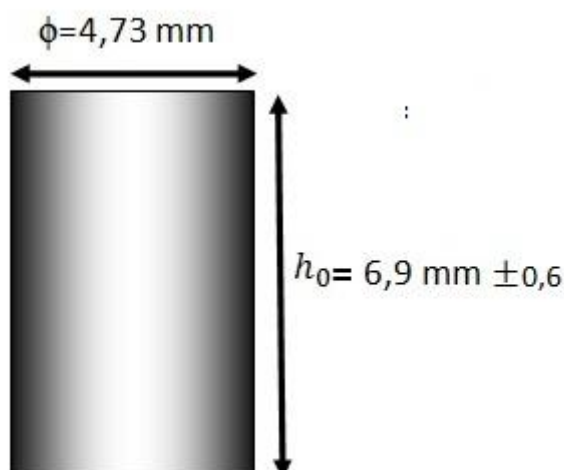


Figura 46 - dimensões do corpo de prova

Considerando que corpos de prova possuem 4,73 mm de diâmetro, para evitar possível flambagem, foram produzidos com medidas entre 6,5 a 7,5 mm (detalhes Figura 46). A variação nos valores de altura não apresenta problemas significativos nos resultados finais, pois a MDTEC calcula a altura inicial do corpo de prova antes do ensaio

E, portanto, em seus cálculos o estudante considera sempre a altura inicial da amostra de acordo com a mediação realizada pela MDTEC antes de iniciar o ensaio. As amostras finais estão ilustradas na Figura 47. Para reduzir o atrito, os corpos foram pré-lubrificadas com óleo.



Figura 47 - Corpos de prova prontos para ensaio de compressão

3.6 Calibração e Histórico das principais dificuldades

Por ser um sistema didático a MDTEC precisaria detectar os corpos de prova e definir a altura deles gerando assim, mais proximidade com os procedimentos de um ensaio de compressão. Contudo, durante o processo de descida da matriz, não poderiam haver oscilações nos sinais da célula de carga e régua potenciométrica, pois isso comprometeria consideravelmente a detecção da amostra e a medição da sua altura. Desta forma para fazer as funções de medição, os sensores de força (célula de carga) e de deslocamento (régua potenciométrica) teriam que apresentar baixa oscilação (ruído), boa sensibilidade e boa resolução. Como citado em outro capítulo, para medir dados analógicos, o Raspberry Pi necessita de placas adicionais de conversão ADC (Analog Digital Converter) e como solução a placa ADCPi (produzida pela ABEletrônicos) foi adotada por apresentar melhor estabilidade na tensão de saída e tem resolução de 12, 14, 16 ou 18 bits.

Para poder ler os sensores de força e deslocamento, além da placa adicional de conversão Analógico-Digital cada qual apresentou peculiaridades. No caso da célula de carga, por ser um sensor de baixa tensão de saída, foi necessário adquirir um amplificador operacional de instrumentação. O primeiro protótipo de amplificador foi montado através de um circuito básico de amplificação utilizando o integrado de instrumentação INA125 da Texas Instruments. Entretanto, nos testes de calibração com este circuito verificou-se baixa estabilidade e precisou ser substituído por um circuito com melhor estabilidade e filtragem de sinais. A melhor opção foi adquirir o circuito amplificador de células de carga da

empresa Dexter (Porto Alegre-RS-Brazil), cujo resultado foi a estabilidade durante a calibração e sem interferência da rotação do motor da Unidade Hidráulica. Com este circuito a única alteração necessária no circuito do painel de controle foi instalar uma fonte adicional com mais de 15 volts DC, conforme especificação do fabricante.

Na calibragem do sensor de deslocamento as principais dificuldades foram na estabilidade e no erro de linearidade da tensão de saída. Inicialmente, este sensor foi alimentado com a tensão de 5 volts da fonte geral. Como não apresentou estabilidade utilizou-se a saída de 5 volts do próprio Raspberry Pi e mesmo assim apresentava problemas intermitentes de oscilação da tensão de saída. Para resolver esta questão foi adicionado uma fonte chaveada dedicada de 5 volts para alimentar este sensor gerando uma estabilidade quase que ideal. Apesar da estabilidade, durante as calibrações verificou-se que estava ocorrendo um erro de linearidade gerado pela impedância da fonte. Isto é, apesar da resistência da régua ser linear, a fonte de alimentação gerava uma distorção na tensão de saída. A solução encontrada para diminuir o erro de linearidade foi adquirir o módulo próprio para réguas potenciométricas da UNIDIGITAL adquirido na KSL Controles (Porto Alegre-RS-Brasil).

Além dessas dificuldades em estabilizar os sinais de tensão dos sensores, ao longo das calibrações outras ligações dos dispositivos do painel de processamento de dados eram necessárias para testes como motor de passo, ligação de reles etc. Entretanto, observou-se que a simples toque ou a movimentação de qualquer dos fios do circuito do painel geravam alteração dos sinais dos sensores. Por fim, a calibração final só foi possível depois de finalizar a instalação de todos os outros dispositivos no interior do painel, visto que a ligação de outros dispositivos eletromagnéticos influenciavam no resultado da tensão de saída dos sensores.

Após feitas as correções e alterações necessárias para que os sensores pudessem funcionar com melhor estabilidade possível, iniciaram-se os testes de calibração e programação do Sistema WEB de Controle (site) para controle e monitoramento da Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC). A primeira etapa foi a automação do processo de medição da altura do corpo de prova. Nesta etapa a célula de carga era zerada, o motor da unidade hidráulica era ligado e depois acionado o relê da válvula direcional hidráulica para descer o atuador até "sentir" encostar no corpo de prova (sentido pela variação da força no sensor) e armazenar a altura do corpo de prova. Após algumas tentativas falhas observou-se que a tensão de saída da célula de carga era

influenciada pela quantidade de relês ligados. Como são 3 relês que deveriam ficar ligados durante o processo de ensaio, foi decidido realizar a calibração da automação da medição da altura do corpo de prova com os relês da lâmpada; de acionamento motor e; de acionamento da válvula ligados para que as tensões de referência mantivessem a mesma calibração do momento do ensaio.

Na calibragem da célula de carga não foi possível colocar objetos com peso na sua capacidade máxima deste sensor. Inicialmente pensou-se em calibrar usando a força de outra máquina de ensaio, porém isso não foi exitoso, pois quando se aplicava uma força diretamente sobre outra célula de carga havia muita variação no registro da carga, o que provocava grandes incertezas sobre o valor correto. Então, os objetos utilizados na calibragem foram halteres de academia de musculação. Na prática foram muito difíceis de transportar devido sua relação peso e volume serem muito altos para ser transportado por apenas uma ou duas pessoas. Para realizar a calibração primeiramente foram identificados os valores das cargas dos halteres através da célula de carga da máquina de ensaios EMIC², a qual serviu como "balança". Depois os halteres foram levados para o Laboratório de Telecomunicações (LABTEL) UFSC Araranguá para calibragem da célula de carga da MDTEC. Nesta etapa os halteres foram colocados sobre a célula de carga individualmente ou agrupados (ver Figura 48).



Figura 48 - Pesos empilhados sobre a célula de carga para calibração

² A Máquina de Ensaio utilizada encontra-se no IFSC Câmpus Araranguá

A relação entre peso e tensão (volts) lida pelo Raspberry foi relacionada conforme ilustrado na Tabela 9. Através desta relação uma equação $y=a.x+c$ foi criada para configurar o Painel de Controle da MDTEC na questão da leitura da força.

Na calibração do sensor de deslocamento (régua potenciométrica), conforme já citado, as dificuldades iniciais foram na redução do erro de linearidade gerado pelo próprio sistema de alimentação da régua. A calibração final foi feita usando blocos-padrão.

Na questão econômica, o mecanismo de força adotado não foi o melhor possível, pois sistemas hidráulicos são mais caros que sistemas elétricos. Quando este laboratório remoto foi projetado a ideia era fazer uma máquina de ensaio de compressão adotando-se como mecanismo de força o sistema hidráulico.

Tabela 9 - Tabela de carga dos halteres para calibração da célula de carga

Nº	Tensão (Volts) [x]	Força [N] [y]
Zero	0,098861	0
Halter 1	0,151200	251,96
Halter 2	0,151047	251,28
Halter 3	0,138345	187,62
Halter 4	0,129928	148,33
Halter 5	0,129316	145,62
Halter 3 +5	0,168799	333,24
Halter 1+3+5	0,220831	585,20
Todos halteres	0,303471	984,81000

Naquele momento foi uma decisão para economia de recursos, devido a pré-existência de uma unidade hidráulica no laboratório LABTEL Araranguá-SC (UFSC) que havia sido utilizada em 2013 para produção do projeto de pesquisa Prensa Didática por (MICHELS, *et al.*, 2013). Entretanto, o uso do controle da velocidade/força no sistema hidráulico é complexo e caro. Para este laboratório foi usada válvula de controladora de fluxo simples unidirecional para controlar o fluxo do óleo e assim controlar a velocidade de avanço do atuador. Nos primeiros ensaios foram encontrados problemas em relação a coleta de dados pois a velocidade estava muito alta em relação a quantidade de amostras

lidas por segundo e também para efeitos didáticos o tempo do ensaio se tornava muito pequeno (em torno de 5 segundos). Além disso, a medição do corpo de prova tornou-se complexa, pois com um avanço rápido da matriz, o tempo entre tocar o corpo de prova e fazer a leitura gerou uma diferença muito grande na medida real da altura do corpo de prova pois acabava gerando uma pequena deformação do corpo de prova. Para diminuir a velocidade foram feitos ajustes no controle de vazão e no controle da válvula de alívio da unidade hidráulica. Assim, com a redução da vazão foi possível medir a altura do corpo de prova com melhor proximidade a o valor medido com instrumentos. Entretanto, para realizar ensaio com esta velocidade, o estrangulamento da válvula gerou uma redução da força máxima do sistema hidráulico e não foi possível executar os ensaios até a deformação esperada e o corpo de prova deformava-se apenas 40% em relação ao seu tamanho inicial. Além disso, em muitos momentos, a variação do deslocamento era zero indicando que a velocidade estava muito baixa para o ensaio. Realizar este ajuste fino na velocidade, usando uma válvula de fluxo foi um procedimento complexo pois qualquer variação na válvula de fluxo geraria grandes variações na velocidade da matriz. Por fim conseguiu-se que uma velocidade inicial média da matriz em 0,38 mm/s, a qual obteve melhor equilíbrio para medição da altura, para tempo de ensaio, força total do sistema hidráulico e qualidade final dos dados do ensaio.

Outra situação que gerou alguns problemas foi que o corpo de prova por ter massa reduzida, algumas vezes, após a deformação ficava preso à matriz superior e no momento do processo de descarte o posicionador passava por baixo do corpo de prova e não conseguia descartá-lo. Para corrigir este problema, a máquina teve que ser ajustada para, durante o processo de descarte, elevar a matriz à uma altura menor do que o normal ficando mais próxima da base. Ainda foi necessário refazer o braço do posicionador, o qual antes tinha um ressalto que formava um perfil em "L", e foi adaptado para um perfil retangular para poder deixar ainda mais baixa a matriz superior, e assim possibilitar que o posicionador conseguisse tocar o corpo de prova para retirá-lo.

Outra alteração que foi necessária do protótipo da MDTEC foi a troca da mangueira de armazenamento dos corpos de prova. Esta troca foi necessária, pois devido a formação de umidade ou até mesmo presença de óleo hidráulico no interior da mangueira alguns corpos de prova estavam ficando presos nas paredes da mangueira. Com a troca da mangueira por uma com diâmetro maior e transparente, os corpos de prova ficaram mais soltos e foi possível melhor acompanhamento da quantidade de corpos de prova de forma

visual caso necessário. Apesar do sistema indicar o número de corpos de prova, considerou-se a troca necessária para os casos de acompanhamento presencial da quantidade de amostras existentes.

Uma questão adicional de ter que medir a altura do corpo de prova pelo sistema da MDTEC, foi a interferência do sinal dos sensores versus a sensibilidade da célula de carga para determinação do momento de contato no corpo de prova.

3.7 Metodologia de Validação do Laboratório Remoto

O processo de desenvolvimento de um produto não se restringe à uma primeira versão funcional. Ele precisa de diversos testes, ensaios e aplicações, e que muitas vezes fazem com que o produto seja readaptado e melhorado para atender as necessidades do usuário/aplicação ao longo do processo. Em sua primeira versão, o Laboratório Remoto de Conformação Mecânica passou por diversos testes e correções para que pudesse ser vir a ser utilizado pela primeira vez pelos estudantes.

Para uma avaliação técnica foram feitos 25 ensaios teleoperados verificando o grau de repetibilidade dos dados, bem como a funcionalidade dos mecanismos em processo de uso consecutivo. Antes da aplicação com estudantes, a primeira parte de testes teve como objetivos validar tecnicamente a qualidade dos dados emitidos pela MDTEC, bem como a funcionalidade do site do Laboratório como um todo, avaliando a integração entre a parte física e a parte lógica. Esta etapa inicial foi feita pelos pesquisadores dentro do Laboratório LABTEL UFSC Araranguá. Como descrito em capítulo anterior, o processo de ensaio ocorre em 4 etapas consecutivas. 1) Posicionamento da amostra, 2) medição da altura da amostra, 3) compressão/coleta de dados, 4) descarte da amostra deformada. Em cada ensaio foram avaliados os seguintes fatores:

- Posicionamento dos corpos de prova: A primeira etapa exige que o mecanismo de posicionamento regire um corpo de prova do tubo de armazenamento e posicione-o o mais centralizado possível na região de compressão
- Medição da altura (h) dos corpos de prova: Neste ponto foram avaliados a exatidão e precisão das medições da altura da amostra realizada pelo mecanismo de medição da MDTEC. O procedimento foi o seguinte: Após o procedimento de

posicionamento, o corpo de prova foi medido 3 vezes pelo sistema de medição da MDTEC. Após isso, o corpo de prova foi retirado e medido 1 vez em um micrômetro de resolução 0,001.

- Compressão e coleta de dados: Após a medição, o corpo de prova foi recolocado na região de compressão e em seguida foi acionado o sistema de compressão/coleta de dados no SGL. Para avaliar a qualidade e repetibilidade deste processo, no final dos 20 ensaios, foram traçadas todas as curvas de escoamento em um único sistema de eixos xy e também levantadas as equações da tensão de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$) em cada curva para comparação dos resultados.
- Descarte dos corpos de prova: O processo final de ensaio é o descarte correto do corpo de prova deformado. Nesta etapa o mecanismo do posicionador deve movimentar o corpo de prova para que seja depositado no funil de descarte.

Os resultados dessa primeira parte de testes (os testes técnicos) são preliminares para a realização da etapa acadêmica de uso pelos estudantes. Na etapa de avaliação acadêmica, o objetivo é colocar em prova e validar a funcionalidade do Laboratório, tanto nas questões de usabilidade geral, quanto do potencial didático-pedagógico que o conteúdo dele deveria proporcionar na aprendizagem da Conformação Mecânica.

Esta etapa acadêmica, resultou em duas avaliações. A primeira foi por avaliação direta feita pelos estudantes, através do preenchimento de questionários conforme tabelas do Apêndice E e F. A segunda parte, foi a avaliação indireta, através da nota da aplicação de uma prova escrita com os estudantes que "usaram o laboratório online" (Turma A) e os estudantes que "não usaram o laboratório" (Turma B). Ambos os grupos foram comparados através de suas notas para ter uma forma de verificar o potencial didático-pedagógico do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM). Esta utilização pelos estudantes, na verdade, serviu como teste, avaliação e validação no mesmo processo. As duas turmas que participaram são estudantes da Disciplina de Conformação Mecânica da Engenharia de Materiais, Metalúrgica e Minas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em muitos projetos de laboratórios remotos não citam-se teorias para garantir coerência entre conhecimento, metodologia e avaliação. Nesta tese, além da concepção de aprendizagem baseada na experimentação, utilizou-se como base a taxionomia de Bloom que é uma teoria que auxilia a organizar o conhecimento, desenvolver e avaliar o laboratório e criar os mecanismos de avaliação e aprendizagem dos estudantes de forma mais alinhada. Este é um fator inovador que busca verificar se aquilo que será avaliado no estudante foi proporcionado com o laboratório remoto. A vantagem de usar uma fundamentação é a maior garantia de que há um alinhamento da metodologia de construção do laboratório remoto com o conhecimento que o estudante precisa compreender. Além disso, as principais vantagens da MDTEC como um experimento remoto de porte industrial são:

- Estrutura mecânica simplificada devido ao tamanho reduzido e mecanismo simplificado com características didáticas;
- Baixo custo de Manutenção: a manutenção está dividida em duas. Manutenção do sistema hidráulico. Em princípio o sistema possui baixa manutenção pois é necessário apenas a troca de óleo periódica. Em relação a manutenção da reposição dos corpos de prova, esta é feita em 2 horas de trabalho com equipamentos próprios tornando-se rápida e barata. e sistema de compressão devido (não há necessidade de terceirização da produção dos corpos de prova devido a simplicidade de fabricação.
- Baixo custo aquisição de corpos de prova pelo tamanho reduzido e facilidade de preparação (diâmetro 4,7mm);
- Facilidade de reprodução do mecanismo posicionador dos corpos de prova que é feito por processo simplificado;
- O mecanismo da máquina de ensaio é por compressão o que torna mais confiável ao levantamento de dados para construção das curvas de escoamento.

O uso do Raspberry tornou o sistema de processamento, monitoramento, aquisição e controle de sinais muito econômica e é uma inovação em relação à outras publicações.

Acredita-se ter conseguido otimizar os custos com a parte do experimento remoto com um custo bem reduzido para um equipamento industrial, bem como para a parte de aquisição, controle e processamento de dados que normalmente custam muito mais que os valores utilizados neste projeto. Além disso, por ser um equipamento com sistema Hidráulico, foi possível criar um segundo experimento remoto (MICHELS, *et al.*, 2013) que compartilha a mesma unidade hidráulica e painel de controle do motor. Com esta característica, otimiza-se e motiva ainda mais a produção de outros experimentos remotos deste porte, visto que o custo maior não é a estrutura mecânica e sim o sistema hidráulico.

O que torna mais significativo neste laboratório é a possibilidade de coletar os dados experimentais para estudo. Esta característica é um diferencial em relação aos experimentos comuns em que os estudantes apenas veem o fenômeno e não pode extrair dados para um trabalho mais avançado de análise.

4.1 Da Avaliação Funcional da MDTEC

Após diversas calibrações, e repetidos ajustes nas configurações de controle, deslocamento do atuador chegou-se à uma configuração aceitável para colocar em prática os testes práticos de funcionalidade da MDTEC. Para ser útil na aprendizagem de estudantes estipulou-se no projeto de desenvolvimento da MDTEC que as características esperadas no funcionamento dela seriam: a) capacidade de deformação de corpos de prova em metal; b) similaridade dos resultados com às características do metal; c) repetibilidade do ensaio d) capacidade de exportação dos dados do ensaio.

Contudo, para avaliar estas funcionalidades, outros fatores deveriam ser cumpridos durante o processo de ensaio para atingir este fim como: posicionamento correto do corpo de prova na zona de compressão, medição da altura do corpo de prova, coleta de dados do processo com salvamento no banco de dados e descarte do corpo de prova.

Para avaliar a MDTEC na sua versão final, foram executados 20 ensaios consecutivos operados remotamente a partir de um notebook conectado à internet no sistema de gerenciamento do laboratório. Em cada ensaio a MDTEC posicionou um corpo de prova na região de compressão, fez 3 medições da altura, realizou-se manualmente a medição com um instrumento de medição (paquímetro) posicionou-se novamente o corpo de prova manualmente na área de compressão e realizou a compressão e coleta de dados e por fim descartou o corpo de prova através do mecanismo posicionador.

Em relação a funcionalidade, a MDTEC conseguiu realizar 100% dos ensaios operados remotamente. No fator medição dos corpos de prova, foram realizadas 3 medições consecutivas antes de cada ensaio e o desvio padrão entre as leituras que o sistema obteve foi mínima de 0,006 e máxima de 0,29 mm. Comparando-se a altura medida pelo sistema da MDTEC com a altura medida por micrômetro, demonstrou-se uma diferença máxima de 0,8 mm para mais e 0,75 mm para menos, conforme calculado na Tabela 10. Para avaliar a repetibilidade dos resultados, foram construídas as curvas de escoamento com dados de cada ensaio. As curvas de escoamento foram traçadas em gráficos conforme ilustrado na Figura 49. Visualmente, e considerando o tamanho reduzido dos corpos de prova e eventuais erros de medição, verifica-se que para efeitos didáticos, as curvas apresentam boa repetibilidade, o que permite concluir que a MDTEC pode ser utilizada como instrumento real e prático de demonstração de um ensaio de compressão. Esta atuação mecânica foi um fator principal para considerar que o mecanismo básico da MDTEC poderia ser aplicado na prática com estudantes.

Tabela 10 - Resultados das medições da altura das amostras

Ensaio	a0 Leitura Instrumento	a1	a2	a3	Média	Diferença leitura instrumento e média	Desvio padrão
1	6,93	7,00	6,96	6,98	6,98	-0,72%	0,020
2	6,79	6,80	6,75	6,75	6,77	0,34%	0,029
3	6,89	6,91	6,89	6,88	6,89	-0,05%	0,015
4	7,04	7,10	7,09	7,10	7,10	-0,80%	0,006
5	6,82	6,80	6,80	6,80	6,80	0,29%	0,000
6	6,87	6,88	6,87	6,87	6,87	-0,05%	0,006
7	6,9	6,88	6,92	6,89	6,90	0,05%	0,021
8	7,08	7,09	7,08	7,07	7,08	0,00%	0,010
9	7	7,00	6,99	6,99	6,99	0,10%	0,006
10	6,66	6,61	6,61	6,61	6,61	0,75%	0,000
11	6,85	6,85	6,83	6,81	6,83	0,29%	0,020
12	6,94	6,92	6,91	6,91	6,91	0,38%	0,006
13	7,06	7,05	7,04	7,03	7,04	0,28%	0,010
14	6,84	6,79	6,78	6,78	6,78	0,83%	0,006
15	6,8	6,80	6,79	6,79	6,79	0,10%	0,006
16	6,79	6,76	6,75	6,74	6,75	0,59%	0,010
17	6,98	6,99	6,99	6,97	6,98	-0,05%	0,012
18	6,82	6,85	6,81	6,80	6,82	0,00%	0,026
19	6,96	6,95	6,93	6,93	6,94	0,34%	0,012
20	6,91	6,88	6,89	6,91	6,89	0,24%	0,015

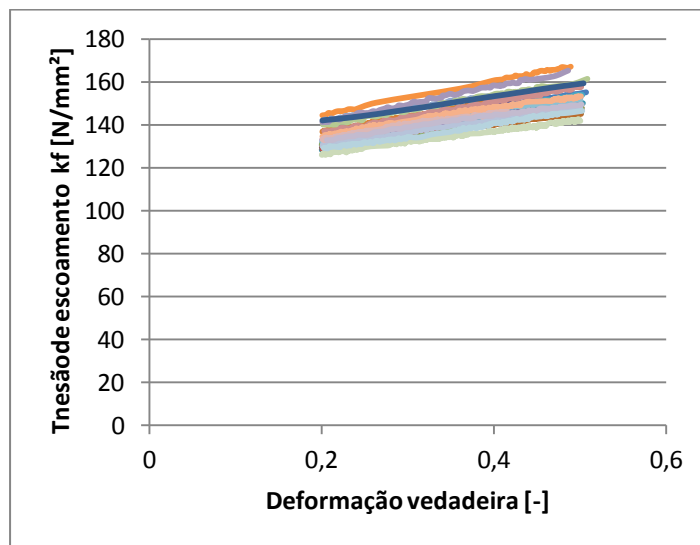


Figura 49 - Resultado dos 25 ensaios realizados na MDTEC.

Tabela 11 - Coeficientes "C" e "n" dos ensaios com a MDTEC

Ensaio	C	n
1	160,66	0,1393
2	161,12	0,1443
3	161,64	0,1391
4	158,27	0,1282
5	157,55	0,1254
6	158,45	0,1174
7	162,68	0,1434
8	161,43	0,1379
9	172,97	0,1652
10	168,65	0,1725
11	174,82	0,158
12	173,36	0,1783
13	163,49	0,153
14	170,89	0,1696
15	169,81	0,1654
16	173,52	0,1771
17	187,74	0,1659
18	171,01	0,1193
19	177,12	0,1525
20	184,71	0,1715
Média	168,48	0,1511

Além disso, adicionalmente à construção das curvas de escoamento, foram extraídos os coeficientes "C" e "n" em cada ensaio baseados na função $k_f = C \cdot \varphi^n$ que se

extraí das curvas de escoamento. Os resultados foram tabelados e as médias foram calculadas conforme mostrado na Tabela 11. O valor médio para o coeficiente C foi de 168,48 N/mm² e para o coeficiente de encruamento "n" foi de 0,1511. Estes resultados comparados aos resultados encontrados nos ensaios feitos com máquina de ensaio tradicional, que ficou em torno de 174,38 para coeficiente C e 0,159 para coeficiente "n" conforme ilustrado na Tabela 12, demonstram certa similaridade entre eles. O que se pode concluir é que através destes resultados, pode-se qualificar a MDTEC para ser usada como uma máquina didática.

Tabela 12 - Coeficientes "C" e "n" extraídas dos ensaios feitos em Máquina de ensaio tradicional

Ensaio	"C"	"n"
CP1	178,649	0,180
CP2	177,011	0,161
CP3	179,473	0,176
CP4	163,682	0,146
CP5	171,791	0,156
CP6	167,109	0,148
CP7	169,434	0,153
CP8	177,828	0,161
Média	174,381	0,159

4.2 Da Avaliação de Uso do LABCONM pelos Estudantes

Para avaliar o Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM) e colocá-lo em teste prático, os professores da disciplina de Conformação Mecânica, da Engenharia de Materiais, Metalúrgica e Minas da UFRGS, solicitaram aos estudantes da turma A, como atividade complementar, a realização da Atividade de Aprendizagem Experimental 1 do Laboratório Online de Conformação Mecânica. Os estudantes da turma B não entraram em contato com o Laboratório. Este procedimento visou auxiliar na comparação entre as duas turmas e avaliar a influência do uso do laboratório na aprendizagem dos estudantes que usaram o Laboratório. Para aplicação com estudantes da turma A, o LABCONM ficou liberado no período de 25 de maio à 22 de junho de 2016, totalizando 4 semanas.

Ao total, estavam frequentando na turma A, 25 estudantes. Todos foram convidados, mas, conforme a Tabela 13, somente 22 estudantes se cadastraram no sistema, e destes, somente 21 participaram de alguma das tarefas da Atividade de Aprendizagem Experimental (AAE1). Em resumo, 18 estudantes fizeram todas as atividades solicitadas, resultando de qualquer forma, numa amostra suficiente de estudantes para este estudo.

Tabela 13 - Relatório de participação dos estudantes

Identificação do estudante	Realizou ensaio?	"AULAS 1,2,3,4,5"	Questionários 1 e 2	Envio Arquivos	Avaliação 1	Avaliação 2
Estudante 1	Ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 2	ok	ok	ok	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ
Estudante 3	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 4	ok	ok	ok	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ
Estudante 5	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 6	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 7	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 8	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 9	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 10	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 11	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 12	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 13	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 14	ok	ok	ok	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ
Estudante 15	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 16	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 17	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 18	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 19	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 20	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 21	ok	ok	ok	ok	ok	ok
Estudante 22	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ	NÃO FEZ

Durante este período de liberação do sistema, os estudantes realizaram as aulas 1, 2, 3, 4 e 5 e preencheram os questionários e avaliações solicitadas. Além disso, concomitantemente, através do sistema de agendamento, eles marcavam seus horários para execução dos ensaios de compressão na MDTEC. Como o Laboratório é disponível 24 horas, os estudantes marcaram seus ensaios para os mais diversos horários e dias da semana, conforme ilustrado no histórico do calendário de agendamento do Laboratório na Figura 50.

		Junho 2016							Mês	Semana	Dia
		Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb	Dom			
<	>	29	30	31	1	2	3	4			
			2p Estudante 2		9p Estudante 1	9p Estudante 6					
5	6	7	8	9	10	11					
	8p Estudante 10	1p Estudante 5	12:30a Estudante 7 11:30a Estudante 9 9:30a Estudante 13	9p Estudante 11	10p Estudante 17	11:20a Estudante 13 8:30a Estudante 16					
12	13	14	15	16	17	18					
		3:30p Estudante 7	4:30p Estudante 11		2p Estudante 11 1p Estudante 14 11:30a Estudante 7	5p Estudante 13 4p Estudante 12 1p Estudante 4					
19	20	21	22	23	24	25					
	8p Estudante 16 2p Estudante 17 1p Estudante 8	12p Estudante 15 1p Estudante 3 11a Estudante 4 10a Estudante 13	8p Estudante 9 5p Estudante 2 3p Estudante 1	14p Estudante 19							

Figura 50 - Histórico de agendamento dos ensaios

Em cada agendamento, o estudante teve até 15 minutos para realizar seus ensaios, e poderiam fazer até dois ensaios por vez. Ao total, os 21 estudantes executaram 33 ensaios válidos. Além da flexibilidade de horário, os estudantes puderam acessar o laboratório de diversos locais e diferentes tipos de dispositivos de acesso. A Tabela 14 ilustra os principais locais de acesso dos estudantes e Tabela 15 exhibe os principais meios de acesso ao LABCONM.

O fator importante dessas tabelas é demonstrar que, além da flexibilidade nos horários de acesso, como já citado, o laboratório facilita que o estudante acesse-o do trabalho, da Universidade, de casa ou de qualquer lugar e, de qualquer dispositivo com acesso à internet.

Tabela 14 - Local de acesso ao Laboratório Online de Conformação Mecânica

Local de acesso	Total
Da Universidade	1
De Casa	8
Do trabalho	0
Lugar externo	0
Casa e Universidade	1
Outro	0
Total de estudantes que responderam	10

Tabela 15 - Meios de acesso ao Laboratório Online de Conformação Mecânica

Meio de acesso	Total
Computador pessoal	8
SmartPhone	0
Computador da empresa	0
Computador da Universidade	1
Tablet	0
Computador, Smartphone, Computador da empresa, Com. Universidade e Tablet	1
Total de estudantes responderam	10

Com esta flexibilidade nos meios de acesso ao LABCONM, o estudante pode começar a atividade em um local e terminar em outro, ou iniciar em um dispositivo e finalizar com outro. Esta é uma das vantagens conhecidas de Laboratório Remotos, porém agora, através do LABCONM, foi possível realizar, pela primeira vez, um ensaio de compressão teleoperado com fins didáticos através da internet, tanto via computadores, quanto via celulares e de acordo com a comodidade de horário e local de cada estudante. A única restrição é claro, está ligada ao uso simultâneo da MDTEC. Entretanto, nesta aplicação com estudantes, observou-se que, devido à flexibilidade de horários e tarefas complementares, esta característica monousuário que a MDTEC possui não foi algo considerado complicador do processo de utilização do laboratório. Desta forma, fica evidenciado que esta situação não restringiu e tão pouco inviabilizou o seu uso, sendo facilmente contornada através do agendamento.

Ao total, 21 estudantes responderam ao questionário do Apêndice E, o qual buscou fazer uma comparação do LABCONM com a aula de laboratório tradicional. Para obter esta comparação com melhor precisão, o questionário foi estruturado com a escala Likert adaptada com valores de -2 à +2. Esta adaptação é importante visualmente, pois deixa claro que 0 (zero) indica a resposta "igual à" e os valores positivos e negativos

expressam a ideia de "melhor que" e "pior que" respectivamente. Entendeu-se portanto, que caso fosse usada a escala Likert com valores apenas positivos (1 à 5), talvez pudesse confundir visualmente o estudante com a ideia de quantificar e não de comparar. A Figura 51 ilustra um gráfico com um agrupamento das respostas dos estudantes baseado na frequência, conforme mostrado na tabela do Apêndice D.

O fator mais relevante do gráfico da Figura 51 é que em todos os critérios, as respostas "melhor" (em azul), "um pouco melhor" (em vermelho) e igual (em verde), apresentaram maior frequência do que para as respostas "um pouco menor" (em lilás) e "Menor" (em azul claro).

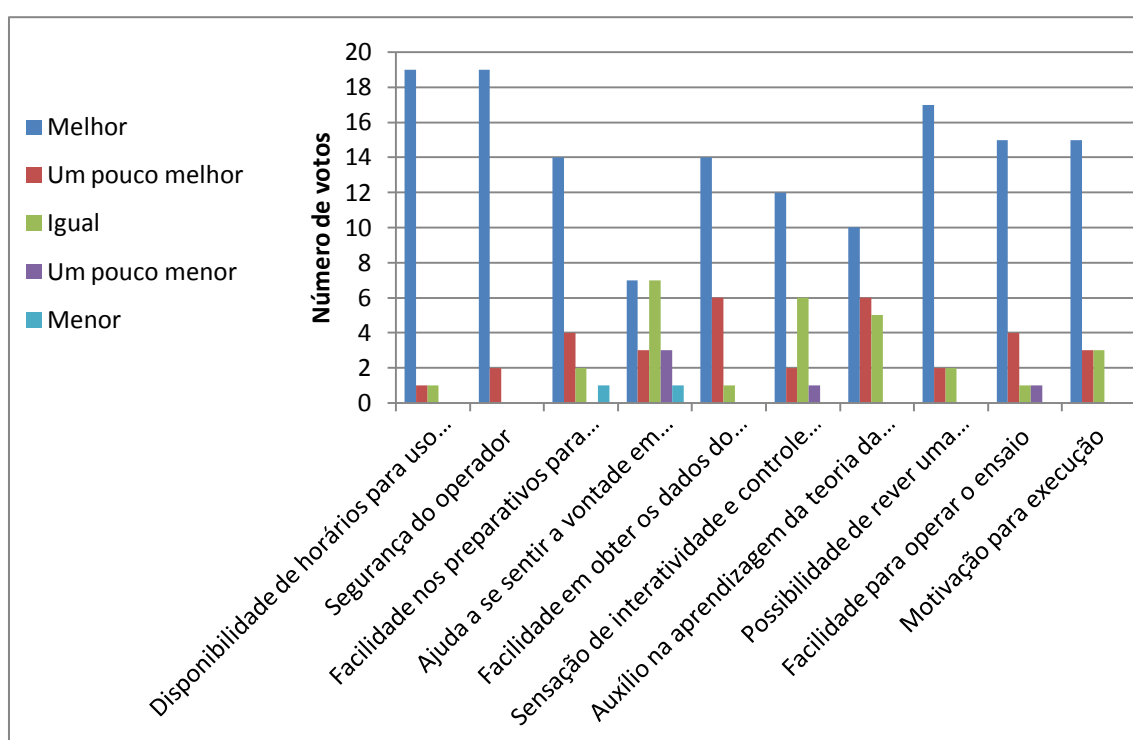


Figura 51 - Gráfico do questionário comparativo Lab. Tradicional x LABCONM (escala de frequência)

Para uma análise mais precisa das respostas do questionário comparativo, foi traçado o gráfico da Figura 52 através da tabulação do Apêndice G, o qual apresenta uma pontuação média para cada um dos itens do questionário. A ideia deste gráfico é facilitar a classificação e comparação entre os itens avaliados tendo como referência a média da pontuação obtida na classificação dos estudantes. Considerando que, para ser bem avaliado, o laboratório deveria receber uma pontuação média mínima de 0 zero e a máxima de 2, pelo gráfico, concluiu-se que todos os critérios foram bem avaliados, pois as médias oscilaram entre 0,57 e 1,9. Estes resultados, indicam que o LABCONM apresenta de modo

geral, características melhores que a aula tradicional de laboratório, pois em questões como disponibilidade de horário, segurança do operador (estudante), ou possibilidade de rever uma explicação são os destaques desta comparação.

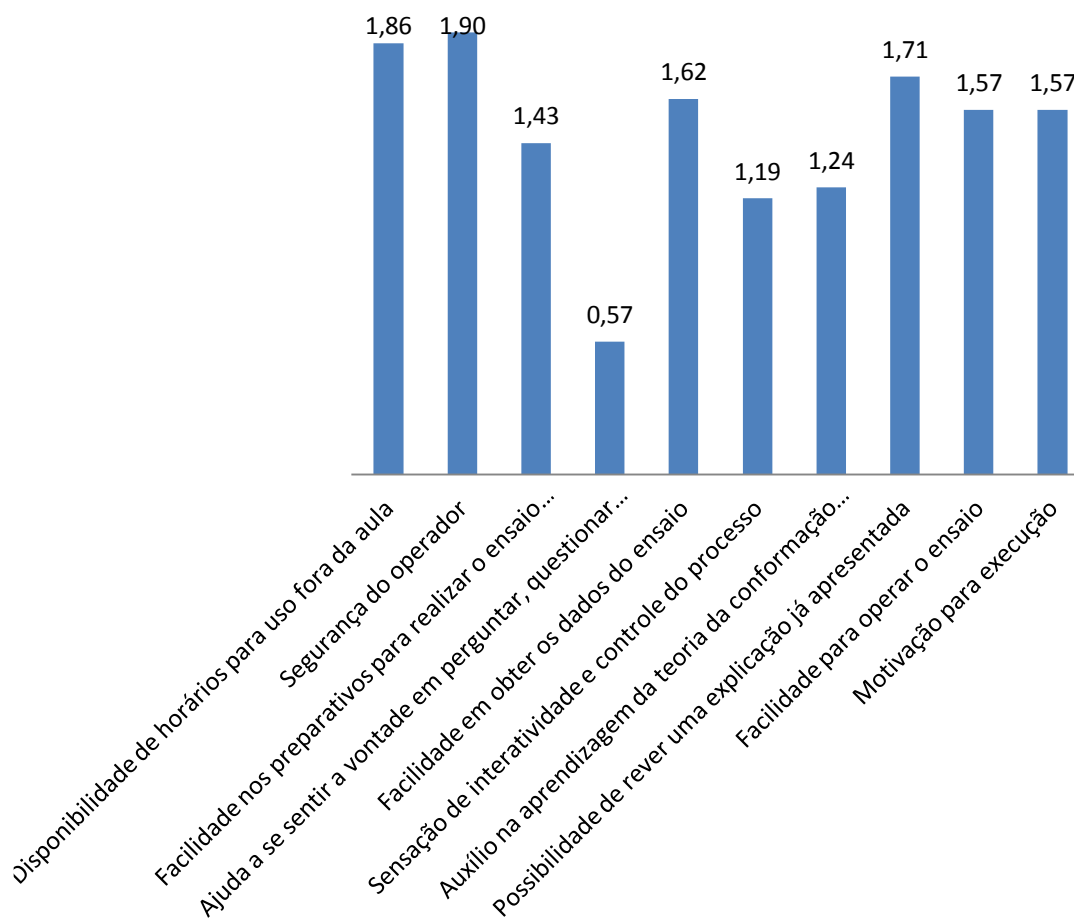


Figura 52 - Média do questionário comparativo por pontuação (Escala diferencial -2 a 2)

Um critério importante de ser destacado na Figura 52 é a pontuação das respostas da questão sobre "Auxílio na aprendizagem da teoria da Conformação Mecânica". Este critério é um dos mais importantes nas análises desta tese, pois é fundamental para demonstrar que, mesmo que possa ser considerada uma opinião prematura ou subjetiva, é certo dizer que no sentimento dos estudantes, o Laboratório auxiliou ou fez "sentir" uma melhora na aprendizagem. Além de totalizar uma média de 1,24, que é uma avaliação muito satisfatória, este item não recebeu nenhuma avaliação "negativa" do tipo "um pouco menor (-1)" ou "menor (-2)", fazendo entender que, todos os estudantes tiveram uma boa impressão da metodologia do laboratório quanto à aprendizagem.

Outra forma de avaliar o Laboratório LABCONM foi através de um questionário com perguntas objetivas (Avaliação 2), onde os estudantes deveriam dar respostas com

notas de 0 à 10 (zero à dez). Este questionário avaliou questões como: a) a satisfação em usar o Laboratório; b) facilidade de uso; c) o processo de realização do Ensaio com a MDTEC; d) entendimento das atividades; e, o mais importante; e) quanto as atividades auxiliaram à entender o conteúdo da conformação mecânica. As respostas foram tabeladas no Apêndice C e as médias de cada questão estão apresentadas em formato de gráfico na Figura 53.

A média entre todos os quesitos foi satisfatória, variando entre 8,8 e 9,33. O desvio padrão máximo atingido entre as resposta foi de 1,9 no quesito de (objetividade e entendimento das atividades), o qual, obteve uma média menor que as demais questões. Este ponto já era esperado de alguma forma, pois eram muitas informações e um ambiente completamente novo. A ideia foi que eles fizessem todo o processo de interpretação sozinhos e tirassem as dúvidas via e-mail, estimulando assim a troca de informações. Acredita-se que esta dificuldade não foi complicadora para os estudantes, visto que acerca deste assunto, nos questionários para envio de reclamações e sugestões (ver Tabela 18), não entraram neste mérito.

A questão mais importante de se destacar ainda em relação a Figura 53, foi a nota média de 9,07 alcançada pelo item relacionado ao "auxílio no entendimento da teoria e conceitos da Conformação Mecânica".

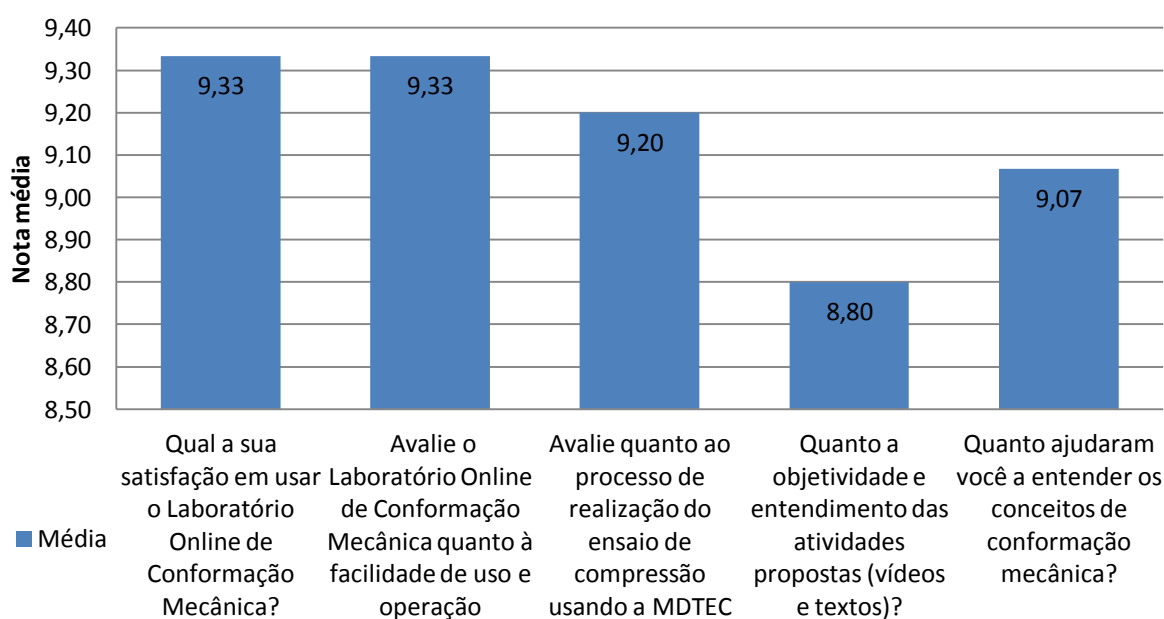


Figura 53 - Média das notas de avaliação do Laboratório Online de Conformação Mecânica

Esta nota corrobora mais uma vez com objetivo da tese em usar o Laboratório Online de Conformação Mecânica como um meio de desenvolver a teoria e conceitos da Conformação Mecânica.

Uma avaliação objetiva traz bons indicadores para uma análise, comparação e avaliação de determinados critérios de caráter geral. Entretanto, perguntas abertas, auxiliam a conhecer um pouco mais a percepção dos estudantes sobre aquilo que vivenciaram como experiência concreta e como se sentiram nesta situação nova de uso de um Laboratório Remoto.

Tabela 16 - Avaliação do Laboratório Respostas livres - Pontos negativos e sugestões

Estudante	Descrição	Tipo
Estudante 6.1	Nenhuma dificuldade muito grande foi encontrada. O que foi um pouco impreciso foi encontrar exatamente o Kf0 no excel, senti que havia uma pequena flutuação no valor anotado.	Ponto negativo
Estudante 6.2	Como sugestão, poderia ficar mais visível (com um ícone no menu: "Atividades Faltantes") para completar as atividades. No meu caso, achei que houvesse acabado e ainda havia tarefas a serem cumpridas.	Sugestão
Estudante 8	O vídeo tutorial da planilha é um pouco extenso .	Ponto negativo
Estudante 9	A única dificuldade ocorrida foi no início do ensaio em que mesmo o comando já ter sido feito no computador, não teve início o ensaio, foi preciso recarregar a página para o ensaio começar.	Ponto negativo
Estudante 7.1	Para o cálculo da média da altura da peça o sistema estava travando...[...].	Ponto negativo e Ponto positivo
Estudante 7.2	A câmera do ensaio podia ser melhorada.	Sugestão
Estudante 12	O vídeo pode ser resumido e talvez para o futuro inserir vídeos mais detalhados de tópicos específicos para aqueles que não entenderem a proposta por meio do vídeo principal.	Sugestão
Estudante 13	Não é possível medir mais de uma vez a altura do corpo de prova , os comandos não permitem e às vezes a medição da altura é medida erroneamente Quando isso aconteceu comigo, eu precisei descartar o corpo de prova e iniciar o processo novamente, porque não consegui medir novamente a altura do mesmo.	Sugestão
Estudante 19	Queria mais liberdade para variarmos parâmetros como altura final do ensaio e velocidade da prensa.	Sugestão

Entretanto, nas perguntas abertas de avaliação do laboratório não foram exigidas nenhuma obrigatoriedade de participação, era apenas um campo aberto para que o

estudante pudesse colocar sugestões, elogios ou reclamações de forma livre, conforme sua vontade. Baseando-se nestes comentários preenchidos espontaneamente pelos estudantes, foram criadas duas tabelas, uma com "pontos positivos" e outra com "pontos negativos e sugestões", que proporcionam discussões e reflexões importantes de serem discutidas nesta seção.

Na Tabela 16 estão os pontos classificados como negativos destacados a partir dos comentários dos estudantes. Tanto esta, quanto a tabela de pontos positivos são fundamentais para as discussões da tese. Entretanto, o conteúdo desta tabela tem um valor mais significativo, pois auxilia a prever melhorias para o Laboratório visto que, são opiniões de estudantes que se envolveram de forma real com o ambiente de aprendizagem e podem trazer, em alguma medida, pontos relevantes para ampliar ainda mais o seu alcance pedagógico. Em alguns casos é claro, são comentários que merecem apenas um breve esclarecimento e não representam um problema ou uma questão fundamental. Como exemplo está o comentário do estudante 6 (ver Tabela 16), o qual indicou não ter dificuldades no laboratório, entretanto, citou a dificuldade em encontrar a tensão de escoamento inicial (Kf_0) do metal dentro da curva formada pelos dados que ele coletou no ensaio. Para verificar esta situação, os dados que este estudantes citou estão demonstrado na Figura 54.

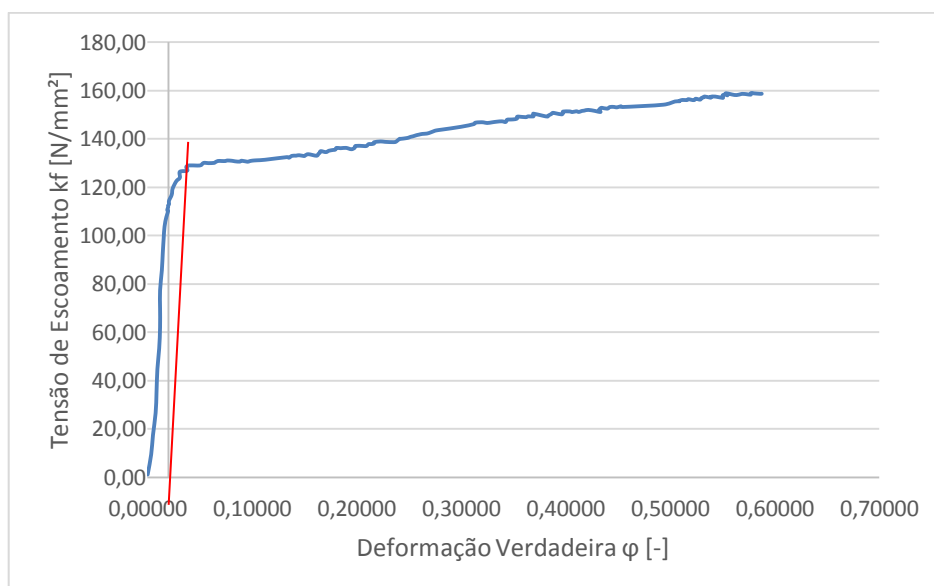


Figura 54 - Gráfico criado pelo estudante 6

Este problema ocorreu na verdade devido à uma falha esporádica com o gráfico deste estudante. O que se pode observar, é que realmente ocorreu uma flutuação rápida nos

dados do gráfico próximo da região onde seria a tensão inicial de escoamento (kf_0). Entretanto, esta variação, possível na prática devido à alguma heterogeneidade do material do corpo de prova, oscilações dos sensores ou até mesmo uma questão de lubrificação, não seria um problema crítico. Por serem os corpos de prova muito pequenos, fica muito complicado evitar estas eventualidades. Portanto, é uma questão, que dentro dos limites de qualidade da MDTEC, já foi explorada para ser melhorada ao máximo dentro das configurações atuais.

As sugestões mais relevantes na Tabela 16, foram levantadas pelos estudantes 13 e 19. No caso do estudantes 13, sua sugestão, inclusive, já foi realizada durante o período de utilização do laboratório pelos estudantes, que é a capacidade de medir a altura mais de uma vez. Por uma questão de programação, após a etapa de medição da altura o sistema estava pulando para a etapa de deformação e impedia que o estudante pudesse realizar novamente o processo de medição. Conforme comentado, após recebida essa sugestão do estudante 13, implementou-se a correção a tempo dos demais estudantes usarem o sistema com o ajuste necessário.

Em relação ao estudante 19, a sugestão é bem pertinente e fica como recomendação para uma próxima versão, ou um novo experimento remoto. Pois ela requisita liberar ajustes de parâmetros como tamanho e velocidade de deformação. Sem dúvida, estes parâmetros são interessantes, entretanto, alguns são mais complexos de serem implementados, visto que demandaria uma revisão do sistema de força ou inclusão de sistema de controle mais apurados para controlar a velocidade, por exemplo. Como o sistema é para deformação a frio, esta não é uma questão relevante. Entretanto, caso fossem feitos ensaios a quente, a velocidade da máquina seria fundamental. Quanto a questão do controle do tamanho da deformação, neste projeto, o Experimento ficou limitado à relação entre o sistema de pressão da Unidade Hidráulica, o tamanho do cilindro hidráulico e os atritos internos. Portanto, obter uma deformação maior (em altura) não seria possível, mas uma deformação menor estaria dentro das limitações possíveis da máquina e poderia até ser flexibilizado ao estudante.

De forma contrária, na Tabela 17 estão agrupados os pontos classificados como positivos em relação ao LABCONM. Nesta tabela destaca-se, o estudante 6, o qual classificou ser "muito bom experimento", caracterizando-o ainda como "muito legal" e finalizou afirmando que ajudou-lhe a "aprender melhor". Já o estudante 7 destacou que ficou "satisfeito" com uso do laboratório e julgou a página como sendo de "fácil utilização"

e "bem didática". Em seguida, o estudante 13 define o Laboratório como sendo uma "ótima iniciativa", que dá maior "aprendizado" da Conformação Mecânica. Na sequência, um dos comentários mais importantes foi do estudante 20, o qual demonstrou-se "mais seguro", quanto ao conhecimento, e destacou que esta condição ficou atrelada à "forma interativa" (prática) na qual ele obteve a "relação com a teoria".

Tabela 17 - Avaliação do Laboratório (livre) - Pontos Positivos

Estudante 6	Muito bom experimento. Achei muito legal e me ajudou a aprender melhor.	Ponto positivo
Estudante 7	O site e o uso de Laboratório Remoto me deixou satisfeito . É uma página de fácil utilização de bem didática .	Ponto Positivo
Estudante 13	É uma ótima iniciativa , assim há um maior aprendizado acerca da conformação mecânica . Em geral, foi uma experiência bem produtiva .	Ponto positivo
Estudante 15	Sugestão: virar rotina nas cadeiras!	Ponto positivo
Estudante 20	Ademais, me encontro mais seguro quanto ao meu conhecimento, pois entendi de uma forma interativa como obter relações características (Kf_0 e Kf) de um material para efeito de cálculo.	Ponto positivo

Estes 4 estudantes corroboraram e resumiram um pouco do que se esperava proporcionar com o uso do laboratório LABCONM, que era, além de potencializar, dar motivação, satisfação, interesse, facilidade e interatividade na aprendizagem da Conformação Mecânica, fazendo com que o estudante (re) construísse a teoria pela relação desta com o fenômeno experimental.

E de forma bem direta, o estudante 15 sugeriu dar continuidade na aplicação de Laboratórios Remotos como rotina nas demais disciplinas do curso. Pela opinião deste estudante, reforça-se que houve alguma aceitação neste método de aprendizado, servindo de incentivo para pensar em futuros projetos de laboratórios remotos na Engenharia.

4.2.1 Intervenções no Processo de uso do Laboratório com estudantes

Durante o período de uso do Laboratório pelos estudantes, algumas dúvidas e problemas foram enviados devido à falhas ou dificuldades encontradas na utilização do Laboratório LABCONM. As dúvidas foram prontamente atendidas e respondidas diretamente entre pesquisador e os estudantes via e-mail. A Tabela 18 demonstra um relatório destas situações relacionando com informações e detalhes sobre a solução

adotada. Esta tabela é importante para relatar os limites do sistema geral do Laboratório, tanto nas questões do sistema geral, quanto na questão do acesso à MDTEC. Verifica-se através desses problemas que algumas situações ainda podem vir a ocorrer de maneira esporádica, exigindo algum monitoramento da equipe de desenvolvimento em períodos de uso do Laboratório.

Tabela 18 - Relatório de problemas e dificuldades na utilização dos estudantes

Problema	Solução
O corpo de prova não era posicionado corretamente na região de compressão.	Na verdade houve um pequeno vazamento de óleo hidráulico e corpo de prova colava na ponta do posicionador quando este retornava para a posição recuada. A solução foi secar o óleo e resolver o vazamento.
Estudante não conseguia iniciar o ensaio. O botão "posicionar corpo de prova" não permitia acesso.	O sistema de agendamento não estava reconhecendo o usuário e por isso não liberava o acesso ao painel de controle. Este problema só ocorreu com este usuário. Para resolver, o estudante precisou criar um novo "usuário" no sistema e funcionou corretamente.
Corpo de prova não descia da mangueira de armazenamento.	Este problema foi resolvido colocando-se uma mangueira com diâmetro um pouco maior. Provavelmente, por aderência ou pela presença de algum resíduo de óleo hidráulico, alguns corpos de prova colavam nas paredes da mangueira.
Falhas na medição da altura dos corpos de prova.	Devido à interferências existentes na rede elétrica, é comum que sistemas de medição apresentem oscilações na tensão de saída. Como o sistema de medição foi programado para ter sensibilidade à oscilação da tensão da célula de carga para detecção do contato com o corpo de prova, em alguns momentos a medição dos corpos de prova ficava incorreta. Para diminuir este problema, o mecanismo foi ajustado para fazer a medição apenas quando a altura lida estava próxima da altura padrão dos corpos de prova. Assim, o registro da altura era feito apenas quando o atuador estava próximo do corpo de prova. Esta solução diminui bastante o problema. A oscilação foi impossível eliminar, talvez com uso de nobreak isso seja resolvido no futuro.
Envio prematuro das atividades da Avaliação 1	Uma das atividades que os estudantes precisavam fazer era a Avaliação 1, constituída de um formulário com perguntas e no rodapé continha uma aplicação para submeter 2 arquivos das atividades finais. Entretanto, devido programação do sistema, alguns estudantes submeteram o arquivo antes de responder as questões e assim ocorreu a finalização prematura da atividade. O problema ocorreu com 2 estudantes, apenas. O problema foi resolvido mudando a programação desta página.

Desta forma é fundamental citar que as principais dificuldades estão ligadas ao tamanho reduzido dos corpos de prova, principalmente por conta do peso extremamente pequeno (aproximadamente 1 grama), que faz com que ele tenha facilidade em se prender aos componentes da MDTEC, como o tubo de armazenamento e a haste do posicionador. Entretanto, ao mesmo tempo, o tamanho reduzido do corpo de prova é uma das vantagens econômicas do projeto, pois facilitou obter um processo de fabricação da MDTEC e próprio processo de produção dos corpos de prova com maior facilidade e baixo custo.

Como é um produto em desenvolvimento, pode-se ter novas ocorrências que necessitem intervenção de um especialista tanto em software (aplicativos do site), quanto em hardware (equipamentos e placas eletrônicas). Como em qualquer produto em desenvolvimento, as aplicações surgem para proporcionar momentos de avaliação, como nesta aplicação com estudantes, onde muitas questões foram corrigidas.

4.3 Das Avaliações Escritas

Como forma de verificar a influência do Laboratório na Aprendizagem dos estudantes, foram analisados os resultados da questão de cálculo sobre extrusão da 2ª prova aplicada pelos professores da disciplina de Conformação Mecânica da Engenharia de Materiais, Metalurgia e Minas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em duas turmas. Nesta disciplina, tanto na 1ª quanto na 2ª avaliação, os professores dividem as questões em 2 tipos: "dissertativas" e de "cálculo". Na turma "Com Acesso ao LABCONM" frequentavam 25 estudantes e, na turma "sem acesso ao LABCONM", frequentavam 52 estudantes. Na turma com acesso ao LABCONM, apenas 18 estudantes fizeram por completo as atividades do Laboratório. Portanto, somente estes foram considerados nas análises.

O grupo sem acesso ao LABCONM, são estudantes da Engenharia Mecânica (que normalmente passam por mais disciplinas de cálculo) e o grupo com acesso são os estudantes da Engenharia de Materiais, Metalurgia e Minas, ambas da UFRGS.

Para realizar a análise e comparação entre as turmas, primeiramente foram definidos que as respostas seriam classificadas em 3 tipos, de acordo com a porcentagem de acerto da questão, sendo elas: insatisfatória, satisfatória e excelente. Baseado neste critério, os estudantes foram agrupados em 3 subgrupos para mapeamento da faixa de notas das turmas, extração de médias e desvio padrão, resultando na construção da Tabela 19. Por meio desta tabela, verifica-se que a turma que acessou o LABCONM obteve uma

média de 1,42 (peso 2) em suas notas, sendo 7% superior em relação à média dos estudantes sem acesso ao LABCONM. É importante explicar que a turma que não acessou o LABCONM é formada por um grupo de estudantes com melhor desempenho que a turma que acessou o LABCONM. Esta conclusão foi obtida através da análise da questão de cálculo da primeira prova da disciplina, no início do semestre, onde a média da turma que não acessou o Laboratório foi 20% superior à da outra turma.

Pela Tabela 19 conclui-se ainda que no grupo que fez acesso ao LABCONM, 100% dos estudantes responderam minimamente a questão (Considerando satisfatórios e excelentes). Por outro lado, no grupo que não fez acesso ao LABCONM, 83% dos estudantes conseguiram responder de forma satisfatória a questão. Isto indica que, 17% dos estudantes desta turma ficaram com algum deficiência na resolução deste tipo de problema. Nota-se ao avaliar a taxa de estudantes na faixa "excelente", que o grupo sem acesso ao LABCONM possui estudantes com mais facilidade de aprendizagem ao totalizar 62% da turma. Como sabe-se, a turma é formada por estudantes de Engenharia Mecânica, cujo curso tem uma quantidade maior de disciplinas de cálculo e este pode ser um fator facilitador. Portanto, numa análise geral, poder-se-ia afirmar que a turma com acesso ao Laboratório não teve uma grande migração de estudantes para o grupo com resultados "excelentes".

Tabela 19 - Resultado das respostas da questão sobre cálculo de extrusão

Turmas	Representação	Notas			Total	Média	Desvio padrão
		Insatisfatório (abaixo de 50%)	Satisfatório (Entre 50% e 75%)	Excelente (Entre 75% e 100%)			
Sem acesso ao LABCONM	Quantidade	9	11	32	52	1,32	0,49
	Porcentagem	17%	21%	62%			
Com acesso ao LABCONM	Quantidade	0	10	8	18	1,42	0,49
	Porcentagem	0%	56%	44%			

Entretanto, analisando-se os resultados da última avaliação, pelo gráfico da Figura 56, e em comparação com a primeira avaliação (Figura 55), estima-se que a utilização do LABCONM fez com que os estudantes que antes estavam na faixa insatisfatória totalizando 17%, pudessem ampliar um pouco mais suas capacidades.

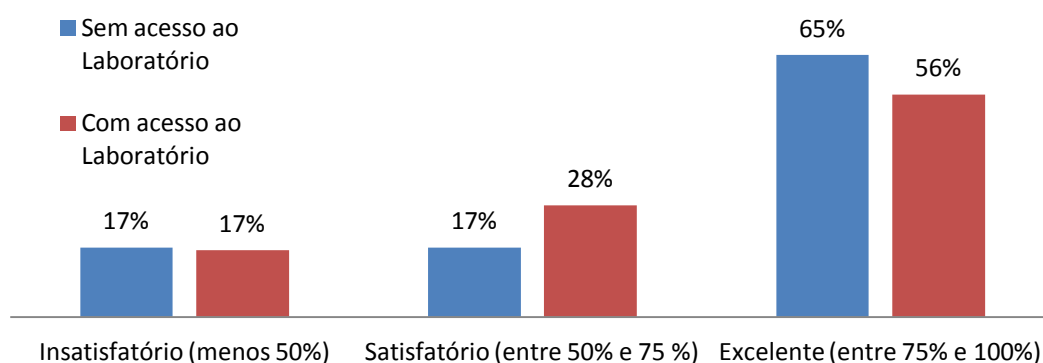


Figura 55 - Resultados do exercícios de cálculo - 1ª avaliação do semestre

A comprovação disso, é que nenhum dos estudantes que fez o acesso ao Laboratório Online de Conformação Mecânica obteve um resultado insatisfatório nas respostas da questão de cálculo sobre extrusão na 2ª avaliação.

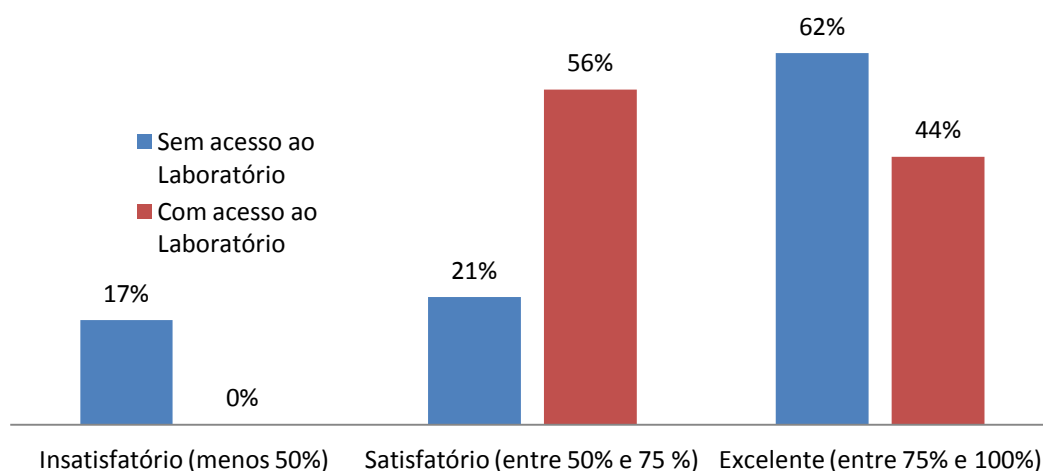


Figura 56 - Resultados do exercício de cálculo - 2ª avaliação do semestre

Além disso, para se ter uma ideia de como o Laboratório influenciou na aprendizagem dos estudantes, verifica-se que no resultado da questão de cálculo sobre "estampagem", que não foi trabalhada dentro do Laboratório Online de Conformação Mecânica, houve uma quantidade maior de respostas "insatisfatórias", o que totalizou 78%, conforme ilustrado na Figura 57.

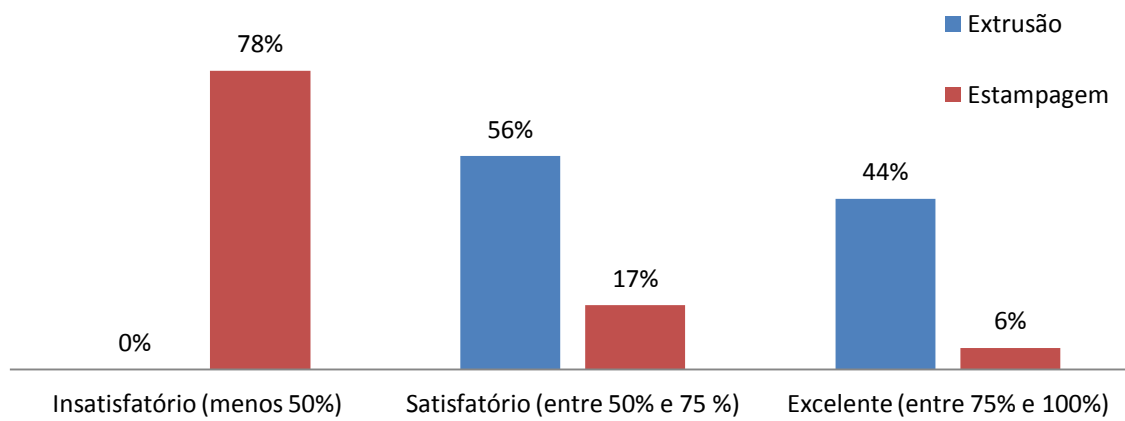


Figura 57 - Comparação entre as respostas das questões de "extrusão" e "estampagem" no grupo que fez uso ao LABCONM

5 CONCLUSÕES

Em busca de potencializar o aprendizado de estudantes, nesta tese mostrou-se o desenvolvimento do Laboratório Online de Conformação Mecânica (LABCONM). Sem dúvida, uma inovação para o estado da arte da experimentação remota e para o ensino da Conformação Mecânica. Basicamente foram 3 ações principais que tornaram esta inovação possível. A construção de uma estrutura eletromecânica de compressão, posicionamento e descarte de corpos de prova de baixo custo, chamada de Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC); o desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem (SGA WEBSITE) e, a aplicação do minicomputador Raspberry Pi na comunicação entre a MDTEC, a internet e o SGA.

Apesar dos grandes desafios que haviam para o desenvolvimento de uma máquina de ensaio de compressão teleoperada em tamanho reduzido, foi possível criá-la com condições básicas para fornecer dados para a construção de curvas de escoamento de um metal. O desenvolvimento do SGA foi parte integrante de um TCC de Engenharia de Computação, o qual realizou a implementação a partir do desenvolvimento do LABCONM gerando a integração entre a MDTEC, o Raspberry e a internet, de forma personalizada.

Além disso, o fato de ser uma máquina acessível remotamente, torna o laboratório um espaço compartilhado, que pode ser oferecido por Universidades como se fosse um laboratório próprio. Portanto, a Universidade não precisaria adquirir o laboratório como um todo, deve apenas contratar a liberação de uso e acesso ao Sistema de Gerenciamento de Aprendizagem do Laboratório e a manutenção fica por parte da Universidade desenvolvedora/mantenedora. Desta forma, o Laboratório Online de Conformação Mecânica é um sistema que possibilita economia de recursos tanto de espaço físico e pessoal, com horário disponível para acompanhamento e manutenção do equipamento.

O desenvolvimento do Laboratório Online de Conformação Mecânica surge como um suporte didático, tanto para que os estudantes possam realizar suas práticas em horários, locais e meios de acesso personalizados, quanto para que o professor possa demonstrar um ensaio de compressão para uma turma em uma sala, como no caso de treinamentos, cursos ou demonstrações em sala de aula, etc. Neste caso, uma das maiores vantagens é poder oportunizar contato individualizado ao estudante no processo de ensaio. Entretanto, estas são características pequenas, pois a principal vantagem do Laboratório Online de Conformação Mecânica, na verdade, é ser usado como meio e não como um fim.

Isto é, consegue possibilitar ao estudante um ambiente (ser um meio) de estudo em que o estudante tenha como relacionar a teoria a partir da interação com o fenômeno prático, em busca de respostas para um problema.

Portanto, apesar do fator fundamental ser a realização de ensaios e experimentações, O LABCONM não foi criado para ser usado de forma mecânica ou meramente demonstrativa, o que pode beneficiar somente um perfil de estudantes. Como o Laboratório foi baseado na teoria construtivista, parte-se da premissa de que o processo de ensino aprendizagem deve ser consciente e significativo, e para isso é necessário usar o recurso com atividades que possam guiar o estudante para seguir neste raciocínio de aprendizagem. Acredita-se que desta forma esta metodologia seja mais abrangente, e as diferenças nos estilos de aprendizagem de cada estudante fiquem equalizadas, pois assim cada um, à seu tempo, consegue criar um raciocínio mínimo do modelo mental em estudo, superando algumas dificuldades individuais impostas por algumas formas de ensino.

Além disso, no futuro as indústrias requisitarão pessoas com uma visão curiosa, interativa e que se disponha sempre à resolver problemas e encontrar soluções para às questões multidisciplinares que serão apresentadas cotidianamente devido as transformações advindas da 4ª Revolução Industrial. O que percebe é que quanto mais reais e interativos forem os desafios mais motivadores eles serão, e mais contribuirão para o desenvolvimento das capacidades "de alto nível" dos estudantes.

Portanto, é fundamental dizer que, a aplicação do LABCONM com estudantes da área da Conformação Mecânica, representou a validação destas ideias de potencializarão da aprendizagem, pois na opinião dos estudantes, esta experiência teve influência significativa na aprendizagem deles. Além disso, através do resultado das provas escritas aplicadas entre dois grupos de estudantes (um com acesso e outro sem acesso ao LABCONM), comprovou-se a influência desta aplicação nas notas dos estudantes.

6 OUTROS TRABALHOS REALIZADOS

Ao longo do desenvolvimento desta tese, alguns trabalhos serviram como base ou como sendo um produto desta pesquisa. Um exemplo disso ocorreu pela participação na chamada pública do edital Forma-Engenharia do CNPq-Vale em 2012. Com este edital foi possível selecionar dois bolsistas de nível técnico e um de nível superior para auxílio no desenvolvimento do projeto. Além disso, neste edital foi obtido R\$30.000,00 para fabricação da " Prensa Didática Monitorada e Controlada Online Via Dispositivos Móveis para Determinação de Propriedades Mecânicas Úteis ao Processo de Conformação Mecânica". Este projeto foi importante, pois através dele foi obtida a unidade hidráulica utilizada também no projeto da "Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão (MDTEC), bem como os conhecimentos iniciais sobre Raspberry PI necessário à esta tese. Além disso, através deste projeto do edital Forma-Engenharia, várias produções acadêmicas como artigos em eventos e revistas, a produção de um capítulo de livro e edição de um livro completo (ver resumo das publicações no Apêndice H) . O trabalho mais importante desta fase foi a apresentação em tempo real da Prensa Didática durante a seção de "demonstration" do evento Exp'at 2013 em Portugal (ver detalhes das publicações no Apêndice H).

Na fase de desenvolvimento propriamente dito da tese, novas publicações científicas da área da experimentação remota, como participação em eventos, artigos completos em revistas foram geradas a partir deste processo de doutoramento (ver lista completa na tabela do Apêndice H). Além disso, em conjunto com o desenvolvimento desta tese, um estudante de Engenharia da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), o qual desenvolveu o site do LABCONM, desenvolveu um TCC intitulado "Arquitetura Flexível para Criação e Gerenciamento de Laboratórios Remotos de Experimentos Reais". Portanto, este é mais um produto resultante desta longa jornada de estudo criada a partir do desenvolvimento desta tese.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento da tese algumas possibilidades foram pensadas para poder melhorar em sentido econômico, didático ou técnico o funcionamento ou produção do Laboratório Online de Conformação Mecânica.

Em relação à MDTEC, na questão do mecanismo de força, ao invés de ser um atuador movido por sistema hidráulico, poderia substituir por um atuador de fuso movido por motor elétrico de passo. Com esta configuração, poderia ser pensado também em realizar ensaios de compressão dinâmicos com velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) constante.

Em caso positivo de se obter a velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) constante na "máquina didática teleoperada de ensaio de compressão" - (MDTEC), uma outra sugestão seria incluir um sistema de aquecimento por indução através de resistência elétrica para aquecer os corpos de prova, o que permitiria realizar ensaios de compressão a quente também. Esta característica seria importante pois permitiria ao estudante ver na prática a influência da temperatura, e também da velocidade tanto a frio e quanto a quente, na curva de escoamento. Deste modo, com estas funções haveriam 4 tipos de ensaios conforme as seguintes combinações: a) Velocidade de deformação baixa a frio; b) Velocidade de deformação baixa a quente; c) Velocidade de deformação alta e a frio e; d) Velocidade de deformação alta e a quente. Para dar mais opções de análise, seria possível também, incluir um segundo tipo de material para os ensaios. Esta ideia influenciaria em alterações eletromecânicas na estrutura da MDTEC no que diz respeito ao alimentador/posicionador de corpos de prova, mas traria uma nova possibilidade de comparação e análise entre materiais diferentes. Com este recurso implementado, mais o controle de temperatura e de velocidade de deformação ($\dot{\varphi}$) dariam ainda mais profundidade nas etapas de comparação das curvas em diferentes situações de deformação aumentando ainda mais o potencial didático-pedagógico do LABCONM.

Uma outra sugestão para o Laboratório seria incluir experimentos de outros tipos de ensaios, como o de atrito e ou até mesmo o ensaio de tração. Estes ensaios são mais complexos que o ensaio de compressão, mas são experimentos que poderiam complementar as atividades de aprendizagem experimental. Mesmo sendo experimentos complexos de serem desenvolvidos, contribuiriam para obter informações preliminares de obtenção de conhecimentos básicos de como obter a primeira versão dessas máquinas em formato didático.

Além de experimentos de ensaios mecânicos, poderiam ser pensados também na reprodução de processos de fabricação por conformação, como forjamento ou extrusão. Através desses processos, os estudantes poderiam ver na prática a fabricação de uma peça, coletando dados reais para comparação com simulações ou resultados de cálculos que eles fariam de forma apenas teórica.

Por fim, na questão da metodologia das atividades de aprendizagem experimental do Laboratório, poderiam ser aprofundados estudos na metodologia de Gowin e adoção do "Diagrama V de Gowin", uma ferramenta didático-pedagógica que estrutura melhor as 5 questões de Gowin em um formato de "V". É uma ferramenta já utilizada nas ciências físicas e que poderia ser adotada no Laboratório remoto para estruturar o processo de aprendizagem dos estudantes. A proposta seria criar um aplicativo para que o estudante pudesse preencher os campos com as informações relacionada ao problema da atividade de aprendizagem experimental, assim como foi feito com as 5 questões de Gowin na primeira versão de tese.

REFERÊNCIAS

- A. CARPEÑO, S. L. J. A. **Using Remote Laboratory eLab3D for a Broader Practical Skills Training in Electronics**. 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Porto, Portugal: [s.n.]. 2014. p. 98-99.
- ALI, M. et al. **Technical Development and Socioeconomic Implications of the Raspberry Pi as a Learning Tool in Developing Countries**. 5th Computer Science and Electronic Engineering Conference (CEEC). [S.l.]: [s.n.]. 2013. p. 103-108.
- ANDÚJAR, J. M.; MEJÍAS, A.; MÁRQUEZ, M. A. Augmented Reality for the Improvement of Remote Laboratories: An Augmented Remote Laboratory. **IEEE Transactions On Education**, v. 54, n. 3, p. 492-500, Agosto 2011.
- ASTM. **Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature**. ASTM. [S.l.]. 1989.
- AYODELE, K. P.; INYANG, I. A.; KEHINDE, L. O. An iLab for Teaching Advanced Logic Concepts With Hardware Descriptive Languages. **IEEE Transactions On Education**, v. 58, n. 4, p. 262 - 268, 2015.
- BARROS, C. et al. **Remote Physiological Signals Acquisition: Didactic experimnets**. 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Porto-Portugal: [s.n.]. 2014.
- BESADA-PORTAS, E. et al. Remote Control laboratory Using EJS Applets and TwinCAT Programmable Logic Controllers. **IEEE Transactions on Education**, v. 56, n. 2, p. 156-164, Maio 2013.
- BOFF, U. et al. Ensaio de compressão é adequado para obter curvas de escoamento em chapas. **Corte e Conformação de Metais**, p. 76-87, Janeiro 2012.
- BRESCIANI, E. F. **Conformação plástica dos metais**. 1. ed. São Paulo: EPUSP, 2011.
- CALLAGHAN, M. J. et al. Using Game-based Learning in Virtual Worlds to teach Electronic and Electrical engineering. **IEEE transactions Industrial Informatics**, v. 9, n. 1, p. 575-584, Fevereiro 2013.
- CERVERA, E. et al. The Robot Programming Network. **Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications**, v. 81, n. 1, p. 77-95, April 2015.
- CHAOS, D. et al. Virtual and Remote Robotic Laboratory Using EJS, MATLAB, and LabVIEW. **Sensors**, v. 13, p. 2595-2612, 2013.
- CHIOCCARIELLO, A.; CEREGINI, A.; TAVELLA, M. **UniSchools toolkit: tools and methodologies to support the adoption of universities' remote and virtual labs in schools**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV 2012) 9th International Conference on. Bilbao: REV. Julho 2012. p. 4-6.
- CIPRIANO, G. L. **Determinação do Coeficiente de Encruamento de Metais através da Morfologia das impressões de Dureza na Escala Macroscópica**. Universidade Tecnológica do Paraná. Curitiba- PR. 2008.

DUDAS, R. et al. Inexpensive telecytology solutions that use the Raspberry Pi and the iPhone. **Journal of the Americiran Society of Cytopathology**, v. 3, p. 49-55, setembro 2014.

DZIABENKO, O. et al. **Training of Microcontrollers Using Remote Experiments**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Bilbao: 9th International Conference. Julho 2012.

EDWARDS, C. Not-so-Humble Raspberry Pi Gets Big Ideas. **Engineering & Technology**, 8, n. 3, Abril 2012. 30-33.

ELINUX.ORG. **Elinux**, 2013. Disponível em: <http://elinux.org/RPi_Hub>. Acesso em: 17 maio 2013.

ENNETTA, R.; NASRI, I. **Developing a Remote Laboratory for Heat Transfer Studies**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 111-114.

FABREGAS, E. et al. Development a remote laboratory for engineering education. **Computers & Education**, v. 57, p. 1686–1697, 2011.

FARIAS, G. et al. Developing Network Control LABs: A Matlab and Easy Simulations Approach. **Transactions on Industrial Eletronics**, v. 57, n. 10, 2010.

FERDOUSH, S.; LI, X. Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. **Procedia Computer Science**, 2014.

FERRACIOLI, L. O ‘V’ Epistemológico como Instrumento Metodológico para o Processo de Investigação. **Didática Sistemica**, v. 1, p. 106-125, Outubro-dezembro 2005.

FERRAZ, A. P. D. C.; BELHOT, R. V. Taxionomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do intrumento para definição de objetivos instrucionais, São Carlos, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FRAILE-ARDANUY, J. et al. Development of an Integrated Virtual-Remote Lab for Teaching Induction Motor Starting Methods. **IEEE Journal of Latin-American Learning Technologies**, v. 8, n. 2, 2013.

FUERTE, J. J. et al. A Virtual laboratory of d.c. Motors for learning control theory. **International Journal of Electrical Engineering Education**, v. 50, n. 2, Abril 2013.

GARAIZAR, P.; VADILLO, M. A.; LÓPEZ-DE-IPÍÑA, D. Benefits and pitfalls of using HTML5 APIs for online experiments and simulations. **Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)**. 9th International Conference, Julho 2012.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

GHORBEL, H. et al. **Remote Laboratory for Control Process Practical Course in eScience Project**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). Thessaloniki, Greece: [s.n.]. 2014.

GOODWIN, S. **Smart Home automation with Linux and Raspberry**. 2. ed. [S.l.]: [s.n.], 2013.

GORECKY, D. et al. **Human-machine-interaction in the industry 4.0 era**. Industrial Informatics (INDIN). [S.l.]: 12th IEEE International Conference on. 2014. p. 289-294.

GRUBER, V. **Modelo de sistema para aquisição e monitoramento de dados remotos utilizando sensores e redes celulares 3G aplicado em um pequeno gerador**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - PPGE3M. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. 2010.

GRUBER, V. et al. Model for remote data Acquisition and monitoring integrating social media, NTIC's and 3G cell phone networks applied to monitoring small wind turbine. **Journal of Telecommunications**, v. 3, n. 1, p. 1-8, Abril 2010.

GUIMARÃES, E. G. et al. Design and Implementation Issues for Modern Remote Laboratories. **IEEE Transactions On Learning Technologies**, v. 4, n. 2, p. 149-161, Abril-Junho 2011.

HENTZ, E. A.; SCHAEFFER, L.; KNOLL, P. K. INFLUÊNCIA DA CURVA DE ESCOAMENTO NA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DO PROCESSO DE FORJAMENTO A QUENTE DA LIGA DE TITÂNIO Ti-6Al-4V. **Ciência e Engenharia**, v. 16, n. 1, p. 53-59, jan.-dez 2007 2007.

HOBAR, F.; SEMRA, L. **development and implementation of an e-course and a remote laboratory for analog electronics study**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). Thessaloniki, Greece: [s.n.]. 2014.

IKHLEF, A. et al. **Online Temperature Control System**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 75-78.

IONESCU, C. M. et al. A remote Laboratory as an Innovative Educational Tool for Practicion Control Engeering Concepts. **IEEE Transactions on Educational**, v. 56, n. 4, 2013.

JAMES, A. E. et al. **An Ecosystem for E-Learning in Mechatronics: The CLEM Project**. IEEE 10th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE). [S.l.]: [s.n.]. 2013. p. 62-69.

JUDI, H. M. et al. Alignment of statistis course using examination items. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 59, n. 2012, p. 264-269, 2012.

KHAZRI, Y. et al. Developing a Remote Practice for Laboratory Experiments on Measuring Instruments. **International Journal of Online Engeenering (iJOE)**, v. 10, n. 5, 2014. ISSN 12-14.

KNOLL, O.; LIMA, D.; SCHAEFFER, L. Estudo descreve a obtenção da curva de escoamento do alumínio por ensaios de compressão. **Corte e conformação**, p. 74-79, Agosto 2007.

KOIKE, N. **Cyber Laboratory for Hardware Logic Experiments**. CyberWorlds. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 5.

KRATHWOHL, D. R. A revision of Bloom's taxonomy: an overview. **Theory in practice**, v. 41, n. 4, p. 212-218, 2002.

KRBECEK, M.; SCHAUER, F.; ZELINKA, I. Possible Utilization of the Artificial Intelligence Elements in the Creation of Remote Experiments. **International Journal of Online Engeenering (iJOE)**, v. 10, n. 1, 2014.

LATRECHE, S.; ZIARI, Z.; MOUISSAT, S. **UC1 Oscillator remotelab for distant electronics**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). [S.l.]: [s.n.]. 2014. p. 82-85.

LERRO, F. et al. **Integration of an e-learning Platform and a Remote Laboratory for the Experimental Training at Distance in Engineering Education**. 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Experimentation (REV). Bilbao: REV. 2012. p. 133 - 137.

LOWE, D. Integrating Reservations and Queuing in Remote Laboratory Scheduling. **IEEE Transactions On Learning Technologies**, v. 6, n. 1, p. 73-84, Janeiro-Março 2013.

LOWE, D.; OROU, N. **Interdependence of Booking and Queuing in Remote Laboratory Scheduling**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012 9th International Conference on. [S.l.]: [s.n.]. 2012. p. 1-6.

MAITI, A. Time Scheduling Schemes in Online Laboratory. **International Journal of Online (iJOE)**, v. 6, 2010.

MARCELINO, R. et al. Extended Immersive Learning Environment: a Hybrid Remote/Virtual Laboratory. **International Journal of Online Engineering (iJOE)**, v. 6, p. 46-51, Setembro 2010.

MAYER, R. E. Rote Versus Meaningful Learning. **Theory into practice**, v. 4, n. 4, p. 225, 2002.

MICHELS, L. B. et al. **Using Remote Experimentation for Study on Engineering Concepts Through a Didactic Press**. 2nd Experiment@ Internacional Conference - Exp'at. Coimbra: [s.n.]. 2013. p. 191-193.

MILANEZ, A. **Microestrutura de peças aplicadas a materiais ferrosos e não ferrosos**. 126 f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012.

NASRI, I.; ENNETTA, R. **Determination of resonance frequency and estimation of damping ratio for forced Vibrations modules using remote lab**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). Thessaloniki, Greece: [s.n.]. 2014.

NETO, J. M. et al. **Remote Educational Experiment Applied To Electrical Engineering**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). 9th International Conference on. Bilbao: [s.n.]. Julho 2012. p. 47-51.

NETO, J. M. et al. Remote Educational Experiment Applied to Electrical Engineering. **iJOE**, v. 9, n. 1, p. 47-51, Fevereiro 2013.

OLHAR DIGITAL. Brasil tem mais 70 milhões no Facebook. **Olhar Digital**, 2013. Disponível em: <http://olhardigital.uol.com.br/negocios/digital_news/noticias/brasil-tem-mais-de-70-milhoes-no-facebook,-diz-consultoria>. Acesso em: 2013.

OMAR, N. et al. Automated analysis of exam questions according to bloom's taxonomy. **Procedia - social and Behavioral Sciences**, v. 59, n. 2012, p. 297-303, 2011.

OŽVOLDOVÁ, M.; ŠPILÁKOVÁ, P.; TKAC, L. **Archimedes' Principle Remote Experiment**. 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Porto-Portugal: [s.n.]. 2014.

PIMENTEL, A. A Teoria da Aprendizagem Experiencial como alicerce de estudos sobre Desenvolvimento Profissional. **Estudos de Psicologia**, p. 159-168, 2007.

PRIETO, G. A.; MENDONZA, J. P. Low Cost Didactic Robotic Platform based on Player/Stage software architecture and la Fonea hardware. **IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologias del aprendizaje**, v. 8, n. 3, Agosto 2013.

PUCHI-CABRERA, E. S. et al. plastic deformation of structural steel under hot-working conditions. **Materials Science & Engineering**, n. 559, p. 268-275, 2013.

QIAO, Y. et al. NCSLab: A Web-Based Global-Scale Control Laboratory With Rich Interactive Features. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, v. 57, n. 10, OUTUBRO 2010.

RAMOS-PAJA, C. A.; SCARPETTA, J. M. R.; MARTÍNEZ-SALAMERO, L. Integrated Learning Platform for Internet-Based Control-Engineering Education. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, v. 57, n. 10, p. 3284-3296, Outubro 2010.

REBIAI, S.; TOUIDJEN, N. E. H.; MOUISSAT, S. **Implementation of Online Optoelectronic Devices Course and Remote Experiments in UC1 iLab**. International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL). Thessaloniki, Greece: [s.n.]. 2014.

RESTIVO, M. T. et al. A Remote Laboratory in Engineering Measurement, v. 56, n. 12, p. 4836-4843, Dezembro 2009.

RICHARSON, M.; WALLACE, S. **Getting Stard with Raspberry Pi**. Sebastopol - United States of americ: O'Reilly Media, 2013.

ROJKO, A.; BAUER, P. **Education in power electronics based on remote resources**. 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition. Antalya, Tukey: [s.n.]. 2014.

SANTANA, I. et al. Remote Laboratories for Education and Research Purposes in Automatic Control Systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 9, n. 1, p. 547-556, Fev. 2013.

SANTOS, I. J. M. A. D. **O MÉTODO EXPOSITIVO E O MÉTODO CONSTRUTIVISTA: CONCORRENTES OU ALIADOS?** Faculdade de Letras. Universidade do Porto. [S.l.]. 2014.
https://sigarra.up.pt/flup/pt//pub_geral.show_file?pi_gdoc_id=491891.

SAVIN-BADEN, M. **Understanding How to Use Problem-based Learning Effectively in Remote and Virtual Labs**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2012 9th International Conference on. Bilbao, Espanha: [s.n.]. Julho 2012. p. 1-5.

SCHAEFFER, L. **Forjamento: Introdução ao processo**. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2006.

SCHAEFFER, L. **Conformação Mecânica**. 3ª Edição. ed. Porto Alegre: Livre Editora, 2009.

SCHAUER, F. et al. **REMLABNET - open remote laboratory management system for e-experiments**. 11th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). [S.l.]: [s.n.]. 2014.

SCHULER. **Metal Forming Handbook**. New York: Springer, 1998.

SCHULZ, M.; RUDD, A.; PAYNE, L. **RESTLabs: Service Broker Architecture for Remote Labs**. REV2012. Bilbao: [s.n.]. 2012.

- SHI, L. et al. Constitutive modeling of deformation in high temperature of a forging 6005A aluminium alloy. **Materials and Design**, v. 54, n. 2014, p. 576-581, Agosto 2013.
- SOUSA, N.; R. ALVES, G.; G. GERICOTA, M. An Integrated Reusable Remote Laboratory to Complement Electronics Teaching. **IEEE Transactions On Learning Technologies**, v. 3, n. 3, p. 265-271, Julho-Setembro 2010.
- SOUZA, S. A. D. **Ensaio Mecânicos e Materiais Metalúrgicos**. 5ª Edição. ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1982.
- SWARTLING, M. et al. **Simulations of the VISIR Open Lab Platform**. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). 9th International Conference on. [S.l.]: [s.n.]. Julho 2012.
- SZIEBIG, G.; TAKARICS, B.; KORONDI, P. Control of an Embedded System via Internet. **Transactions on Industrial Electronics**, v. 57, n. 10, p. 3324-3333, Outubro 2010.
- TARGETR LTD. <http://www.targetr.net/>. **TargetR**. Acesso em: 17 maio 2013.
- TASNIM, M. et al. **Towards Ubiquitous Learning Tools for Computer Aided Classroom in Developing Regions**. 16th Int'l Conf. Computer and Information Technology. Khulna: Bangladesh. 2014.
- TAWFIK, M. et al. **State-of-the-Art Remote Laboratories for Industrial Electronics Applications**. Technologies Applied to Electronics Teaching (TAEE). Madri, Espanha: 1. Junho 2012. p. 359-364.
- TERKOWSKY, C. et al. **Developing Tele-Operated Laboratories for Manufacturing Engineering Education**. International Conference on Remote Engineering & Virtual Instrumentation. Stockholm: REV2010. 2010. p. 60-70.
- TERKOWSKY, C. et al. **Platform for E-learning and Telemetric experimentation (PeTEX)**. Global Engineering Education Conference (EDUCON). Jordan: Princess Sumaya University for Technology in Amman. 2011. p. 491-497.
- TKÁC, L.; SCHAUER, F.; GERHÁTOVÁ, Z. Chemical Energy Sources Transformations by Remote Experiment. **iJOE**, v. 10, p. 35-39, 2014. ISSN 4.
- TOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. **Sensores industriais: Fundamentos e Aplicações**. 7ª. ed. São Paulo, SP: Érica, 2010.
- VALLS, M. G.; VAL, P. B. Usage of DDS Data-Centric Middleware for Remote Monitoring and Control Laboratories. **IEEE Transactions On Industrial Informatic**, v. 9, n. 1, p. 567-574, Fevereiro 2013.
- VARGAS, H. et al. A Network of Automatic Control Web-Based Laboratories. **IEEE Transactions On Learning**, v. 4, n. 3, p. 197-208, Julho-Setembro 2011.
- VERBELEN, Y. et al. Reconfigurable and Modular mobile robotics Platform for Remote Experiments. **iJOE**, v. 9, n. 3, p. 19-26, 2013.
- VICENTE, A. G. et al. Remote Automation Laboratory Using a Cluster of Virtual Machines. **IEEE Transactions On Industrial Electronics**, *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, v. 57, n. 10, p. 3276-3283, OUTUBRO 2010.

VILLA-LÓPEZ, F. H. et al. Electropneumatic system for industrial automation: Remote experiment within a web-based learning environment. **Procedia Technology**, v. 7, p. 198-207, 2013.

VLASOV, I. et al. **Global Navigation Satellite Systems (GNSS) Remote Laboratory at BMSTU**. Experiment@ International Conference (exp.at'13), 2013 2nd. Coimbra: Exp.at. 2013. p. 64-67.

YAZIDI, A. et al. A Web-Based Remote Laboratory for Monitoring and Diagnosis of AC Electrical Machines. **IEEE Transction on Industrial Electronics**, v. 58, n. 10, p. 4950-4959, Outubro 2011.

ZENZEROVIÉ, P.; BELIN, A.; SUIEIE, V. Remote Laboratories in Engineering Education Automation System Design. **Engineering review**, v. 33, n. 1, p. 1-7, Julho 2013.

ZORNIG, J.; CHEN, S.; DINH, H. **RESTlabs**: A prototype web 2.0 architecture for Remote Labs. Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). Bilbao: 9th International Conference on. julho 2012. p. 1-3.

ANEXO A – Detalhamento da Dimensão Conhecimento da Taxionomia de Bloom

Dimensão conhecimento	Descrição
Efetivo/factual	Relacionado ao conteúdo básico que o discente deve dominar a fim de que consiga realizar e resolver problemas apoiados nesse conhecimento. Relacionado aos fatos que não precisam ser entendidos ou combinados, apenas reproduzidos como apresentados. <i>Conhecimento da Terminologia; e Conhecimento de detalhes e elementos específicos.</i>
Conceitual	Relacionado à inter-relação dos elementos básicos num contexto mais elaborado que os discentes seriam capazes de descobrir. Elementos mais simples foram abordados e agora precisam ser conectados. Esquemas, estruturas e modelos foram organizados e explicados. Nessa fase, não é a aplicação de um modelo que é importante, mas a consciência de sua existência. <i>Conhecimento de classificação e categorização; Conhecimento de princípios e generalizações; e Conhecimento de teorias, modelos e estruturas</i>
Procedimental	Relacionado ao conhecimento de “como realizar alguma coisa” utilizando métodos, critérios, algoritmos e técnicas. Nesse momento, o conhecimento abstrato começa a ser estimulado, mas entro de um contexto único e não interdisciplinar. <i>Conhecimento de conteúdos específicos, habilidades e algoritmos; Conhecimento de técnicas específicas e métodos; e Conhecimento de critérios e percepção de como e quando usar um procedimento específico.</i>
Metacognitivo	Relacionado ao reconhecimento da cognição em geral e da consciência da amplitude e profundidade de conhecimento adquirido de um determinado conteúdo. Em contraste com o conhecimento procedimental, esse conhecimento é relacionado à interdisciplinaridade. A ideia principal é utilizar conhecimentos previamente assimilados (interdisciplinares) para resolução de problemas e/ou a escolha do melhor método, teoria ou estrutura. <i>Conhecimento estratégico; Conhecimento sobre atividades cognitivas incluindo contextos preferenciais e situações de aprendizagem (estilos); e Autoconhecimento.</i>

APÊNDICE A – Objetivos de aprendizagem - Dimensão Conhecimento

Dimensão conhecimento	Descrição específica do nível	Conhecimento (O quê)
Efetivo/factual (Ch1)	Conhecimento de terminologias	Simbologias dos principais termos da Conformação Mecânica como: força (F), tensão (σ), tensão verdadeira (ϕ), deformação verdadeira (φ), tensão de escoamento (k_f), área (A), altura (h), (k_{f0}).
	Conhecimento de detalhes e elementos específicos	Equações da força (F), tensão (σ), tensão verdadeira, deformação relativa, tensão de escoamento, área, constância de volume;
Conceitual (Ch2)	Conhecimento de classificações e categorias	Tipos de processo de conformação, tipos de ensaios, Zonas elástica, zona plástica, tensão verdadeira, tensão de engenharia. Conceitos: tensão, tensão escoamento, área,
	Conhecimento de princípios e generalizações	Zona plástica e zona elástica, Tensão de escoamento, tensão verdadeira,
	Conhecimento de teorias, modelos e estruturas	Gráfico tensão verdadeira x deformação verdadeira, gráfico de escoamento; gráfico;
Procedimental (Ch3)	Conhecimento de habilidades específicas do assunto e algoritmos	Realizar do ensaio de compressão na máquina teleoperada; Conversão dos valores de força (F) e deslocamento (Δh) e das dimensões do corpos de prova em valores de tensão e deformação verdadeira (σ e φ);
	Conhecimento de técnicas e métodos específicos do assunto	Linearização dos dados do gráfico de escoamento para determinação de "n" e "C" para montagem da equação da tensão de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$).
	Conhecimento dos critérios para determinar quando usar os procedimentos apropriados	Critério de uso para realizar o gráfico logarítmico da curva de escoamento. Critérios para fazer o gráfico de escoamento;
Metacognitivo (Ch4)	Conhecimento estratégico	Saber que a equação de k_f fornece dados para simulação de processos de Conformação Mecânica, ou previsão de força e energia do processo;
	Conhecimento sobre tarefas cognitivas, incluindo o conhecimento contextual e condicional apropriado	Saber que o ensaio de compressão é fundamental para obtenção de parâmetros mecânicos e apresenta relativa simplicidade na coleta de dados.
	Autoconhecimento	

APÊNDICE B – Objetivos de Aprendizagem - Dimensão Cognitiva

	Verbo	Como
1. Lembrar		
Lembrar consiste em reconhecer e recordar informações importantes da memória de longa duração. Produzir uma informação através da memória,	Reconhecer	Reconhecer os símbolos das unidades força (F), tensão verdadeira (σ), tensão de escoamento (k_f), deformação verdadeira (φ), diâmetro (d), área (A), altura (h), volume (v).
	Relembrar	- Relembrar as equações de tensão, tensão verdadeira, área, deformação, deformação, grau de deformação verdadeira, -Determinar as equações para conversão dos resultados do ensaio;
2. Entendimento		
Entender é a capacidade de fazer sua própria interpretação do material educacional, como leituras e explicações do professor. As subcapacitações desse processo incluem interpretação, exemplificação, classificação, resumo, conclusão, comparação e explanação.	Interpretar	-
	Exemplificar	- Esboçar o comportamento de um metal através de um gráfico durante processo de ensaio de compressão.
	Classificar	Interpretar dois ou mais gráficos de curva de escoamento (k_f) para classificar qual metal tem maior ou menor coeficiente de encruamento (n) ou maior coeficiente de resistência (C).
	Resumir	- Descrever o significado de deformação elástica e plástica. - Resumir a lei da constância de volume; -
	Concluir	
	Comparar	
	Explicar	- Como são feitos os ensaios de compressão a frio e quais os dados são necessários para montar uma curva de escoamento
3. Aplicação		
O terceiro processo, aplicação, refere-se a usar o procedimento aprendido em uma situação familiar ou nova.	Executar	- Gerar o ensaio de compressão com a Máquina Didática e Teleoperada de Ensaio de Compressão e exportar os dados para excel;
	Implementar	- Implementar os conhecimentos da Conformação Mecânica para transformar os dados do ensaio da Máquina de Ensaio de Compressão, bem como as dimensões iniciais e finais do corpo de prova para gerar a tensão e a deformação verdadeira.
4. Análise		
O processo seguinte é a análise, que consiste em dividir o conhecimento em partes e pensar como essas partes se relacionam com a estrutura geral. A análise dos estudantes é feita por meio de diferenciação, organização e atribuição	Diferenciar	- diferenciar entre dois ou mais curvas de escoamento qual possui maior tensão limite de escoamento; - diferenciar que em materiais a quente, a velocidade de deformação influencia na tensão de escoamento.
	Organizar	- Organizar um ou mais curvas em ordem conforme tensão limite de escoamento. - Organizar por ordem crescente de tensão de escoamento (k_f) as curvas de escoamento de um metal deformado a quente em função da velocidade de deformação($\dot{\varphi}$) - Organizar por ordem crescente de tensão de escoamento as curvas de escoamento de um metal deformado a quente em função da temperatura.
	Atribuir	Considerando 3 materiais com tensões de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$) diferentes, colocar em ordem crescente de força para realizar uma deformação de 0,5. colocar valores de força
5. Avaliação		
A avaliação, que é o item mais avançado da taxonomia original, é o quinto dos seis processos da versão revisada. Ela engloba verificação e crítica	Verificar	- Verificar qual metal exige mais ou menos tensão para ser deformado a partir de uma curva de escoamento;
	Criticar	- Avaliar criticamente se um prensa será capaz de deformar (produzir) determinada peça baseado nas dimensões e na tensão de escoamento (k_f) do billet inicial.
6. Criação		
Criação, um processo que não fazia parte da primeira taxonomia, é o principal componente da nova versão. Essa capacitação envolve reunir elementos para dar origem a algo novo. Para conseguir criar tarefas, os estudantes geram, planejam e produzem.	Gerar	- Gerar o gráfico da tensão de escoamento (k_f) em excel - Determinar o expoente "n" e o coeficiente "C" da equação de escoamento da tensão de escoamento ($k_f = C \cdot \varphi^n$) no excel;
	Planejar	- Planejar a força (F) e a energia utilizada por uma prensa para gerar determinada deformação em um metal.
	Produzir	

APÊNDICE C – Avaliação dos estudantes em relação ao uso do LABCONM

Estudante	Questões/repostas				
	Qual a sua satisfação em usar o Laboratório Online de Conformação Mecânica?	Avalie o Laboratório Online de Conformação Mecânica quanto à facilidade de uso e operação	Avalie quanto ao processo de realização do ensaio de compressão usando a MDTEC (Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão)	Quanto a objetividade e entendimento das atividades propostas (vídeos e textos)	Atividades do Laboratório: Quanto elas ajudaram você a entender ou melhorar o entendimento dos conceitos de conformação mecânica
Estudante 1	10	10	10	10	10
Estudante 2	10	10	10	10	9
Estudante 5	10	10	10	9	7
Estudante 6	10	10	10	10	10
Estudante 7	9	9	10	10	9
Estudante 8	10	10	10	8	8
Estudante 9	8	8	9	10	10
Estudante 10	8	8	7	6	7
Estudante 11	10	10	10	10	10
Estudante 12	9	10	10	10	10
Estudante 13	10	9	7	10	10
Estudante 15	10	10	10	5	10
Estudante 17	10	10	10	9	9
Estudante 19	8	9	8	10	7
Estudante 20	8	7	7	5	10
Média	9,33	9,33	9,20	8,80	9,07

APÊNDICE D – Tabela da de frequência de respostas do questionário de avaliação comparativa entre laboratório tradicional e o LABCONM

	Pontuação Atribuída	MELHOR	UM POUCO MELHOR	IGUAL	UM POUCO MENOR	MENOR	TOTAL de respostas
		+2	+1	0	-1	-2	
ITEM AVALIADO	FREQUÊNCIA						
Disponibilidade de horários para uso fora da aula	19	1	1	0	0	21	
Segurança do operador (estudante)	19	2	0	0	0	21	
Facilidade nos preparativos para realizar o ensaio (ajustes da máquina, corpo de prova etc.)	14	4	2	0	1	21	
Ajuda a se sentir a vontade em perguntar, questionar ou e tirar dúvidas (pessoalmente ou por e-mail, redes sociais, etc.)	7	3	7	3	1	21	
Facilidade em obter os dados do ensaio	14	6	1	0	0	21	
Sensação de interatividade e controle do processo	12	2	6	1	0	21	
Auxílio na aprendizagem da teoria da conformação mecânica	10	6	5	0	0	21	
Possibilidade de rever uma explicação já apresentada	17	2	2	0	0	21	
Facilidade para operar o ensaio	15	4	1	1	0	21	
Motivação para execução	15	3	3	0	0	21	

Apêndice E - Questionário 1

Em comparação com uma aula prática que usa a máquina de ensaio tradicional, avalie o Laboratório Online de Conformação Mecânica quanto:

Perguntas	Pontuação				
	+2 Menor	+1 Um pouco menor	0 Igual	-1 Um pouco melhor	-2 Melhor
Disponibilidade de horários para uso fora da aula					
Segurança do operador (estudante)					
Facilidade nos preparativos para realizar o ensaio (ajustes da máquina, corpo de prova etc.)					
Ajuda a se sentir a vontade em perguntar, questionar ou e tirar dúvidas (pessoalmente ou por e-mail, redes sociais, etc.)					
Facilidade em obter os dados do ensaio					
Sensação de interatividade e controle do processo					
Auxílio na aprendizagem da teoria da conformação mecânica					
Possibilidade de rever uma explicação já apresentada					
Facilidade para operar o ensaio					
Motivação para execução					

Apêndice F - Questionário 2

1. Avalie qual a sua satisfação em usar o Laboratório Online de Conformação Mecânica?
Responder com nota de 0 - 10
2. Avalie o Laboratório Online de Conformação Mecânica quanto à facilidade de uso e operação: Nota de 0 a 10
3. Avalie quanto ao processo de realização do ensaio de compressão usando a MDTEC (Máquina Didática Teleoperada de Ensaio de Compressão). Nota de 0 a 10
4. Avalie quanto a objetividade e entendimento das atividades propostas (vídeos e textos). [Colocar nota de 0 à 10]
5. Avalie as atividades do "Laboratório Online de Conformação Mecânica", quanto elas ajudaram você a entender ou melhorar o entendimento dos conceitos de conformação mecânica. [Colocar nota de 0 à 10]
6. Comente as principais dificuldades que você teve no uso do Laboratório Remoto em relação às atividades, vídeos e/ou à Máquina de Ensaio, relacionando sugestões quando for o caso.

Apêndice G - Tabulação dos dados do Questionário comparativo em escala diferencial

Item avaliado	Frequência x pontuação					Total pontuação	Média
	Melhor	Um pouco melhor	Igual	Um pouco menor	Menor		
Disponibilidade de horários para uso fora da aula	38	1	0	0	0	39	1,86
Segurança do operador (estudante)	38	2	0	0	0	40	1,90
Facilidade nos preparativos para realizar o ensaio (ajustes da máquina, corpo de prova etc.)	28	4	0	0	-2	30	1,43
Ajuda a se sentir a vontade em perguntar, questionar ou e tirar dúvidas (pessoalmente ou por e-mail, redes sociais, etc.)	14	3	0	-3	-2	12	0,57
Facilidade em obter os dados do ensaio	28	6	0	0	0	34	1,62
Sensação de interatividade e controle do processo	24	2	0	-1	0	25	1,19
Auxílio na aprendizagem da teoria da conformação mecânica	20	6	0	0	0	26	1,24
Possibilidade de rever uma explicação já apresentada	34	2	0	0	0	36	1,71
Facilidade para operar o ensaio	30	4	0	-1	0	33	1,57
Motivação para execução	30	3	0	0	0	33	1,57

Apêndice H - Trabalhos publicados durante o doutorado (por ano)

Tipo	Nome da Publicação	Publicação	Ano
Artigo completo em revista	Didactic Press for Remote Experimentation Applied in Spring to Study Hooke's Law.	International Journal of Online Engineering	2013
Evento/artigo completo	Experimentação Remota usando Prensa Didática para Estudo de Propriedades Elásticas dos Materiais.	COBENGE 2013	2013
Evento/artigo completo	Prensa Hidráulica Remota como Ferramenta Didática no Ensino de Conceitos sobre Materiais.	33° SENAFOR - Conferência Internacional de Forjamento, 2013	2013
Evento/Artigo completo	Prensa Didática monitorada e controlada online via dispositivos móveis para determinação de propriedades mecânicas.	ICBL 2013	2013
Evento/Artigo completo	Desenvolvimento de experimento remoto para introdução à iniciação científica no Ensino Técnico aplicado ao tema Lei de Hooke	ICBL 2013 – Interactive Computer aided Blended Learning	2013
Evento/Artigo/Demonstration	Using the Remote experimentation study on Engineering concepts through a Press Monitored didactically.	Exp'at 2013	2013
Evento/artigo completo	Experimento Remoto Integrado A Um Sistema De Gerenciamento De Aprendizagem Para Apoio Ao Ensino Da Lei De Hooke Em Alunos Do Ensino Técnico	3° Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense (SICT-Sul)	2014
Evento/Artigo completo	Uso do Raspberry Pi Para Automatizar e Gerenciar Prensas via Internet Com Baixo Custo	34° SENAFOR	2014
Evento/Artigo completo	Prensas Usadas Nos Processos De Forjamento: Uma Revisão	34° SENAFOR	2014
Evento/Artigo completo	Modificações Técnicas Em Prensas Hidráulicas de Conformação para Adequação à Norma Brasileira NR12	34° SENAFOR	2014
Artigo completo em revista	Educational Press for Remote Experimentation Applied in the Spring to Study Hooke's Law.	Computer Technology and Application	2015
Capítulo de livro	Remote experiment applied to teaching Hooke's Law using a didactic press and Raspberry Pi	Online Experimentation: Emergent Technologies & the Internet of Things	2015
Evento/artigo completo	Projeto de um Laboratório Experimentação Remota para Ensino Interativo das Curvas de Escoamento.	35° SENAFOR, 2015.	2015
Evento/Artigo Resumo/ Demonstration	Educational compression testing machine for teleoperated teaching of the metals flow curves	3rd Experiment International Conference (exp.at'15)	2015
Artigo completo em revista	Máquina de Ensaio de Compressão na Era da 4ª Revolução Industrial.	Revista Ferramental	2016
Artigo completo em revista	Remote Compression Test Machine for Experimental Teaching of Mechanical Forming	International Journal of Online Engineering	2016
Livro	IoT and the Industry 4.0: Principles and Educational Applications		2016