



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Jair Medeiros Junior

**Um ambiente de aprendizagem em automação
baseado em sistemas nebulosos**

Rio de Janeiro
2011

Jair Medeiros Junior

**Um ambiente de aprendizagem em automação
baseado em sistemas nebulosos**



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Sistemas Inteligentes.

Orientador: Prof. Dr. Nival Nunes de Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Biondi Neto

Rio de Janeiro

2011

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

M488 Medeiros Junior, Jair.
Ambiente de aprendizagem em automação baseado em
sistemas nebulosos / Jair Medeiros Junior – 2011.
157 f.

Orientador: Nival Nunes de Almeida.
Coorientador: Luiz Biondi Neto
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Eletrônica. 2. Lógica nebulosa. 3. Inteligência
artificial. 4. Sistemas inteligentes. I. Almeida, Nival Nunes de. II.
Biondi Neto, Luiz. III. Universidade do Estado do Rio Janeiro.
IV. Título.

CDU 621.38:004.89

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Jair Medeiros Junior

**Um ambiente de aprendizagem em automação
baseado em sistemas nebulosos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica, da Universidade Estadual do Rio de Janeiro. Área de Concentração: Sistemas Inteligentes.

Aprovada em: 05 de agosto de 2011.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Nival Nunes de Almeida (Orientador)
Faculdade Engenharia - UERJ

Prof. Dr. Luiz Biondi Neto (Coorientador)
Faculdade Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Maria Luiza Fernandes Velloso
Faculdade Engenharia - UERJ

Prof.^a Dr.^a Karla Tereza Figueiredo Leite
Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC-RIO

Rio de Janeiro

2011

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pela vida e pela oportunidade de viver esse momento.

Em especial a minha esposa, Célia, que esteve sempre ao meu lado apostando no meu crescimento pessoal e profissional. Colaborou bastante em toda trajetória do mestrado com muita dedicação e compreensão, me apoiando em todos os momentos, mesmo com todas as minhas ausências e aceitando o mestrado como parte do nosso casamento. Muito obrigada por todas as atitudes e palavras de amor, carinho e incentivo.

Aos professores Nival e Luis Biondi, meu orientador e co-orientador, pela acolhida constante e paciência; com vocês tive o privilégio de me renovar pessoal e profissionalmente. Com a competência de vocês soube delinear meus pensamentos desde o primeiro dia dessa jornada, seus ensinamentos permanecerão comigo.

À minha filha Beatriz, pelo seu grande amor e sua alegria que fazem minha existência muito melhor a cada dia e a cada sorriso seu.

À minha filha Julia que chegou no meio desta empreitada, me enchendo de alegria.

Aos meus sobrinhos Felipe e Stephanie, que me ajudaram na construção desse trabalho.

Aos Professores José Franco e Jorge Luis, pela disposição e colaboração no ensino.

À Secretaria da Eletrônica, Dona Silvia que me motivou a dar início a essa jornada.

Ao Professor David, pela amizade, pela compreensão e ajuda para que eu conseguisse realizar o mestrado. Meu eterno agradecimento.

Aos meus colegas de turma do Mestrado, pelas manifestações de amizade que permearam todo o convívio. Vocês fizeram toda a diferença.

A todos vocês, meus amigos, que colaboraram, direta ou indiretamente, na elaboração deste trabalho, agradeço de coração!

RESUMO

Medeiros Junior, Jair. *Ambiente de aprendizagem em automação baseado em sistemas nebulosos*. 2011. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011.

Esta dissertação trata de um estudo e o desenvolvimento de uma proposta de um ambiente de aprendizagem, para qualquer instituição de ensino superior, em três níveis de ensino da área de controle e automação: graduação, pós-graduação *Lato Sensu* e *Stricto Sensu*. Primeiramente, foram feitas visitas aos laboratórios em universidades e entrevistas com professores que ministram as disciplinas de controle e automação nos três níveis de aprendizagem. Foram constatadas virtudes e fragilidades metodológicas na questão da prática laboratorial em relação a aspectos industriais na área de engenharia elétrica de três instituições do Estado do Rio de Janeiro, sendo uma federal, uma estadual e outra privada. Posteriormente, foram analisados mecanismos e instrumentos necessários para interagir com modelos experimentais propostos nas entrevistas de maneira didática, para fins de constituir o ambiente de aprendizagem em automação, no qual foi eleito o LABVIEW como a interface mais favorável para aplicação de controles, mantendo uma analogia de cunho prático-industrial. A partir dessas análises foram sugeridos ainda elementos típicos de automação e três estudos de caso: um sistema térmico, um controle de velocidade de motores e um pêndulo invertido, por meio de controles simples e avançados como o controlador nebuloso, caracterizando-se pelo fortalecimento da atividade acadêmico-industrial.

Palavras-chaves: Aprendizagem; Sistemas de controle; Automação industrial; Sistemas nebulosos.

ABSTRACT

This dissertation is a study and develop a proposal for a learning environment, to any institution of higher education, three levels of education in the area of control and automation: undergraduate, graduate and Lato Sensu stricto sensu. First, visits were made to laboratories in universities and interviews with teachers who teach the disciplines of automation and control in three levels of learning. Strengths and weaknesses were found in the methodological issue of laboratory practice in relation to industrial aspects of electrical engineering in the area of three institutions in the State of Rio de Janeiro, being one federal, one state and one private. Subsequently, we analyzed mechanisms and instruments to interact with experimental models proposed in the interviews in a didactic manner for the purpose of providing the learning environment in automation, in which he was elected as the LABVIEW interface more favorable for the application of controls, keeping an analogy for practical industrial. From these analysis have been suggested yet typical elements of automation and three case studies: a thermal system, a speed control motor and an inverted pendulum, through simple and advanced controls such as fuzzy control, characterized by the strengthening of academic-industrial activity.

Keywords: Learning environment; Automation and control; PID and Fuzzy and practical models.

SIGLAS e ABREVIATURAS

BVI	Bureau Veritas Internacional
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBA	Congresso Brasileiro de Automática
CEENG	Comissão de Especialistas do Ensino de Engenharia
CENPES	Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. M. de Mello
CETC	Conferência Internacional de Tecnologia e Computação
CETUC	Centro de Estudos em Telecomunicações da Universidade Católica
CFE	Conselho Federal de Educação
CLP	Controlador Lógico Programável
COA	Método do Centro da Área
COBENGE	Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura
DAQ	Data Acquisition
DEE	Departamento de Engenharia Elétrica
Dt	Tempo Derivativo
ENADE	Exame Nacional de Desempenho de Estudantes
FEUERJ	Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do RJ
GPIB	General Purpose Interface Bus
IBM	International Business Machines
ICA	Inteligência Computacional Aplicada
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IES	Instituto de Ensino Superior
IGC	Índice Geral de Cursos
IHM	Interface Homem Máquina
IP	Taxa Integral
LABVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LEE	Laboratório de Engenharia Elétrica
LEGO	abreviação em dinamarquês para “leg godt”, ou “play well”
LHC	Large Hadron Collider

LPS	Laboratório Processamento de Sinais
MEC	Ministério de Educação
MIT	Motor Indução Trifásico
MOM	Método da Média dos Máximos
MV	Variável Manipulada
NTC	negative temperature coeficiente
P	Proporcional
PBL	Problem-based learning
PC	Personal Computer
PD	Proporcional - Derivativo
PEL	Programa de Pós-Graduação de Engenharia Eletrônica
PI	Proporcional - Integral
PID	Proporcional Integral Derivativo
PLC	Programmable Logic Control
PPR	Pulso Por Rotação
PT	Tempo Derivativo
PUC	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
PV	Process Variable
PWM	Pulse Width Modulation
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation
RNA	Redes Neurais Artificiais
SBA	Sociedade Brasileira de Autonomia
SCXI	Sistema de chaveamento e aquisição de dados
SDCD	Sistemas Digitais de Controle Distribuído
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Internacional
SESU	Secretaria de Educação Superior
SIELO	Scientific Electronic Library Online
SOM	Primeiro Máximo
SP	Set Point
SV	Set-variable
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TS	Takagi-Sugeno
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USP	Universidade de São Paulo
VI	Virtual Instruments
VXI	VME extensions for Instrumentation

FIGURAS

Figura 1 - Sistema onde o transdutor é parte integral do Sensor.....	25
Figura 2 - Sensor digital tipo Tecla.....	26
Figura 3 - Sensor analógico de nível.....	26
Figura 4 - Exemplo de interface de entrada analógico.....	27
Figura 5 - Atuador digital.....	27
Figura 6 - Exemplo de interface de saída analógica.....	28
Figura 7 - Diagrama de blocos de malha fechada.....	28
Figura 8 - Diagrama de blocos de malha fechada.....	30
Figura 9 - Diagrama de blocos controle PID.....	31
Figura 10 - Diagrama de ligações Simulink.....	33
Figura 11 - Gráfico de resposta ao degrau.....	34
Figura 12 - Efeito da redução de PB no comportamento de PV.....	35
Figura 13 - Diagrama de controle proporcional.....	35
Figura 14 - Efeito da inclusão do controle integral PI.....	37
Figura 15 - Diagrama de controle proporcional integral.....	37
Figura 16 - Comparação de um controle P com um controle PD.....	39
Figura 17 - Estrutura de um controlador fuzzy.....	42
Figura 18 - Conjuntos fuzzy.....	43
Figura 19 - Funções de pertinência.....	44
Figura 20 - Variáveis Linguísticas.....	45
Figura 21 - Representação esquemática do método de Mamdani.....	48
Figura 22 - Representação da saída final do método de Mamdani.....	48
Figura 23 - Relação entre Modelo, Simulação e Experimento.....	49
Figura 24 - Diagrama de blocos do sistema de controle	50
Figura 25 - Diagrama de blocos do controle de temperatura.....	50
Figura 26 - Métodos das áreas para identificação dos parâmetros T e τ	52
Figura 27 - Modelo do Sistema Térmico.....	53
Figura 28 - Esquemático de ligações.....	54
Figura 29 - Curva estática do sensor.....	55
Figura 30 - Motor trifásico de corrente alternada.....	57
Figura 31 - Diagrama de bloco.....	58

Figura 32 - Conversor de Frequência.....	59
Figura 33 - Entradas de controle Conversor de Frequência.....	60
Figura 34 - Diagrama de blocos do sistema de controle	60
Figura 35 - Diagrama ligação	61
Figura 36 - Foto do Encoder utilizado	61
Figura 37 - Detalhamento do enconder	62
Figura 38 - Aferição do enconder	63
Figura 39 - Pêndulo invertido equilibrado	64
Figura 40 - (a) Sistema pêndulo invertido; (b) diagrama de corpo livre.....	65
Figura 41 - Diagrama de blocos do sistema de controle	68
Figura 42 - Modulo Amplificador PAO 103	69
Figura 43 - Programação do Simulink.....	69
Figura 44 - Graficos de resposta do angulo do pendulo e da posição do carrinho....	70
Figura 45 - Toolkit PID FUZZY	72
Figura 46 - Chassi SCXI e interligações.....	74
Figura 47 - Conversão do sinal de entrada em temperatura do Sistema térmico.....	75
Figura 48 - Diagrama de Blocos do Sistema Térmico.....	75
Figura 49 - Grafico de resposta On-Off.....	76
Figura 50 - Chassi SCXI e interligações.....	77
Figura 51 - Programação LabVIEW.....	77
Figura 52 - Grafico do Erro.....	78
Figura 53 - Variável Linguistica Temperatura.....	81
Figura 54 - Variável Linguistica Variação de Temperatura.....	82
Figura 55 - Variável Linguística de Saída.....	83
Figura 56 - Editor de Regras Fuzzy do LabView.....	87
Figura 57 - Interface gráfica I/O Characteristics.....	88
Figura 58 - Diagrama de blocos e interligações.....	88
Figura 59 - Flexibilidade LABVIEW	89
Figura 60 - Tratamento de sinal de entrada do encoder	89
Figura 61 - Variaveis Linguisticas de entrada	92
Figura 62 - Variaveis Linguisticas de entrada	92
Figura 63 - Variaveis Linguisticas de saida.....	93
Figura 64 - Fuzzy Contoller Editor.....	94
Figura 65 - Interface gráfica I/O Characteristics.....	94

Figura 66 - Modelo Simulink para Controlador PID.....	96
Figura 67 - Regras da variavel posição angular.....	97
Figura 68 - Regras da variavel Velocidade angular.....	98
Figura 69 - Regras da variavel Saida Motor.....	99
Figura 70 - Rule Viewer.....	100
Figura 71 - Surface Viewer.....	101
Figura 72 - Modelo Simulink para Controlador Fuzzy.....	101
Figura 73 - Resposta do modelo com o Controlador PID.....	102
Figura 74 - Resposta do modelo com o Controlador Fuzzy.....	103
Figura 75 - Sinal de Controle do Controlador PID.....	104
Figura 76 - Sinal de Controle do Controlador Fuzzy.....	104
Figura 77 - Tela Inicial.....	118
Figura 78 - Painel Frontal e Diagrama de Blocos.....	119
Figura 79 - Paleta de controle.....	122
Figura 80 - Paleta funções.....	123
Figura 81 - Tipos de ligações.....	124
Figura 82 - Dispositivos DAQ.....	125
Figura 83 - Test Panel.....	126
Figura 84 - VI de aquisição de dados.....	126
Figura 85 - Chassi SCXI e ligação de dados com o PC.....	127
Figura 86 - Modulo USB NI-6008.....	128
Figura 87 - Modelo reduzido do Sistema Hidrido	129
Figura 88 - Modelo Plataforma Flutuante	129
Figura 89 - Relação entre as área que compõem a Mecatrônica.....	148
Figura 90 - Diagrama de Blocos.....	150
Figura 91 - Modelo do Sistema Térmico.....	151
Figura 92 - Simulação Fuzzy.....	152
Figura 93 - Esquemático de ligações.....	152
Figura 94 - Diagrama de bloco.....	154
Figura 95 - Esquemático de ligações.....	155
Figura 96 - Aferição do encoder	156
Figura 97 - Simulação FUZZY.....	156
Figura 98 - Diagrama ligação	157

TABELAS

Tabela 1 – Descrição de parâmetros do PID.....	31
Tabela 2 – Conversão Tensão x Temperatura.....	54
Tabela 3 – Conversão frequência em RPM.....	62
Tabela 4 – Constantes e Variáveis para o Modelo Matemático do pêndulo invertido.	67
Tabela 5 – Termos Lingüísticos – Entradas.....	79
Tabela 6 – Termos Lingüísticos – Sidas.....	80
Tabela 7 – Regras de Inferência.....	86
Tabela 8 – Termos Lingüísticos – Entradas.....	90
Tabela 9 – Termos Lingüísticos – Saida.....	90
Tabela 10 – Regras de Inferência.....	93
Tabela 11 – Regras de Inferência.....	99
Tabela 12 – Comparação dos resultados do controlador PID e Fuzzy.....	103

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.1	Justificativa	17
1.1.1	<u>Estado da Arte</u>	17
1.2	Objetivo	19
1.3	Cenário do estudo	19
1.3.1	<u>Coleta dos dados: Técnicas e Instrumento</u>	20
1.4	Educação em Engenharia	20
1.5	Ambiente de aprendizagem	21
1.6	Estrutura do trabalho	23
2	MECANISMOS E INSTRUMENTOS PARA CONTROLE E AUTOMAÇÃO	24
2.1	Transdutores, Sensores e Atuadores	24
2.1.1	<u>Transdutores e Sensores</u>	24
2.1.2	<u>Atuadores</u>	27
2.2	Controladores	28
2.2.1	<u>Controle de malha Aberta</u>	29
2.2.2	<u>Controle de malha Fechada</u>	29
2.2.3	<u>Controlador PID</u>	30
2.2.3.1	Controle Proporcional.....	34
2.2.3.2	Controle Proporcional-Integral.....	36
2.2.3.3	Controle Proporcional-Derivativo.....	38
2.2.4	<u>Controlador FUZZY</u>	40
2.2.4.1	Conceitos Fuzzy.....	41
2.2.4.2	Base de Conhecimento.....	42
2.2.4.3	Conjuntos Fuzzy.....	42
2.2.4.4	Função de Pertinência.....	44
2.2.4.5	Variáveis Linguísticas.....	45
2.2.4.6	Fuzzificação.....	45
2.2.4.7	Inferência.....	46
2.2.4.8	Modelos de Sistemas Fuzzy.....	46
2.2.4.9	Modelo Mamdani.....	46
2.2.4.10	Modelo Takagi-Sugeno.....	46
2.2.4.11	Interface de Defuzzificação.....	47
3	MODELOS EXPERIMENTAIS SUGERIDOS	49
3.1	Sistema Térmico	50
3.1.1	<u>Fundamentos teóricos</u>	51
3.1.2	<u>Modelo Experimental</u>	52
3.2	Controle de velocidade em motores CA	55
3.2.1	<u>Fundamentos teóricos</u>	56
3.2.2	<u>Conversores de frequência</u>	58
3.2.3	<u>Modelo Experimental</u>	60
3.3	Pendulo Invertido	63

3.3.1	Fundamentos teóricos.....	64
3.3.2	Modelo Experimental.....	68
4	ESTUDO DE CASOS	71
4.1	Níveis de Aprendizagem	72
4.2	Sistema Térmico	74
4.2.1	<u>Entradas do sistema</u>	74
4.2.2	<u>Nível de aprendizagem básico</u>	74
4.2.3	<u>Nível de aprendizagem intermediária</u>	76
4.2.3.1	Sintonia da Malha.....	77
4.2.4	<u>Nível de aprendizagem Avançado</u>	78
4.2.4.1	Saídas do sistema.....	78
4.2.4.2	Termos lingüísticos.....	79
4.2.4.3	Fuzzificação.....	80
4.2.4.4	Regras de Inferência.....	83
4.2.4.5	Defuzzificação.....	87
4.3	Controle de Velocidade	89
4.3.1	<u>Nível de aprendizagem Avançado</u>	90
4.3.1.1	Termos lingüísticos.....	90
4.3.1.2	Fuzzificação.....	90
4.3.1.3	Defuzzificação.....	94
4.4	Pendulo Invertido	95
4.4.1	<u>Nível de aprendizagem Intermediário</u>	96
4.4.2	<u>Nível de aprendizagem Avançado</u>	96
4.4.3	<u>Regras de Inferência</u>	99
4.4.4	<u>Comparação dos resultados</u>	102
5	CONCLUSOES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
	REFERÊNCIAS	107
	APÊNDICE 1 – Questionário.....	117
	APÊNDICE 2 – Ambiente labview.....	118
	APÊNDICE 3 – Analise dos dados coletados.....	130
	APÊNDICE 4 – A Engenharia de controle e automação.....	136
	APÊNDICE 5 – Roteiro sistema térmico.....	150
	APÊNDICE 6 – Roteiro controle de velocidade.....	154

INTRODUÇÃO

A educação praticamente coincide com a própria existência humana. Portanto, o homem, para continuar existindo, precisa estar continuamente produzindo sua própria existência através do trabalho. Isto faz com que a vida do homem seja determinada pelo modo como ele produz sua existência (FERRETTI, 1999).

Atualmente, devido a aceleração progressiva do avanço tecnológico, a forma de tratar as informações e o conhecimento vem provocando modificações substanciais nas relações da construção do saber para o trabalho, que assume um caráter cada vez mais de natureza processual da informação, com implicações sobre o perfil do trabalhador e também das empresas. O impacto causado pelas mudanças sobre as relações no mundo do trabalho, afetou as exigências de qualificações pessoais, bem como vem alterando o conceito de espaços possíveis para a construção do saber. Além disso, vem desenvolvendo no aluno uma linha de competência para o novo, necessária para a sua auto-realização.

Não se trata tanto de ensinar ou aprender as novidades já existentes, que logo se tornarão obsoletas, mas os métodos para aprender a infinidade de coisas novas que estão por vir. Além de ensinar como se usa o último modelo de computador, é preciso desenvolver a atitude mental que serve para entender a lógica do computador (DE MASI, 2000).

O desenvolvimento de ambientes de ensinos práticos são extremamente necessários na sociedade e na formação de engenheiros, o ensino na área de controle e automação diferencia-se das engenharias tradicionais por sua característica eminentemente multidisciplinar e por aspectos epistemológicos decorrentes do nível de abstração de suas ferramentas de ação (SILVEIRA, 2007).

Mecanismos de aprendizagem propiciam aos alunos tanto materiais educacionais quanto guias para estudo. Esses mecanismos ainda não são utilizados em larga escala nas instituições de ensino, mas há um crescente das universidades em difundi-los como reforço às aulas tradicionais (COOPER, 2000). Dessa forma, é possível desenvolver um ambiente de aprendizagem harmônico para testes com instrumentação real.

1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

Os primeiros sistemas de automação operavam por meio de componentes eletromecânicos, com relés, contadores e temporizadores analógicos. Neste caso, a automação era dita rígida, e o sistema operava sobre a base chamada lógica a relé. Com o advento da informação e o surgimento do circuito integrado e do micro processador os circuitos lógicos tornaram os sistemas automáticos mais flexíveis. Ampliou-se a possibilidade das variáveis de entrada e de saída no controle de um processo. Tais sistemas de alta capacidade de controle são compactos, velozes, de baixo consumo, vida útil prolongada e reduzem significativamente paradas para a manutenção.

Para qualquer instituição de ensino que atue na área de automação se faz necessário a criação de um ambiente de aprendizagem didático, que busque a melhora contínua do aprendizado, ajustando novas tecnologias disponibilizadas no meio de ensino, com o intuito de disseminá-las da melhor maneira possível, no que se refere à consolidação de conhecimentos teóricos e na necessidade de criar um grupo de experiências práticas para melhorar a compreensão do aluno dentro de um ambiente de aprendizagem, na área de controladores PID, controladores Nebulosos além das técnicas de inteligência computacional como RNAs dentre outras, utilizando possivelmente ferramentas de automação que podem além de simular, mas também implementar experiências práticas de todos os níveis de interesse.

É de conhecimento geral, que laboratórios são os locais que possibilitam aplicação e testes de conhecimentos teóricos em simulações e em situações práticas (AUER, 2003). A simulação é importante devido à sua abrangência de variedades de experimentos, flexibilidade na modificação de componentes e otimização do tempo gasto para a montagem dos experimentos. Além dos simuladores o ensino de sistemas de automação exige o contato de alunos com situações reais para permitir um confronto da teoria clássica e moderna com a prática e possivelmente criar em pequena escala modelos de processos industriais com a finalidade de enriquecer os laboratórios.

1.1 Justificativa

As disciplinas de Controle e Automação nos cursos de Graduação e nos cursos de Pós-Graduação Lato Senso e Strictu Senso e em cursos destinados à formação de profissionais podem receber um novo enfoque na sua forma de realizar o processo ensino-aprendizagem, quanto à utilização do ambiente de aprendizagem destinado à construção do conhecimento. A adoção de interfaces que possibilitem a aprendizagem por meios eletrônicos pode contribuir para o aumento da velocidade do aprendizado, da motivação e eficácia nos resultados desejados. Desta forma, adotamos uma plataforma inovadora de aprendizagem para um sistema didático de automação utilizando o software LabVIEW, assim implementando novos experimentos reais que permitem com sua linguagem gráfica uma interação mais favorável a qualquer nível de dificuldade.

1.1.1 Estado da Arte

Tendo em vista a importância de estudos sobre o tema dessa pesquisa e diante da necessidade de estudos sobre o mesmo, buscou-se levantar um perfil preliminar da produção científica sobre o tema nos últimos 10 anos (2000/2010) em bases de dados indexadas. Foram essas: PUC, UFRJ, SIELO, COBENGE, IEEE, CAPES. Esse levantamento mostrou que, em um universo de aproximadamente de 2.300 trabalhos pesquisados, pouco se estuda sobre ambiente de aprendizagem em automação. A produção sobre o tema é insipiente, evidenciando a necessidade de maior investigação neste novo campo de atuação.

O artigo encontrado é relativamente novo, apresentado na IEEE na segunda conferencia internacional de tecnologia e computação (ICETC) edição em 2010 com o titulo “**Virtual Learning Environment Concept for PLC-programming - Case: Building Automation**” que resumidamente visa a descrever um ambiente de aprendizagem virtual para concepção de trabalhos de automação predial com Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e simulador, na Finlândia. Observamos que este artigo além de trabalhar em uma plataforma virtual tem uma restrição na utilização de apenas um mecanismo de automação que é o CLP.

Após esta pesquisa preliminar, fizemos uma nova pesquisa apenas no site da IEEE Transactions on Education também com o objetivo de encontrar

trabalhos do mesmo contexto, apenas nos últimos três anos. Foi encontrado no total a existência de 210 trabalhos separados em três edições anuais sendo cada uma delas com quatro volumes. Neste novo contexto mais específico foi verificado que há trabalhos de aprendizagem virtual ou de laboratórios virtuais, mas novamente apenas um trabalho foi encontrado que tenha relevância com o tema de ambiente de aprendizagem em automação, e 16 trabalhos de menor relevância abrangendo educação e aprendizagem em varias áreas diferentes da automação. O trabalho encontrado foi de 2008 do primeiro volume da revista 51 de titulo “**Development of a Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System**” que desenvolve um laboratório virtual de controle baseado na Web com maior flexibilidade para a experimentação de um sistema de controle MIMO três tanques para Técnicos de Automação, utilizando o apoio de programações fornecidas por simulações em JAVA.

Outro levantamento do estado da arte foi feito nos últimos dez anos no Congresso Brasileiro de Automática (CBA), onde se destina um tópico especial em educação em engenharia, onde podemos resaltar que em um universo de 63 trabalhos referentes a automação, apesar de não utilizar o mesmo contexto da dissertação, foi encontrado no CBA 2008 um artigo com referência ao tema “Educação em engenharia de controle e automação: proposta de um laboratório integrado com ambiência industrial. Francisco Gomes, Danilo Pinto, UFJF, Brasil” O trabalho analisa características conceituais, formas de implementação e resultados esperados para o Laboratório de Processos Contínuos do curso de Engenharia Elétrica da UFJF, discute o papel do laboratório na educação em engenharia, as características construtivas do exemplo em questão.

Como podemos verificar à uma vertente de trabalhos de ambientes de aprendizagem em automação e controle utilizando modelos virtuais, mas o aluno ao sair da faculdade, se depara com a realidade industrial e verificamos uma grande deficiência no trato de questões reais por parte deste recém formado engenheiro. O que queremos com esta dissertação é diluir esta deficiência, gerando experiências práticas reais para o aluno ter melhores condições de aprendizagem e assim melhor preparado para o mercado de trabalho.

A idéia de um ambiente de aprendizagem significa criar uma comunidade educacional composta com pessoas com linguagens, afinidades e objetivos educacionais comuns (GARCIA, 2002). No entanto para construir esta plataforma de

aprendizagem será preciso implementar ferramentas de hardware e de software para fins educacionais, permeadas por essa filosofia de trabalho, além de possibilitar o uso desses recursos, permitirá também a integração das disciplinas, uma inter-relação entre professores e os conteúdos a serem aprendidos durante o curso e, finalmente, uma concatenação entre professores e alunos e os órgãos diretivos visando sempre promover a integração da formação acadêmica com a prática profissional (VALLIM, 2000).

Com isto a utilização do laboratório de automação torna-se otimizada e reduz-se a possibilidade de erro.

1.2 **Objetivo**

Contribuir para melhoria de métodos e procedimentos que viabilizem um ambiente de aprendizagem e que possa gerar mais opções de experimentos ou modelos experimentais utilizando sistemas nebulosos em sua implementação, na área de controle e automação e sugerir uma interface que viabilize uma plataforma de aprendizagem, como por exemplo, o LABVIEW e o Matlab.

1.3 **Cenário do estudo**

O Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira (INEP) utiliza para aferir o rendimento dos alunos dos cursos de Graduação o Exame Nacional de Desempenho de Estudantes (ENADE) em relação aos conteúdos programáticos, suas habilidades e competências. Esta divulgação é feita através de conceitos no índice geral de cursos (IGC), que em 2009 e 2010, colocou os melhores conceitos no Estado do Rio de Janeiro nestas três Universidades, sendo também que estas três Universidades têm 5 estrelas no Guia do Estudante (ENADE, 2010).

Foram escolhidas como cenário de estudo, estas três Universidades que se destacaram em conceito e em produção de pesquisa científica.

- Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ),
- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
- Pontifícia Universidade Católica (PUC).

Atualmente existem muitos cursos dedicados especificamente à engenharia de controle e automação, entretanto a intenção dessa pesquisa é verificar o ambiente de aprendizagem onde são ministradas as disciplinas de controle e automação nos cursos de Graduação em Engenharia Elétrica.

1.3.1 Coleta dos dados: Técnicas e Instrumento

A coleta de dados ocorreu no período de novembro de 2010 a fevereiro de 2011. Dando início a parte operacional da pesquisa, apesar de não ter validação científica, as informações foram obtidas para coleta de dados através de entrevistas com os participantes do estudo que militam na área de controle e automação das universidades.

Os dados foram coletados através de um questionário de pesquisa (anexo 1), onde foram elaboradas cinco perguntas, visando sustentar as medidas a serem tomadas visando a melhoria de métodos e procedimentos, objetivo principal desta pesquisa. Essas foram respondidas pelos sujeitos da pesquisa através de entrevista feita pelo pesquisador.

Essas perguntas em ultima análise visam verificar, o que de fato, pode ser agregado desta tecnologia investigada para melhorar o ensino de controle e automação inclusive no tocante na parte laboratorial ou criar um ambiente de aprendizagem para que os alunos melhorem seu poder de absorção de conhecimento.

Pelos motivos expostos as entrevistas foram importantes, embora não sejam uma ferramenta decisiva para a construção do ambiente de aprendizagem que depende de múltiplos fatores, assim qualquer análise adicional, o material das referidas entrevistas estão disponíveis no Apêndice I.

1.4 **Educação em Engenharia**

De uma forma geral, estudos apontam para uma necessidade de melhorias do modelo atual de organização dos cursos de engenharia. Consciente das grandes mudanças sociais que ocorrendo, do papel que a universidade está exercendo na sociedade moderna e da necessidade de formar engenheiros que satisfaçam as

necessidades cada vez mais complexas das pessoas, o novo milênio coloca a Universidade e, conseqüentemente, a educação no centro das atenções da sociedade moderna.

No que se refere também a educação, ressalta-se também a procura dos cursos de Engenharia em interagir com o setor produtivo ou com o setor público, procurando criar uma rede que integre o conhecimento a sua aplicação. Onde a indústria se aproxima da academia. Estas iniciativas de integração podem ser realizadas por convênios específicos, utilização de espaços dos cursos para atividades das empresas, com a participação dos alunos e dos funcionários.

1.5 Ambiente de aprendizagem

No passado, os ambientes de aprendizagem eram muito pobres, não tínhamos simuladores, computadores poderosos, Kit didáticos. Mesmo assim foram formados grandes profissionais, alguns de destaque internacional, que tiveram muito êxito nas industriais. O diferencial na época era o empenho do aluno, a permanência na universidade, pesquisando, resolvendo problemas, tirando dúvidas e realizando muitas experiências de laboratório.

A educação tecnológica enfrenta diversos desafios, alguns na relação ensino-aprendizagem, como a necessidade de fortalecimento da relação teoria-prática. Alguns trabalhos têm sido desenvolvidos no sentido de apontar soluções para o problema, ou seja, sugeridos novos currículos, novas ementas com conteúdos específicos; desenvolvendo experimentos e kits didáticos; ampliando o uso de recursos tecnológicos para o ensino.

Neste espectro de contribuições, as abordagens pedagógicas voltadas ao projeto de pesquisa e as propostas para criação de modelos experimentais e construção de laboratórios são importantes, uma vez que aproximam a teoria e a prática.

Em outro enfoque, o ambiente de aprendizagem pode ter a finalidade de atender diferentes abordagens pedagógicas, assim mantendo os elevados padrões de excelência que possibilitem um aprendizado adequado das bases e conceitos fundamentais da engenharia de automação (KHEIR at all, 1996).

Entende-se que a experimentação ocupa um papel fundamental no ensino porque se constitui em estratégia propícia ao estabelecimento do diálogo que o estudante deve desenvolver com o conhecimento, que por sua vez é uma forma de fazer com que este ganhe significado.

As atividades experimentais são importantes, pois o experimento é determinante no nível de significação para o aluno, mas também é importante levar em consideração que para uma boa relação ensino-aprendizagem é necessário que o aluno realize pesquisas sobre o assunto nas bibliotecas das universidades e participem de grupos de estudos, por exemplo. Apesar de todos estes aspectos a experimentação ainda não é devidamente valorizada nas tarefas do cotidiano do ensino (BONADIMAN e NONEMACHER, 2007).

A montagem de um ambiente de aprendizagem, contudo, não implica necessariamente de disponibilizar um conjunto amplo e diversificado de módulos e procedimentos experimentais. Um laboratório ideal pode ser uma opção em alguns cursos tais como o de controle e automação, mas pode-se também instituir práticas laboratoriais completas, atendendo à demanda de diversos cursos, baseando-se totalmente na utilização de um grupo de módulos experimentais, como por exemplo um sistema de tanques acoplados (ASTROM AND OSTBERG, 1986) ou um processo térmico (KLERK AND CRAIG, 2004). O importante, neste caso, é a estruturação coerente de práticas que possibilitem o aprendizado crescente dos conceitos básicos necessários. Wellstead (1990), por exemplo, utilizando modelos em escala e selecionando controles de nível, velocidade, posição e transporte de materiais sugeriu um curso abrangendo calibração de sensores e atuadores, avaliação da resposta dinâmica e implementação de controladores, tanto analógicos quanto digitais. Já Astrom (1986), utilizando um módulo único, aborda experimentos laboratoriais que contemplam experiências práticas em malha fechada com controladores P e PI, efetua uma modelagem do sistema associando seus parâmetros à sintonia dos controladores, digitaliza controladores PID, utiliza realimentação de estado e projeta um filtro de Kalman, combinando estas duas técnicas. De acordo com Leva (2003), o suporte de um módulo térmico, propõe uma seqüência de experimentos com aspectos práticos de modelagem e simulação, dinâmica de sistemas, linearização, projeto e análise de controladores PID no domínio da freqüência e baseado em Modelo Interno (IMC). Experiências da realidade brasileira mostram soluções práticas, de baixo custo, a partir do

desenvolvimento de módulos laboratoriais (PICCOLI, AVILA, SIMAS, COELHO, BRUCIAPAGLIA and GOMES, 1997).

1.6 Estrutura do trabalho

Ao longo destes capítulos são discutidos aspectos teóricos e práticos envolvendo ambiente de aprendizagem, este primeiro capítulo contém a introdução do trabalho, a justificativa e demais elementos constitutivos de um projeto de pesquisa, conceitos teóricos de educação em engenharia e ambientes de aprendizagem. Para esta dissertação se manter no foco foi transferido para o Apêndice II, o capítulo de Engenharia de controle e automação que aborda o histórico de automação no mundo, no Brasil e na UERJ com resoluções de órgãos certificadores como o MEC, mostra também a estrutura laboratorial das três universidades.

O segundo capítulo discorre sobre conceitos de controle e automação e ferramentas que permitem implementar modelos mais próximos possível da realidade, para que durante o processo de formação profissional do aluno, o mesmo adquira segurança nas técnicas demonstradas

O terceiro capítulo apresenta a parte experimental desta dissertação, descreve três modelos práticos experimentais de primeira ordem para serem desenvolvidos pelos alunos da graduação e Pós-Graduação. Os modelos objetivam o aprendizado dos conceitos de automação por meio de concepção, estruturação e programação de dispositivos mecatrônicos utilizando motores e sensores.

O quarto capítulo discorre sobre a implementação deste ambiente de aprendizagem na UERJ com uma contextualização baseada nas entrevistas com professores da área de automação e controle, discorrendo sobre a riqueza de opiniões sobre o caráter interdisciplinar da automação e do ambiente de aprendizagem onde se privilegia o desenvolvimento de projetos na área.

No quinto capítulo são estudos de caso com as abordagens realizadas ao longo da pesquisa de campo desenvolvida juntos aos alunos dos cursos mencionados.

E o último capítulo são as conclusões e considerações finais apontando as perspectivas futuras a serem desenvolvidas nesta área.

2 MECANISMOS E INSTRUMENTOS PARA CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Os profissionais buscam conhecimentos para se tornarem mais versáteis, adequando-se as necessidades das empresas, que por sua vez, buscam maior variedade e rapidez de produção para atender ao cliente, que se torna cada vez mais exigente. As empresas estão se reorganizando para atender as necessidades atuais de aumento de produtividade, flexibilidade e redução de custos. Surgiu então a importância de os equipamentos se adequarem rapidamente às alterações de configurações necessárias para produzirem diversos modelos de produtos, com pequenas alterações entre si. Por outro lado com a finalidade de implementar alterações nas máquinas e equipamentos, de forma a resguardar a mão-de-obra de algumas funções inadequadas à estrutura física do homem e garantir o controle do sistema de produção, foram colocados sensores nas máquinas para monitorar e indicar as condições do processo. O controle só é garantido com o acionamento de atuadores a partir do processamento das informações coletadas pelos sensores (SEVERO,2000).

2.1 Transdutores, Sensores e Atuadores

2.1.1 Transdutores e Sensores

A tecnologia de sensores diz respeito a duas atividades que retroage à civilização dos antigos egípcios: medição e processamento de informação. No antigo Egito só foi possível organizar a agricultura e a necessária irrigação das terras, quando as pessoas desenvolveram a habilidade de medir áreas das terras e o volume das águas. Mais tarde os egípcios desenvolveram a habilidade de processar os números produzidos pela medição, isto é, a matemática que trouxe a tona novas dimensões para a forma de explorar os números.

Transdutores ou sensores representam a componente sensorial dos sistemas de medição, que pertencem a um campo tecnológico mais amplo chamado instrumentação. A medição é o processo de associar números a entidades e eventos no mundo real. É muito difícil separar os dois, pois interagem praticamente da

mesma forma com o processo. O transdutor é um dispositivo que converte uma forma de energia associada a algum tipo de grandeza física tais como força, pressão, temperatura, em uma outra forma com a finalidade de facilitar a análise daquela variável.

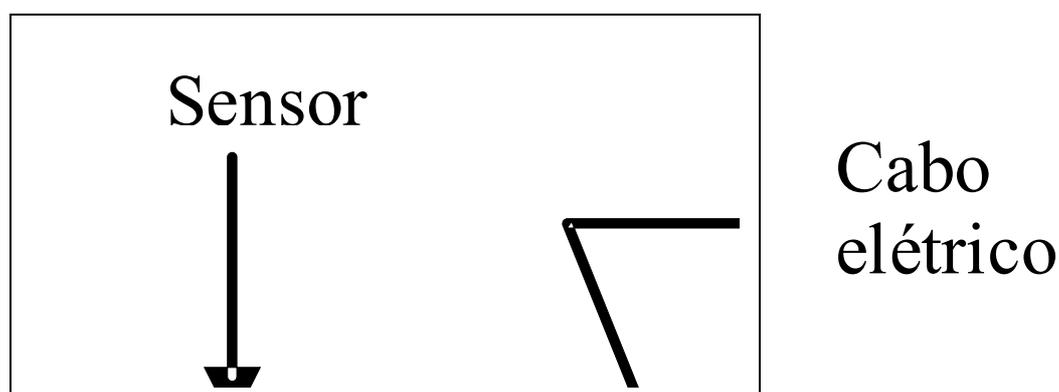


Figura 1 - Sistema onde o transdutor é parte integral do Sensor

Na figura 1 o sensor responde a alguma quantidade física tal como calor, por exemplo e esta resposta é acoplada a um transdutor compatível que converte o sinal do sensor em um sinal elétrico. O sinal elétrico é transmitido via cabo para o controle e depois também por intermédio de cabo elétrico o sinal de controle vai ao atuador.

Um sensor é um dispositivo que detecta uma condição de mudança, um estímulo físico (calor, luz, som, pressão, campo magnético, movimento) e transmite um impulso (mensurável ou operante) correspondente. A condição de mudança faz os sensores se dividirem em dois tipos digitais ou analógicos.

Alguns sensores respondem com sinal elétrico a um estímulo. Nesse caso, podem ser chamados de transdutores. O transdutor converte um tipo de energia em outro. É geralmente composto por um elemento sensor e uma parte que converte a energia proveniente dele em sinal elétrico. O conjunto formado por um transdutor, um condicionador de sinal (amplificador) e um indicador é chamado de sistema de medição.

Sensores Digitais: Um sensor digital tem dois estados: ligado ou desligado. A maioria de aplicações envolvem monitorar a presença/ausência de um objeto ou material e procedimentos de contagem, o que um sensor digital faz de maneira

perfeita e barata (detecção discreta). Exemplos: botão, fluxostato, pressostato, chave, termostato, chaves (ou micro-switch) fim de curso, sensores de proximidade indutivos ou capacitivos, controle de nível (bóia) e o encoder que será utilizado no controle de velocidade, um dos estudos de caso que será abordado posteriormente.

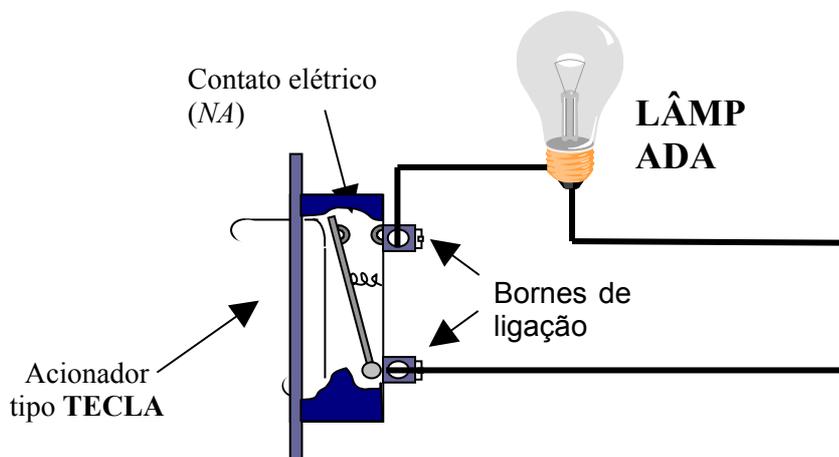


Figura 2 - Sensor digital tipo Tecla

Sensores Analógicos: também chamados de sensores de saída linear, são mais complexos do que os digitais, mas podem fornecer muito mais informação sobre um processo. Uma quantidade mensurável como uma mudança na distância, tamanho ou cor (detecção analógica). Exemplos: sensores de pressão manométrica, sensores de pressão mecânica (strain gauges - utilizados em células de carga), taco-geradores para medição rotação de eixos, transmissores de umidade relativa e transmissores de temperatura que será usado no sistema térmico, outro estudo de caso que será abordado posteriormente.

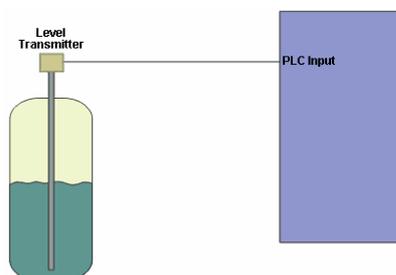


Figura 3 - Sensor analógico de nível

Uma informação importante a respeito das entradas analógicas é a sua resolução. Esta é normalmente medida em Bits. Uma entrada analógica com um maior número de bits permite uma melhor representação da grandeza analógica. Por exemplo: Uma placa de entrada analógica de 0 á 10 VCC com uma resolução de 8 bits permite uma sensibilidade de 39,2 mV, enquanto que a mesma faixa em uma entrada de 12 bits permite uma sensibilidade de 2,4 mV e uma de 16 bits permite uma sensibilidade de 0,2 mV.

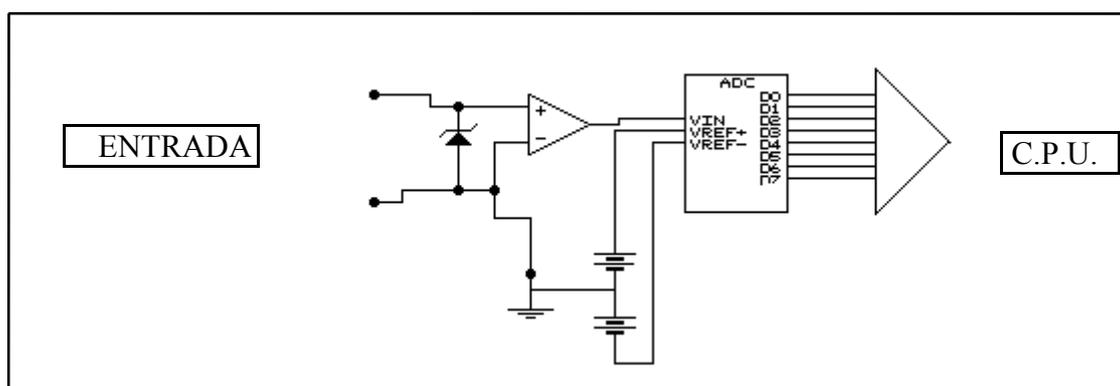


Figura 4 - Exemplo de interface de entrada analógico

2.1.2 Atuadores

Atuadores ou Dispositivos de saída são elementos de campo usados para executar as instruções, são como mãos do controle que geralmente tem capacidade para ativar uma grande variedade de elementos que atuarão sobre uma planta industrial. Também se dividem em dois tipos devido a condição de atuação.

Atuadores digitais: São saídas que admitem apenas dois estados : ligado e desligado. Podemos com elas controlar dispositivos do tipo: reles, contatores, reles de estado-sólido, solenóides, válvulas on-off.

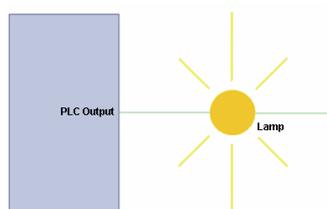


Figura 5 - Atuador digital

Atuadores analógicos: São saídas analógicas, que convertem valores numéricos em sinais de saída de tensões ou correntes. No caso de tensão normalmente 0 a 10 Vcc ou 0 a 5 Vcc, e no caso de corrente de 0 a 20 mA ou 4 a 20 mA. Estes sinais são utilizados para controlar dispositivos atuadores do tipo: válvulas proporcionais, motores c.c., servo - motores c.c., inversores de frequência, posicionadores rotativos.

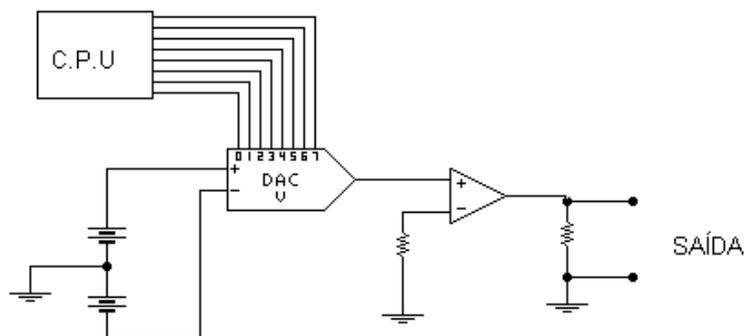


Figura 6 - Exemplo de interface de saída analógica

2.2 Controladores

Entende-se por controlador o dispositivo, que pode ser eletrônico, mecânico, ou combinação de ambos, que tem por objetivo controlar um sistema. Em geral, ele é conectado na entrada da planta, e ele é responsável por gerar o sinal de excitação $u(t)$ (seja qual for a grandeza física desse sinal) que vai produzir a resposta $y(t)$ desejada pelas especificações técnicas. Geralmente ele tem uma entrada chamada de sinal de referência $r(t)$. Essa referência, que é uma função do tempo e que também pode ser qualquer grandeza física, tem por objetivo indicar ao controlador como é a resposta $y(t)$ desejada da planta. Assim, o objetivo do controlador, idealmente, é gerar uma excitação $u(t)$ tal que a resposta da planta $y(t)$ seja igual a essa referência $r(t)$.

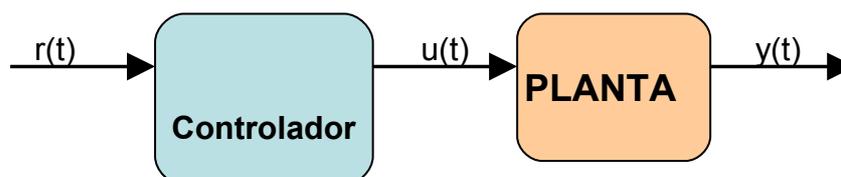


Figura 7 - Diagrama de blocos de malha fechada

Dentro do universo industrial há vários tipos de controladores para vários tipos de aplicações, desde o mais simples do tipo ON-OFF, controles de malha aberta e malha fechada, controladores clássicos como o PID e até controles mais novos utilizando sistemas nebulosos. Nesta parte da dissertação explicaremos o funcionamento dos controladores PID e sistemas nebulosos.

2.2.1 Controle de malha Aberta

É aquele em que se planeja o resultado desejado e se age sobre a variável, sendo esta ação de controle independente do resultado final da ação. Exemplo: ao jogar uma bola na pista de boliche, primeiro planejamos derrubar todos os pinos, depois miramos e fazemos o arremesso. Uma vez arremessada a bola (saída do sistema), não temos mais controle da direção da bola. Podemos até ver que ela está se desviando, mas não temos mais ação sobre ela. A ação de controle se desenvolve ao planejarmos e mirarmos, até largarmos a bola. Qualquer perturbação no caminho ou desvio na hora do lançamento afeta o resultado, mas não podemos corrigi-lo (CASTRUCCI, 2002).

2.2.2 Controle de malha Fechada

É aquele em que a ação de controle depende não só do resultado planejado, mas também da saída real do sistema. Este sistema implica na existência de uma realimentação da saída do sistema para a entrada, com o valor que efetivamente está saindo do sistema influenciando a ação de controle. Num controle em malha fechada o controlador compara o valor desejado da variável com o valor realmente encontrado no processo e ajusta a ação de controle de forma correspondente. A realimentação é o processo de jogar uma amostra da saída de volta na entrada para que possa haver a comparação com o valor desejado (CASTRUCCI, 2002). Para que haja uma malha fechada é necessário que o sistema de controle contenha as seguintes partes:

- Sensor - para medir a variável a ser controlada

- Controlador – faz o cálculo do erro entre o valor desejado e o valor efetivo,
- Atuador – dispositivo que age no processo causando alteração na variável.

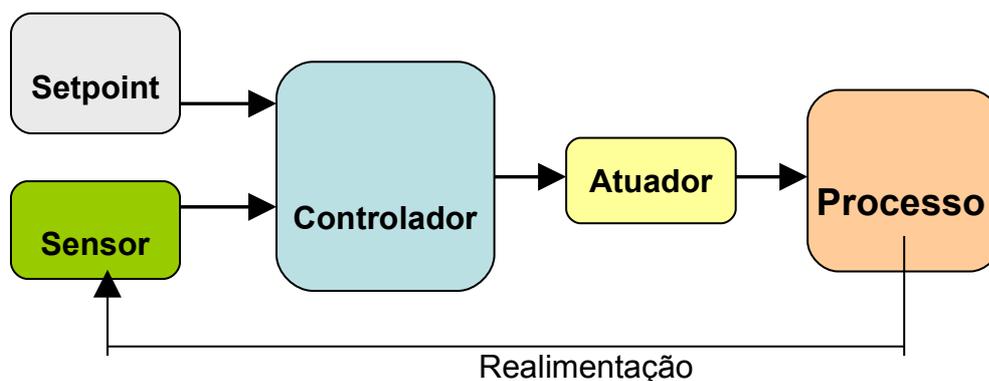


Figura 8 - Diagrama de blocos de malha fechada

Podemos perceber a existência de um caminho fechado entre o controlador

2.2.3 Controlador PID

O controle Proporcional-Integral-Derivativo (PID) é ainda hoje predominante no meio industrial. Mais que 90% de todas as malhas existentes são do tipo PI / PID atingindo uma larga faixa de aplicações: controle de processos, drivers para motores, indústria automobilística, controladores de voo, pilotos automáticos, instrumentação, entre outros (ÅSTROM E HAGGLUND, 2001). Além disso, com a migração da tecnologia pneumática e elétrica para digital, o controlador PID se apresenta no mercado sob diversas formas e produtos como, por exemplo, os controladores *single-loop standard*, os componentes de software em controladores lógicos programáveis (CLP) e em sistemas digitais de controle distribuído (SDCD), os controladores embarcados em robôs e veículos autônomos, cd-players, etc.

A técnica de controle PID consiste em calcular um valor de atuação sobre o processo a partir das informações do valor desejado e do valor atual da variável. Este valor de atuação sobre o processo é transformado em um sinal adequado ao atuador utilizado (válvula, motor, relé) e deve garantir um controle estável e preciso.

Basicamente, o PID é um algoritmo de controle composto de 3 (três) ações, conforme resume o quadro a seguir:

PV (Process Variable): variável de processo, variável de entrada que é controlada no processo, como exemplo, temperatura, pressão, nível etc.

SV (set-variable) ou **SP** (set-point): valor desejado para a variável de processo.

MV (Variável Manipulada): variável de saída sobre a qual o controlador atua para controlar o processo, como exemplo, a posição de uma válvula, tensão aplicada a uma resistência de aquecimento etc.

Tabela 1 – Descrição de parâmetros do PID

P	Correção proporcional ao erro	A correção a ser aplicada ao processo cresce na proporção do erro entre o valor real e o desejado
I	Correção proporcional ao produto erro x tempo	Erros pequenos, mas que existem há muito tempo requerem correção mais intensa
D	Correção proporcional à taxa de variação do erro	Se o erro está variando muito rápido, esta taxa de variação deve ser reduzida para evitar oscilações.

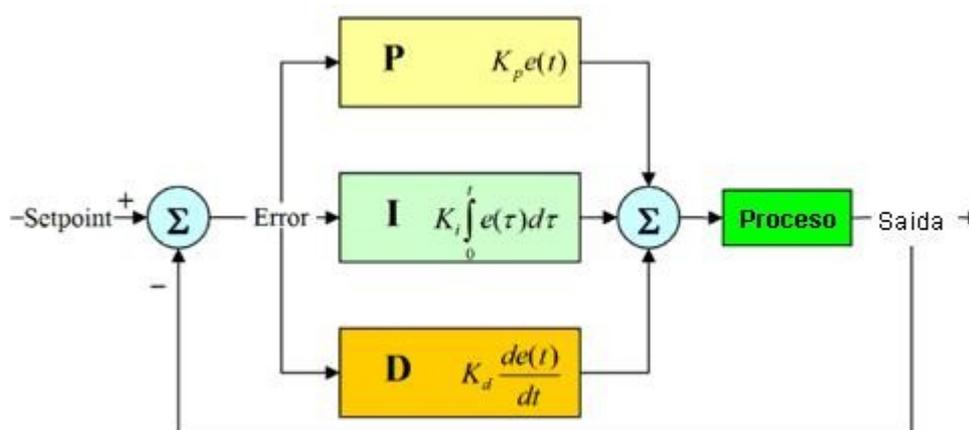


Figura 9 - Diagrama de blocos controle PID

A equação mais usual do PID é apresentada a seguir:

$$MV(t) = K_p * \left[e(t) + K_i * \int e(t)dt + K_d * \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

Onde K_p , K_i e K_d são os ganhos das parcelas P, I e D, e definem a intensidade de cada ação, sobre o sinal do erro da entrada $e(t)$.

Equipamentos PID de diferentes fabricantes implementam esta equação de diferentes maneiras. É usual a adoção do conceito de “Banda Proporcional” em substituição a K_p , “Tempo Derivativo” em substituição a K_d e “Tempo Integral” ou “Reset” em substituição a K_i , ficando a equação:

$$MV(t) = \frac{100}{P_b} * \left[e(t) + I_r * \int e(t)dt + D_t * \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (2)$$

Onde P_b , I_r e D_t estão relacionados a K_p , K_i e K_d e serão individualmente abordados em seguida.

O controlador Proporcional, Integral e Derivativo (PID) gera a sua saída proporcionalmente ao erro, à integral do erro e à derivada do erro. Em outras palavras, alia o controle básico Proporcional com a ação de eliminação do erro em regime permanente do Integral e à redução de oscilações (principalmente em processos lentos) da ação derivativa.

Na equação 3, corresponde à implementação do algoritmo de posição do controlador PID paralelo clássico, onde o ganho proporcional também multiplica o termo integral e o termo derivativo:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p * \frac{1}{T_i} * \int e(t)dt + K_p * T_D * \frac{de(t)}{dt} + u_0 \quad (3)$$

Onde u_0 é o valor inicial.

Para ilustrar melhor este método de controle em malha fechada, buscamos um exemplo no Simulink do Matlab, onde o PID controla a planta que tem a seguinte função de transferência:

$$\frac{u(s)}{y(s)} = \frac{s+5}{2s^3 + 5s^2 + 3s + 1} \quad (4)$$

No diagrama de blocos do Simulink podemos verificar as ligações, a realimentação como mostra a figura 10.

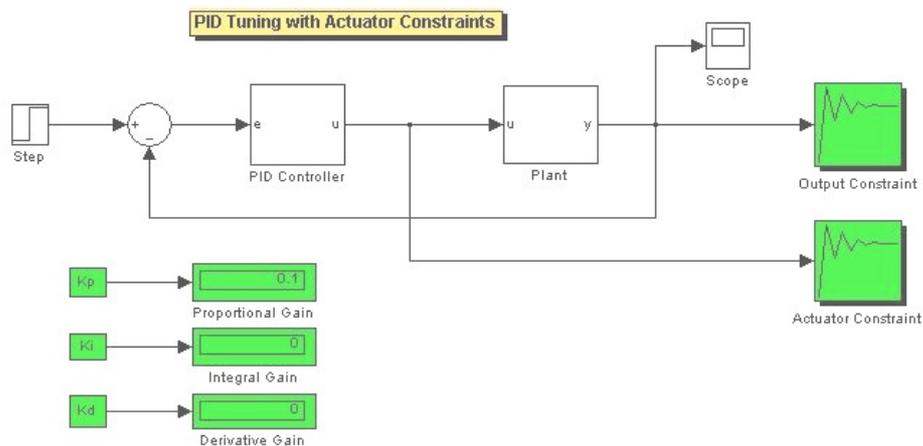


Figura 10 - Diagrama de ligações Simulink

Analisando gráfico da figura 11, podemos observar que a resposta ao degrau inserido ao sistema de controle teve sua estabilidade atingida em um tempo de aproximadamente 10 segundos.

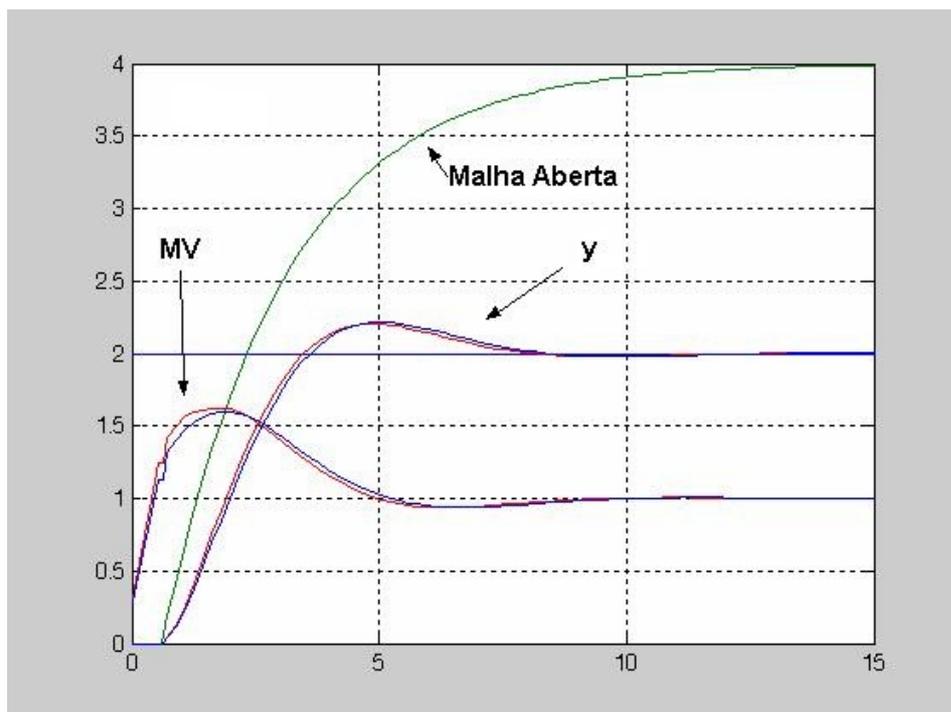


Figura 11 - Gráfico de resposta ao degrau

Onde MV é o sinal de entrada na planta, y o sinal de saída da planta para a realimentação e o gráfico também mostra a resposta da planta sem realimentação.

Controle Proporcional

No controle proporcional o valor de MV é proporcional ao valor do desvio ($SP - PV$, para ação reversa de controle), ou seja, para desvio zero ($SP = PV$), $MV = 0$; a medida que o desvio cresce, MV aumenta até o máximo de 100%. O valor de desvio que provoca $MV = 100\%$ define a Banda Proporcional (Pb). Com Pb alta, a saída MV só irá assumir um valor alto para corrigir o processo se o desvio for alto. Com Pb baixa, a saída MV assume valores altos de correção para o processo mesmo para pequenos desvios. Em resumo, quanto menor o valor de Pb , mais forte é a ação proporcional.

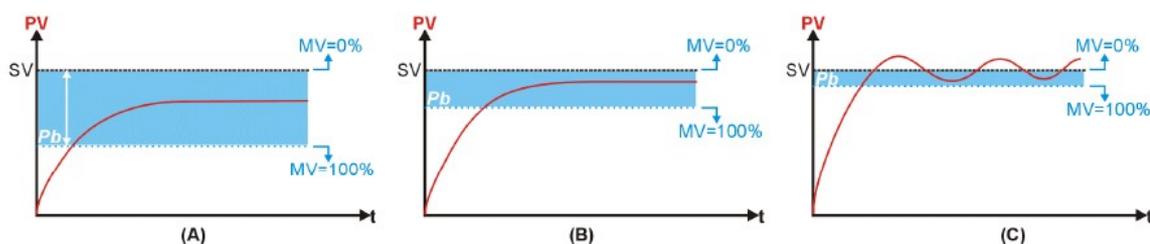


Figura 12 - Efeito da redução de PB no comportamento de PV

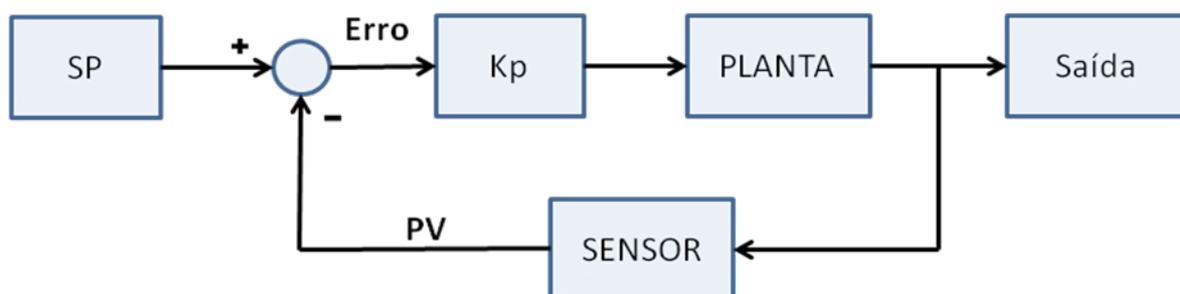


Figura 13 - Diagrama de controle proporcional

Com a banda proporcional grande, o processo pode estabilizar, porém com erro muito elevado. Com a diminuição da banda proporcional, a estabilização ocorre com a PV mais próximo do set-point, mas uma redução excessiva da banda proporcional pode levar o processo à instabilidade (oscilação). O ajuste da banda proporcional faz parte do processo de sintonia do controle.

Quando a condição desejada ($PV=SP$) é atingida, o termo proporcional resulta em $MV=0$, ou seja, nenhuma energia é entregue ao processo, o que faz com que eventualmente volte a surgir desvio. Um sistema controlador calcula o erro para corrigir a variável de processo. Porém em regime permanente, quando o processo está estável e com erro nulo, é necessário um valor de MV para que o sistema opere.

Dessa forma, o valor de MV deve ser calculado constantemente de modo que:

$$MV(t_i + 1) = MV(t_i) + [\text{Ação P + I + D}] \quad (5)$$

Se a ação de controle é nula, em regime permanente, há um valor de $MV \neq 0$ que permite a operação do sistema.

Na equação 6, equação do algoritmo de posição do controlador P, isto é, onde a saída “ $u(t)$ ” define realmente a posição, por exemplo, de uma válvula, entre 0%(fechada) e 100%(aberta) :

$$u(t) = K_p * e(t) + u_0 \quad , \text{ onde } u_0 \text{ é o valor inicial} \quad (6)$$

O “Valor inicial” é a posição da saída do controlador no momento em que ele foi colocado em automático. Como atualmente a maioria dos controladores são digitais, utiliza-se normalmente a implementação do algoritmo em velocidade, que apresenta a vantagem de não necessitar da definição de um valor inicial. Este algoritmo de controle calcula sempre a variação da sua saída a partir do ponto atual, portanto, a saída do algoritmo é somada à posição atual para definir a nova posição.

$$\Delta u(t) = K_p * \Delta e(t) \quad (7)$$

$$\Delta u(t) = u(t) - u(t-1) \quad (8)$$

$$u(t) = K_p * \xi(t) \quad (9)$$

2.2.3.2 Controle Proporcional-Integral

O integral não é, isoladamente, uma técnica de controle, pois não pode ser empregado separado de uma ação proporcional. A ação integral consiste em uma resposta na saída do controlador (MV) que é proporcional à amplitude e duração do desvio. A ação integral tem o efeito de eliminar o desvio em regime permanente, característico de um controle puramente proporcional.

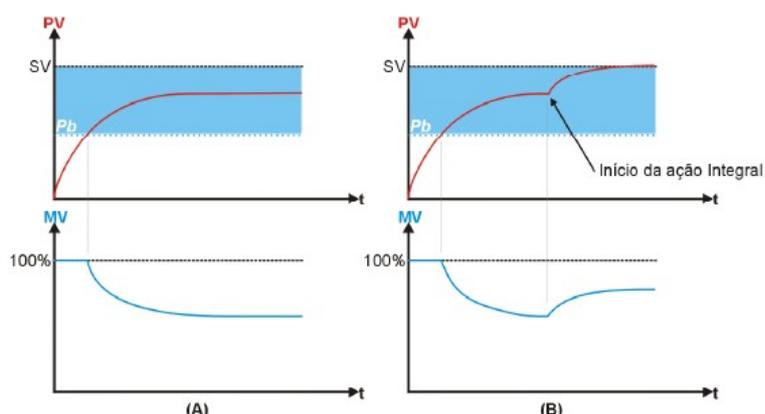


Figura 14 - Efeito da inclusão do controle integral PI

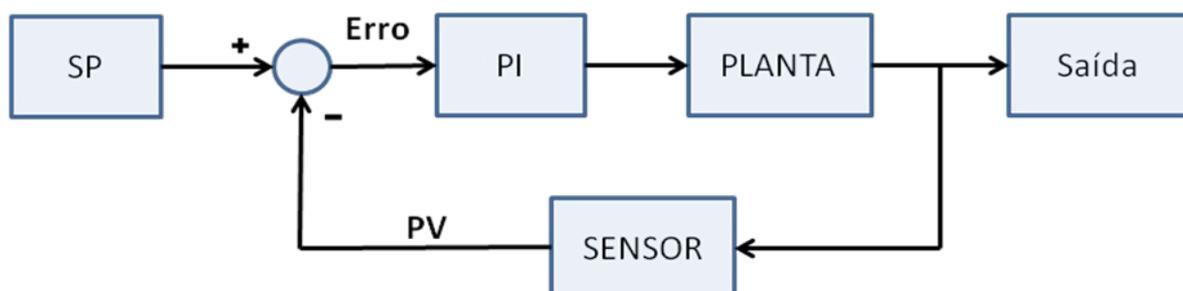


Figura 15 - Diagrama de controle proporcional integral

Na figura 14A, PV e MV atingem uma condição de equilíbrio em que a quantidade de energia entregue ao sistema (MV), é necessária para manter PV no valor em que ela está. O processo irá permanecer estável nesta condição se nenhuma perturbação ocorrer. Apesar de estável, o processo não atingiu o set-point (SP), existindo o chamado Erro em Regime Permanente.

Na figura 14B, onde no instante assinalado, foi incluída a ação integral. A gradual elevação do valor de MV tem como consequência a eliminação do erro em regime permanente. Com a inclusão da ação integral, o valor de MV é alterado progressivamente no sentido de eliminar o erro de PV, até que PV e MV alcancem um novo equilíbrio, mas agora com $PV=SP$.

A ação integral funciona da seguinte maneira: a intervalos regulares, a ação integral corrige o valor de MV, somando a este valor proporcional ao desvio $SP-PV$. Esta proporção de atuação é inversamente proporcional ao Tempo Integral, que

também pode ser expresso por seu inverso, chamado Taxa Integral (I_r). O aumento da Taxa Integral - I_r - aumenta a atuação da ação Integral no controle do processo. A ação integral tem como único objetivo eliminar o erro em regime permanente, e a adoção de um termo integral excessivamente atuante pode levar o processo à instabilidade. A adoção de um integral pouco atuante retarda em demasia a estabilização PV=SP.

A equação 10 do algoritmo de posição do controlador PI paralelo clássico, cujo ganho proporcional também multiplica o termo integral:

$$u(t) = K_p * e(t) + K_p * \frac{1}{T_I} * \int e(t) dt + u \quad (10)$$

A ação integral irá aumentar ou diminuir a saída do controlador indefinidamente enquanto houver erro. Por não aceitar um erro em regime permanente, o controlador tenderá a saturar (abrir ou fechar totalmente uma válvula na saída do controlador) buscando a eliminação do erro. Contudo, o uso do algoritmo em velocidade, além da vantagem de não precisar de um valor de inicialização, também permite eliminar a saturação do termo integral (“reset windup”) de uma maneira simples, isto é, como este algoritmo calcula a variação desejada para a saída do controlador, que é somada à posição atual, basta limitar o resultado desta soma para se eliminar o problema da saturação.

Abaixo, a equação do algoritmo PI paralelo alternativo, onde o ganho proporcional não afeta o termo integral:

$$\Delta u(t) = K_p * \Delta e(t) + \frac{1}{T_I} * e(t) * TA \quad (11)$$

onde “ TA ” é o período de amostragem.

O tipo de implementação do algoritmo PI é importante, já que influencia a sintonia do controlador.

2.2.3.3 Controle Proporcional-Derivativo

Assim como o termo integral, o derivativo não é, isoladamente, uma técnica de controle, pois não pode ser empregado sem o auxílio da ação proporcional. A ação derivativa consiste em uma resposta na saída do controlador (MV) que é proporcional à velocidade de variação do desvio. A ação derivativa tem o efeito de

reduzir a velocidade das variações de PV, evitando que se eleve ou reduza muito rapidamente.

O derivativo só atua quando há variação no erro. Se o processo está estável, seu efeito é nulo. Durante perturbações ou na partida do processo, quando o erro está variando, o derivativo sempre atua no sentido de atenuar as variações, sendo, portanto sua principal função melhorar o desempenho do processo durante os transitórios.

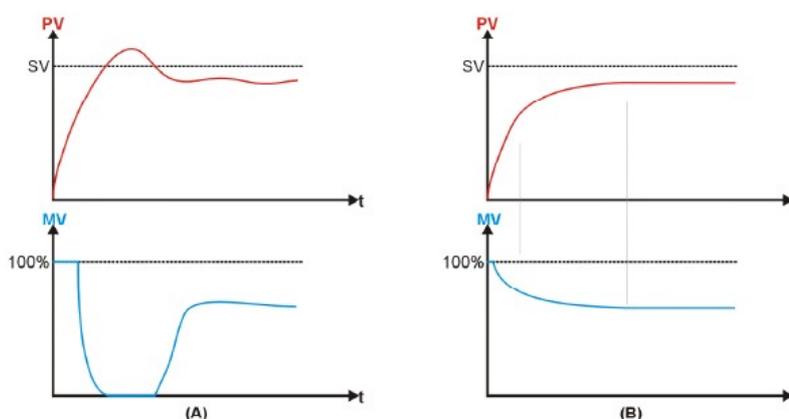


Figura 16 - Comparação de um controle P com um controle PD

Na comparação hipotética feita acima entre um processo com controle Proporcional e outro com controle Proporcional-Derivativo, observa-se que no controle Proporcional na figura 16A, se a banda proporcional é pequena, é bem provável que ocorra “*overshoot*”, onde PV ultrapassa SP antes de estabilizar. Isto ocorre pelo longo tempo em que MV esteve no seu valor máximo e por ter sua redução iniciada num momento muito próximo de SP, quando já é tarde para impedir o *overshoot*. Uma solução seria aumentar a banda proporcional, mas isto aumentaria o erro em regime permanente. Outra solução é incluir o controle derivativo na figura 16B, que reduz o valor de MV se PV está crescendo muito rápido. Ao antecipar a variação de PV, a ação derivativa reduz ou elimina o *overshoot* e as oscilações no período transitório do processo.

Matematicamente, a contribuição do derivativo no controle é calculada da seguinte maneira: a intervalos regulares, o controlador calcula a variação do desvio do processo, somando à MV o valor desta variação. Se PV está aumentando, o

desvio está reduzindo, resultando em uma variação negativa, que reduz o valor de MV e conseqüentemente retarda a elevação de PV. A intensidade da ação derivativa é ajustada variando-se o intervalo de cálculo da diferença, sendo este parâmetro chamado Tempo Derivativo - Dt . O aumento do valor de Dt aumenta a ação derivativa, reduzindo a velocidade de variação de PV.

2.2.4 Controlador FUZZY

Aristóteles, filósofo grego (384 - 322 a.C.), foi o fundador da ciência da lógica, e estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. O emprego da lógica de Aristóteles levava a uma linha de raciocínio lógico baseado em premissas e conclusões. Como um exemplo: se é observado que "todo ser vivo é mortal" (premissa 1), a seguir é constatado que "João é um ser vivo" (premissa 2), como conclusão temos que "João é mortal". Desde então, a lógica Ocidental, assim chamada, tem sido binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. A lógica fuzzy viola estas suposições (TARIG, 2001).

Em 1965, com uma publicação de **Lotfi A. Zadeh** surgiu uma nova teoria de conjuntos. Professor da Universidade da Califórnia, Berkeley, considerado um grande colaborador do controle moderno, Zadeh criou uma teoria de conjuntos em que não há descontinuidades, ou seja, não há uma distinção abrupta entre elementos pertencentes e não pertencentes a um conjunto, são os **Conjuntos Nebulosos** (*Fuzzy Sets*). Começava aí a se desenvolver a Teoria *Fuzzy* (Nebulosa), para tratar de variáveis "imprecisas", ou definidas de forma "vaga".

Zadeh percebeu que a modelagem de muitas atividades relacionadas a problemas industriais, biológicos ou químicos seria complexa demais se implementada da forma convencional. Os sistemas *fuzzy* foram utilizados, com sucesso, em algumas aplicações que se tornaram exemplos clássicos. Destaca-se a primeira aplicação que se tornou pública:

Em 1974 o professor Mamdani, do *Queen Mary College*, da Universidade de Londres, implementou um controle de uma máquina a vapor, baseado em lógica

fuzzy. Até então, não se tinha conseguido automatizar essas máquinas com outras técnicas de controle, nem mesmo com algoritmo PID.

2.2.4.1 Conceitos Fuzzy

A teoria de conjuntos Fuzzy tem sido empregada com sucesso para exprimir conhecimento impreciso e resolver problemas em muitas áreas onde o modelamento convencional é difícil, ineficiente ou muito oneroso. A possibilidade de descrição linguística do modelo, ao invés de utilização das equações diferenciais, possibilita o aproveitamento do conhecimento heurístico dos operadores e facilita o desenvolvimento de soluções. A estrutura de universo de discurso, variáveis linguísticas, fuzzificação, banco de regras, máquina de inferência e sistema de defuzzificação proposta por Mamdani (MAMDANI, 1974), quando bem assimilada, é uma arma poderosa de simplificação e aumento da velocidade de processamento e robustez do controlador, possibilitando decisões rápidas e coerentes num ambiente de incertezas.

Um sistema de controle em si é uma construção matemática que tem como objetivo principal a substituição do ser humano na realização das atividades de controle e, portanto, no processo de tomada de decisão. A modelagem de sistemas de controle com base em ferramentas matemáticas tradicionais, no entanto, não é adequada para o tratamento de sistemas que possuem informações imprecisas ou incertas.

Diante deste problema, os controladores *fuzzy* merecem destaque, já que utilizam-se de regras lógicas no algoritmo de controle, com a intenção de descrever em uma rotina a experiência acumulada, a intuição e a heurística para controlar um determinado processo (ZADEH, 1965). Além disso, são robustos e de grande adaptabilidade, incorporando conhecimento que outros sistemas nem sempre conseguem acomodar. Também são versáteis, principalmente quando o modelo físico é complexo e de difícil representação matemática. Nesses controladores, os conjuntos de regras expressam de forma qualitativa a experiência dos operadores especialistas e também o conhecimento das estratégias de controle.

Segundo Lee (1990), a estrutura básica de um controlador lógico *fuzzy* possui quatro componentes principais, Base de conhecimentos, Fuzzificação, Inferência e Defuzzificação, conforme ilustrado na Figura 17.

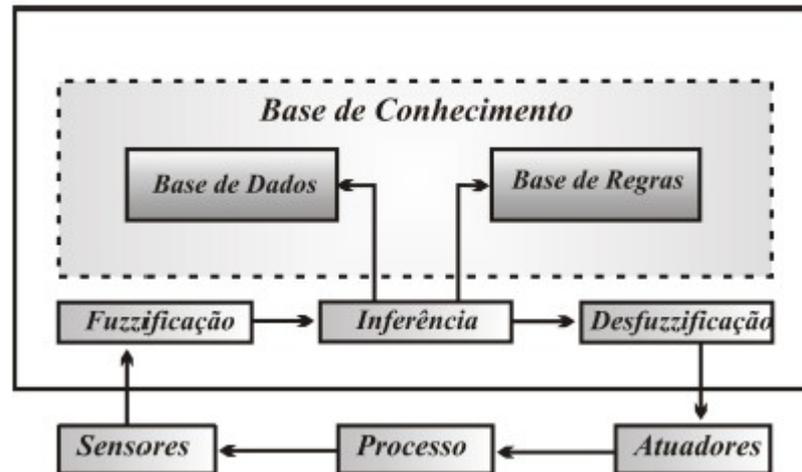


Figura 17 - Estrutura de um controlador *fuzzy*.

2.2.4.2 Base de Conhecimento:

A base de conhecimento abrange um conhecimento do domínio da aplicação e desempenha metas de controle. Além de constituir-se de uma base de dados e de uma base de regras.

- Base de dados: a base de dados fornece as definições necessárias para definir as regras linguísticas de controle.
- Base de regras: a base de regras caracteriza as metas de controle por meio de um conjunto de regras inferência.

2.2.4.3 Conjuntos Fuzzy:

Na teoria clássica dos conjuntos um elemento do universo X de discurso (domínio) pertencente ou não ao referido conjunto A , como por exemplo de pessoas altas, assume valores 0 ou 1 (Cox, 1994). Na teoria dos conjuntos fuzzy existe um grau de pertinência de cada elemento que pode assumir qualquer valor dentro do intervalo $[0,1]$. Isto pode ser expressa pela função (12).

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{se somente se } x \in A \\ 0 & \text{se somente se } x \notin A \end{cases} \quad (12)$$

A = Conjunto de pessoas altas

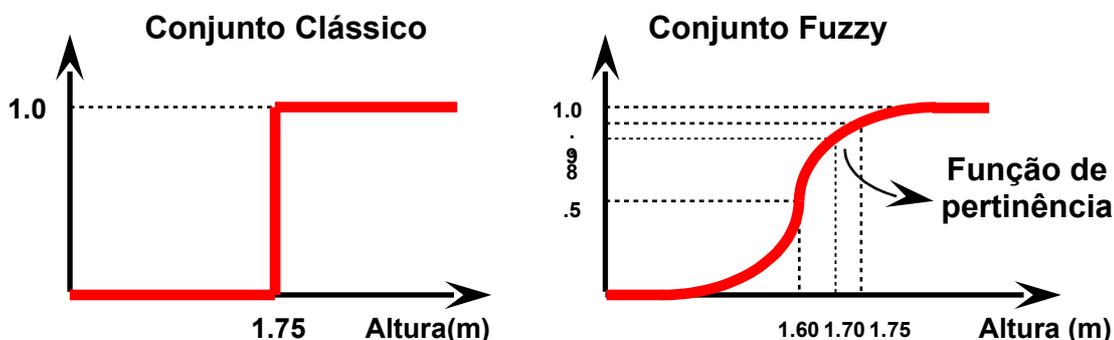
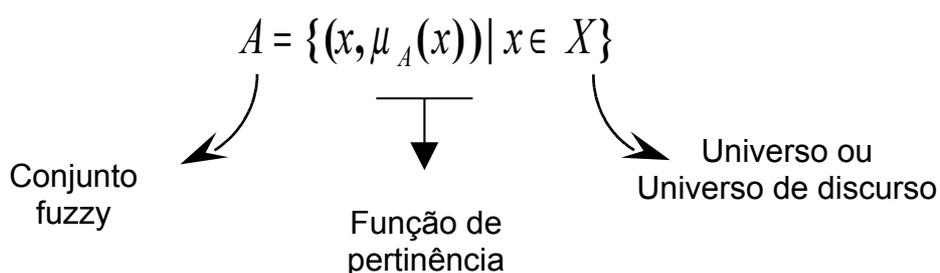


Figura 18 - Conjuntos *fuzzy*.

O valor 1 representa completa pertinência e o valor 0 indica uma completa exclusão. Essa generalização aumenta significativamente o poder de expressão da função característica, onde esta função, diz o grau de pertinência $\mu_a(x)$ de um elemento x pertencente a um universo X com respeito a um conjunto A , onde $A \subseteq U$. Quando $\mu_a(x)=0$, representa nenhuma pertinência e $\mu_a(x)=1$, representa pertinência total.



Conjuntos fuzzy podem ser definidos em universos contínuos ou discretos. Se o universo X for discreto e finito, o conjunto fuzzy A é normalmente representado por um vetor contendo os graus de pertinência no conjunto A dos elementos correspondentes de X ; por meio da seguinte notação (que não deve ser confundida com a soma algébrica):

$$\sum_{i=1}^n \mu_a \frac{(x_i)}{x_i} \quad (13)$$

Se o universo X for contínuo, emprega-se muitas vezes a seguinte notação (onde o símbolo de integral deve ser interpretado da mesma forma que o da soma no caso de um universo discreto):

$$\int_x \mu_a \frac{(x_i)}{x_i} \quad (14)$$

2.2.4.4 Função de Pertinência:

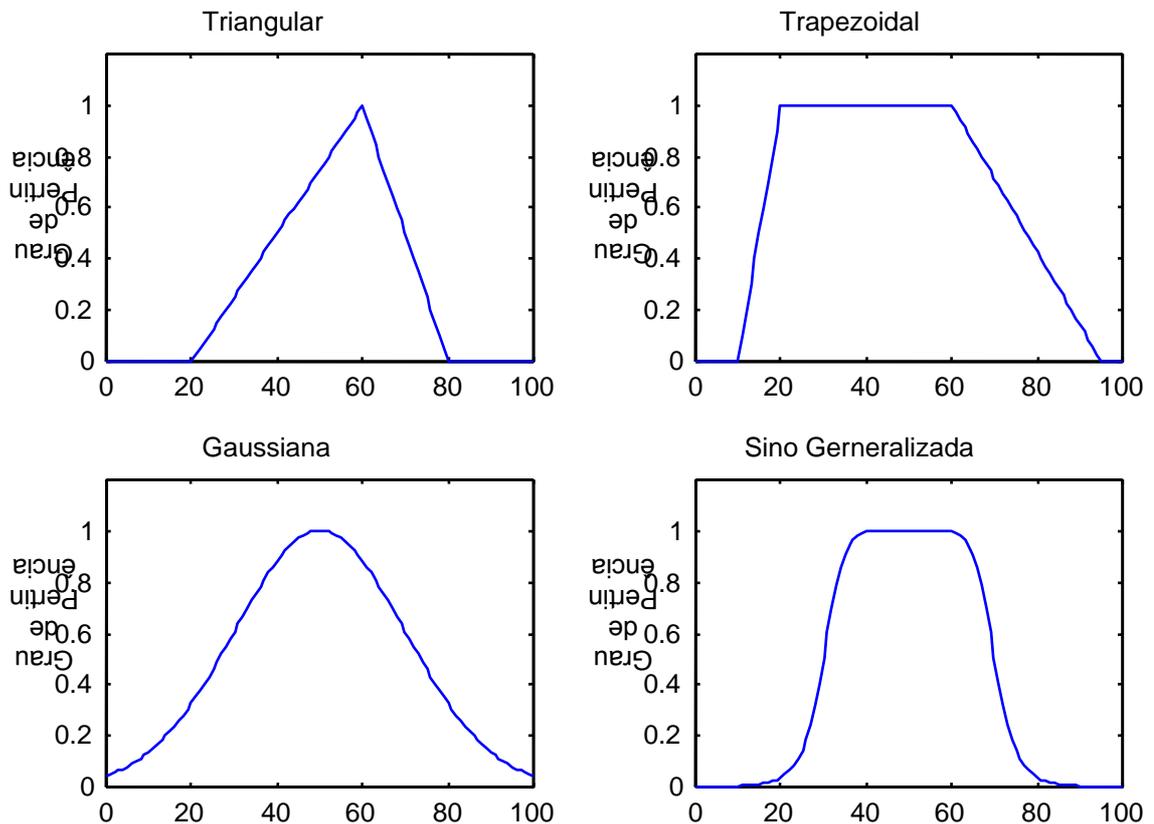


Figura 19 - Funções de pertinência.

As funções de transferência, elas representam uma função de mapeamento são funções não probabilísticas monotonicamente em parte crescente e parte decrescente. As funções de pertinência podem ter diferentes formas, dependendo do conceito que se deseja representar e do contexto em que serão utilizadas.

2.2.4.5 Variáveis Linguísticas:

Uma variável cujos valores são nomes de conjuntos fuzzy. Por exemplo, a *temperatura* de um determinado sistema térmico pode ser uma variável lingüística assumindo valores *baixa*, *média*, e *alta*. Estes valores são descritos por intermédio de conjuntos fuzzy, representados por funções de pertinência, conforme mostrado na figura 20.

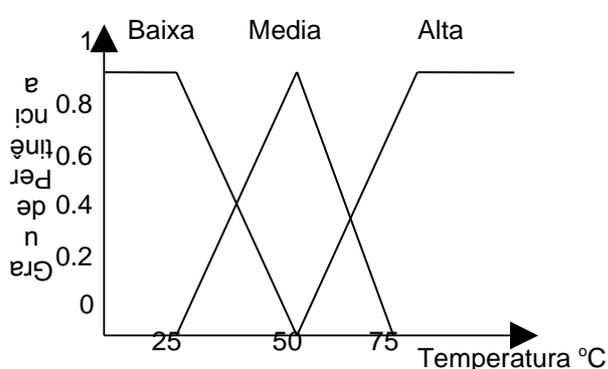


Figura 20 - Variáveis Linguísticas

2.2.4.6 Fuzzificação:

A fuzzificação tem a capacidade de medir valores das variáveis de entrada baseado no problema definindo as funções de pertinência assim criando as variáveis linguísticas dos antecedentes e por sua vez produz uma sequência de mapeamentos que transfere o universo dos valores das variáveis de entrada em universos de discurso correspondentes. Assim executando a função de *fuzzificação*, convertendo os dados de entrada em termos linguísticos apropriados, que podem ser vistos como rótulos dos conjuntos *fuzzy*.

2.2.4.7 Inferência:

Inferência é a essência de um controlador lógico *fuzzy*. Tem a capacidade de simular os processos de decisão humana baseados em conceitos *fuzzy* e de inferir ações de controle *fuzzy*, empregando implicações *fuzzy* e regras de inferência da lógica *fuzzy*. na qual um relacionamento entre as proposições dos antecedentes e consequentes foram definidas, gerando uma região resultante.

2.2.4.8 Modelos de Sistemas Fuzzy:

Existem diversos modelos de sistemas *fuzzy*, e na maioria dos casos a distinção se dá no consequente das regras. Dentre os modelos mais conhecidos podemos destacar o Modelo Mamdani e o Modelo Sugeno, os quais foram incorporados à ferramenta MatLab (MATHWORKS, 2006).

2.2.4.9 Modelo Mamdani

Proposto por Mamdani (MAMDANI,1974), este método de inferência utiliza conjuntos *fuzzy* nos antecedentes e nos consequentes. Sendo que, as regras utilizando este modelo podem ter a seguinte forma:

Se x é A e y é B então z é C

Sendo, A e B conjuntos *fuzzy* no antecedente, C um conjunto *fuzzy* no consequente, x e y variáveis linguística de entrada e z uma variável linguística de saída.

Neste modelo, o primeiro passo é determinar o grau com que as entradas pertencem a cada conjunto *fuzzy* via função de pertinência. Em seguida aplica-se o método de implicação cuja função é combinar os antecedentes, resultando em conjuntos *fuzzy* que representam a saída de cada regra. Tais conjuntos são combinados em um único conjunto *fuzzy* pelo método da agregação.

2.2.4.10 Modelo Takagi-Sugeno

O modelo fuzzy Takagi-Sugeno (TS) consiste em um sistema de inferência capaz de descrever, de forma exata ou aproximada, sistemas dinâmicos não-lineares por meio de um conjunto de sistemas dinâmicos lineares, localmente válidos, interpolados de forma suave, não-linear e convexa. Embora originalmente proposto por Takagi e Sugeno (1985), o modelo TS também é conhecido na literatura como modelo Takagi-Sugeno-Kang (TSK). Isto se deve aos trabalhos subsequentes de Sugeno e Kang (1986) relacionados a metodologias desenvolvidas para identificação desse tipo de modelo. Pela primazia histórica, adotar-se-á nesta dissertação a nomenclatura modelo TS.

Em termos de modelagem, sabe-se que os modelos TS tem a capacidade de aproximar uniformemente funções quaisquer em um domínio compacto. Em outras palavras, modelos TS tem a capacidade de aproximação universal.

Além disso, uma vantagem sobre outros modelos fuzzy é o fato dos conseqüentes serem sistemas dinâmicos, demandando uma menor quantidade de regras Se-Então, o que facilita substancialmente a tarefa de identificação de modelos (JOHANSEN et AL., 2000). Sob o ponto de vista de controle, modelos TS permitem conciliar técnicas de controle não-linear e, ao mesmo tempo, estender de forma rigorosa resultados da teoria de controle de sistemas lineares (TEIXEIRA e ASSUNÇÃO, 2007).

2.2.4.11 Interface de *Desfuzzificação*

É uma sequência de mapeamentos que converte o universo de valores das variáveis de saída em universos de discurso correspondentes e produz uma ação de controle não-fuzzy a partir de uma ação de controle fuzzy inferida. Dentre os métodos de *desfuzzificação* mais utilizados podemos destacar:

- Método do Centro da Área (COA);
- Método da Média dos Máximos (MOM);
- Primeiro Máximo (SOM).

O primeiro Processo de Método do Centro de Área de defuzzificação é o mais comum que faz parte do método de Mamdani é semelhante a média aritmética para uma distribuição de dados, com a diferença que os peso, para uma visualização

desta metodologia, podemos acompanhar graficamente o método de Mamdani segundo o esquema das figuras 21 e 22:

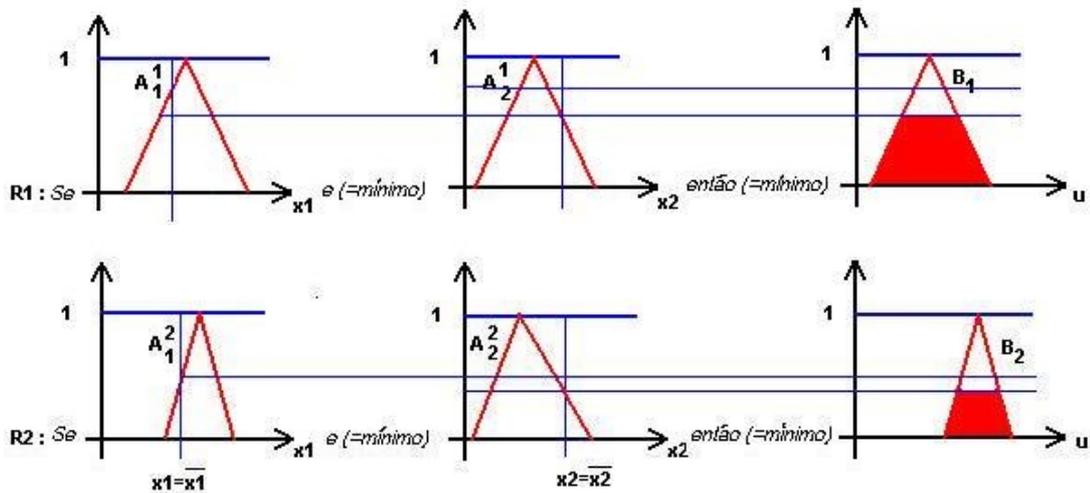


Figura 21 - Representação esquemática do método de Mamdani

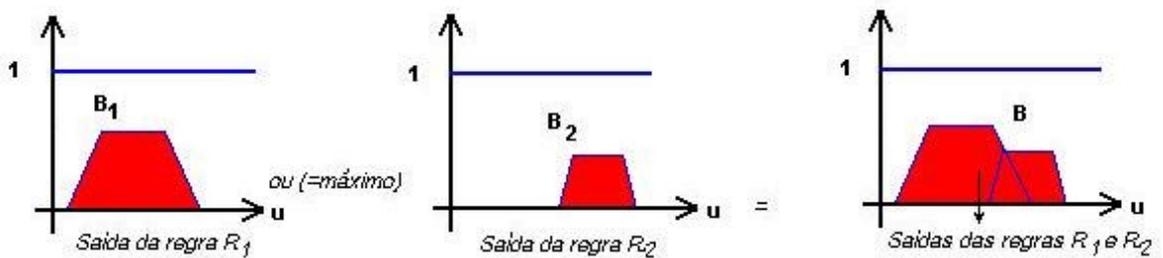


Figura 22 - Representação da saída final do método de Mamdani

Pode ser visto, através do exemplo acima, que a saída do controlador *fuzzy*, dada pelo método de inferência de Mamdani, é um conjunto. Este fato é que sugere a defuzzificação do conjunto *fuzzy* de saída para se obter um valor que o represente.

3 MODELOS EXPERIMENTAIS SUGERIDOS

Modelos são abstrações da realidade, nas quais informações desnecessárias para a análise em questão são desprezadas e aspectos relevantes são descritos. Modelos descrevem a estrutura e comportamento de sistemas reais, podendo ser usados no lugar das plantas reais em diferentes propósitos. Nas Universidades para agilizar e diminuir a quantidade de protótipos a serem construídos, simuladores são empregados de forma a reduzir custos e otimizar o tempo despendido. Desta forma para realizar uma simulação ou um experimento, é necessário construir um modelo computacional que responda a situação real que deseja simular como na situação mostrado na figura 23.

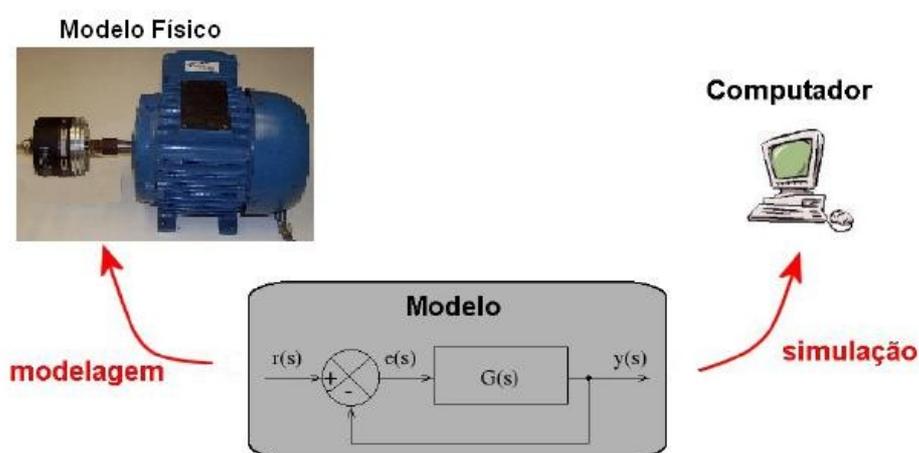


Figura 23 - Relação entre Modelo, Simulação e Experimento

Neste capítulo, baseado nos resultados das entrevistas, alguns modelos experimentais foram sugeridos visando facilitar o entendimento dos conteúdos das disciplinas de controle e automação sedimentando estes conceitos teóricos. Para algumas experiências realizadas utilizando processos tradicionais de controle foi sugerida a inserção de técnicas usando sistemas nebulosos. Esta tarefa atualmente torna-se bastante fácil de ser simulada, pois nos softwares utilizados nesta pesquisa, MATLAB e LABVIEW estão residentes.

3.1 Sistema Térmico

Um controlador de sistema térmico tem como objetivo manter a temperatura de um determinado modelo estável a partir de um ponto de referência (set-point), que pode ser fixo ou variável. Este controle de malha fechada (realimentação) se efetiva utilizando um elemento sensor de temperatura para leitura do sinal analógico de entrada e um aquecedor/resfriador como elementos de saídas.

O sistema é representado pelo diagrama de blocos na figura 24.

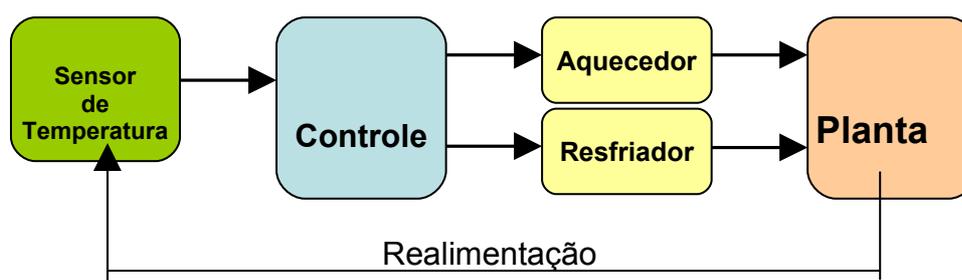


Figura 24 - Diagrama de blocos do sistema de controle

A fim de tornar o sistema mais preciso e de fazer com que ele reaja a perturbações externas, o sinal de saída é comparado com um sinal de referência. O desvio (erro) $e(t)$ entre estes dois sinais é utilizado para determinar o sinal de controle que deve efetivamente, ser aplicado ao processo, como mostrado na figura 25. Assim, o sinal de controle é determinado de forma a corrigir este desvio entre a saída e o sinal de referência. O dispositivo que utiliza o sinal de erro para determinar ou calcular o sinal de controle a ser aplicado à planta é chamado de controlador ou compensador. O diagrama básico de um sistema de controle em malha – fechada.



Figura 25 - Diagrama de blocos do controle de temperatura.

3.1.1 Fundamentos teóricos

O sistema linear de primeira ordem estável com atraso, onde temos como a função de transferência da planta a equação 19 e a descrição funcional do controlador na equação 20.

$$\text{Planta} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (19)$$

$$\text{Controlador} = f(e^{(ts)}) \quad (20)$$

Onde pode ser modelado pela seguinte função de transferência:

$$G(s) = \frac{Ke^{-T s}}{\tau s + 1} \quad (21)$$

onde K é o ganho do sistema, T é o atraso e τ é a constante de tempo do sistema.

Sejam $u(t)$ e $y(t)$ os sinais de entrada e saída do sistema com a função de transferência descrita na equação 21. Excitando-se o sistema com um degrau de amplitude A , pode-se mostrar que a saída do sistema será:

$$y(t) = \begin{cases} K A \left[1 - e^{-\frac{1}{\tau}(t-T)} \right], & t \geq T \\ 0, & t < T \end{cases} \quad (22)$$

Cuja representação gráfica é mostrada na figura 38. Os parâmetros K , T e τ podem, então serem identificados pela equação acima e pela figura 26.

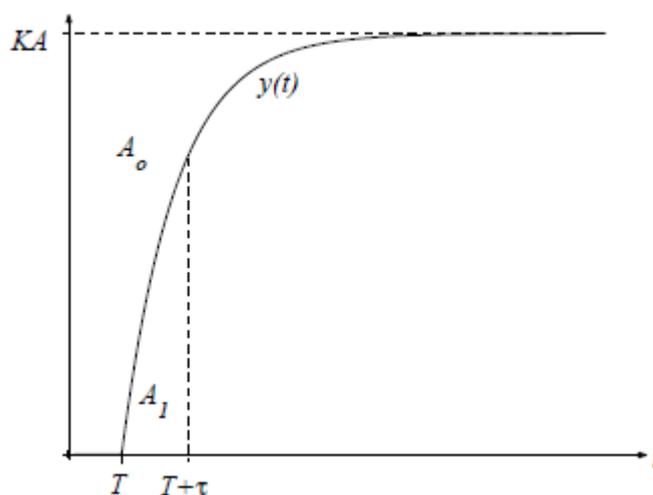


Figura 26 - Métodos das áreas para identificação dos parâmetros T e τ .

3.1.2 Modelo Experimental

O modelo experimental de primeira ordem foi construído no Laboratório de Engenharia Elétrica (LEE), e se mostrou bastante didático. Composto de dois atuadores, sendo o resfriador e o outro o aquecedor, e também um sensor NTC (Negative Temperature Ceficiente) ou Termopar para sentir a variação de temperatura e permitindo a ação do controlador. Os principais componentes deste modelo estão indicados na figura 27.

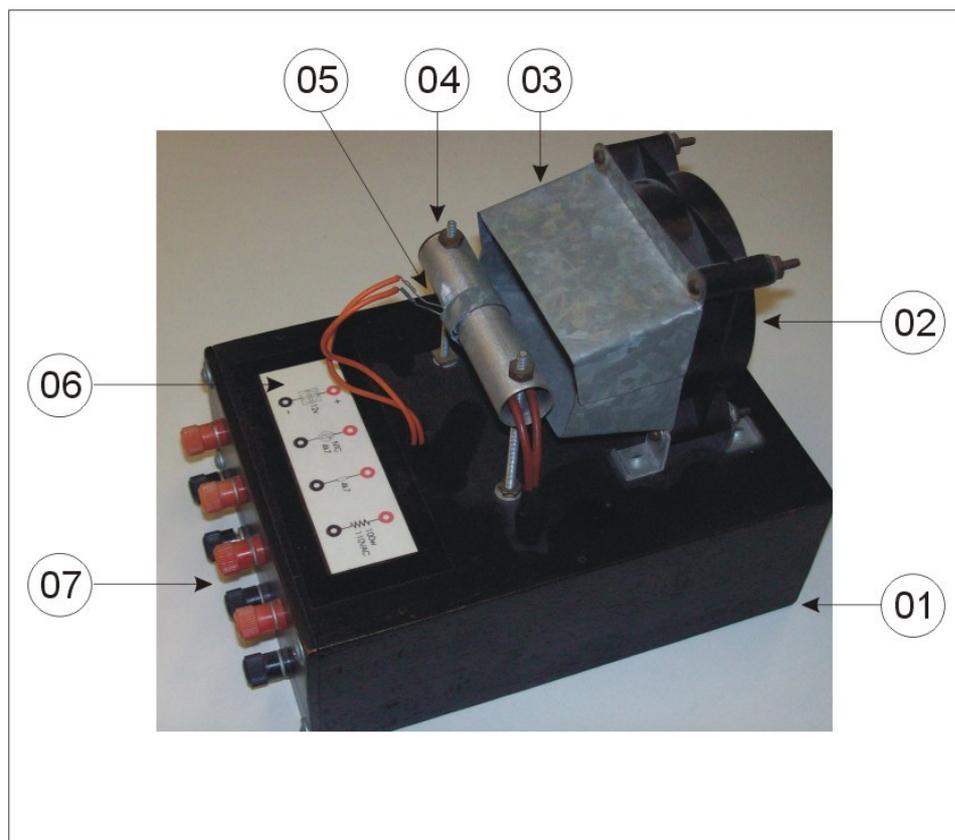


Figura 27 - Modelo do Sistema Térmico

1. Caixa suporte de madeira (145x65x200mm – L x A x P),
2. Ventilador tipo cooler em 12 Vcc,
3. Concentrador de AR (Chapa de aço galvanizado),
4. Resistência de aquecimento 100W (ferro de soldar),
5. Sensor de Temperatura (NTC 4K7),
6. Placa de identificação,
7. Conectores.

Na figura 28 são mostradas as ligações dos componentes do sistema térmico, no qual o NTC e o resistor são ligados em serie de modo a construir um divisor de tensão. Assim a tensão do resistor é diretamente proporcional à variação de temperatura do NTC. Os atuadores poderão ser ligados a relés ou a variadores de tensão (PWM e controle por triac) dependendo do nível de aprendizagem aplicado no controle.

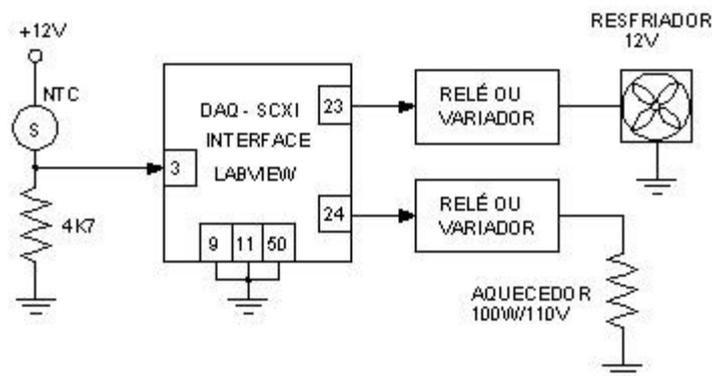


Figura 28 - Esquemático de ligações

Variando a temperatura do processo e medindo a tensão nos terminais do sensor, para diversas temperaturas, foi levantada uma curva ($\theta \times V_r$), onde θ é a temperatura medida em $^{\circ}\text{C}$ e V_r é a tensão no resistor, de forma adequada para ser tratada pelo LABVIEW .

Tabela 2 – Conversão Tensão x Temperatura

θ	V_r
29	6,6
32	6,9
41	8,0
48	8,7
57	9,6
72	10,3
82	10,8
88	11,1
97	11,2

Para determinar a curva que mais se aproxima dos pontos obtidos deve ser utilizada a técnica de regressão linear. A curva obtida neste problema é a equação 23.

$$\theta(V_r) = (12,7 \cdot V_r - 65,3) ^{\circ}\text{C} \quad (23)$$

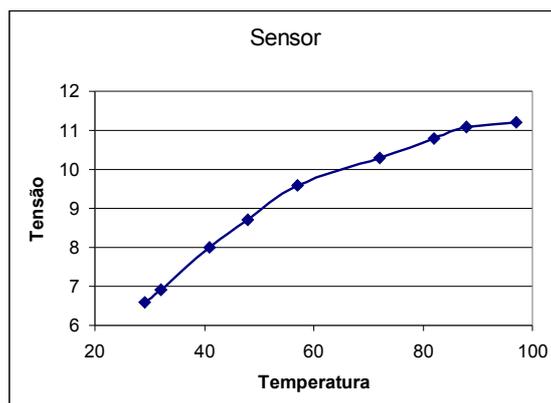


Figura 29 - Curva estática do sensor

A importância desta análise é justificada, pois estes conceitos serão utilizados no item 4.2 representado pela figura 47, que trata da conversão do sinal de entrada em temperatura.

Foi criado um roteiro experimental que apresenta uma proposta para utilização da planta do sistema térmico, com a finalidade da melhoria da aprendizagem do aluno na área de automação (Apêndice III).

3.2 Controle de velocidade em motores CA

Em substituição aos controladores de velocidade de motores de corrente contínua (CC), que exerciam forte predomínio em sistemas de controle, com métodos mais baratos que os acionamentos tradicionais utilizados em motores de corrente alternada (CA), com a inserção no mercado industrial de novos equipamentos de controle de velocidade eletrônicos tais como o conversor de frequência e o softstart (equipamento que consiste em gerar de uma rampa de carga crescente na partida), existem inúmeros processos industriais que utilizam motores de indução trifásicos (MIT), não apenas de acionamento mecânico, mas principalmente de um acionamento que possa ter sua velocidade controlada e ajustada a um custo menor do que o controle de um motor CC.

O MIT tem como pontos positivos necessitam de pouca manutenção, são construtivamente mais simples, mais robustos e também são mais utilizados industrialmente.

3.2.1 Fundamentos teóricos

O modelo matemático dinâmico do motor de indução (NETO at all, 1997), é mostrado nas equações de tensão, em volts, do rotor e estator:

$$V_i = R_i I_i + \frac{d\lambda_i}{dt} \quad (24)$$

onde o índice “i” representa as fases a,b,c do estator e A,B,C do rotor. O termo λ representa o fluxo total concatenado (fluxo de dispersão mais fluxo mútuo). As matrizes R e I são de resistência e corrente do estator e rotor.

O Torque eletromagnético T_e (Nm) pode ser obtido através da variação da co-energia magnética W em relação à θ_{mec} (rad/seg) que é o deslocamento angular mecânico do rotor com relação a uma referência fixa (NETO at all, 1997), ou seja:

$$T_e = \left. \frac{\partial W}{\partial \theta_{mec}} \right|_{i_{const}} \quad (25)$$

A equação de oscilação (26) que relaciona T_e (Nm) com o conjugado de carga T_c (Nm), momento de inércia J (Kg.m²), posição angular θ_{mec} (rad/seg) e coeficiente de atrito viscoso B , pode ser escrita como:

$$T_e = T_c + J \frac{d\omega_{mec}}{dt} + B\omega_{mec} \quad (26)$$

onde:

$$\omega_{mec} = \frac{d\theta_{mec}}{dt} \quad (27)$$

As equações 24 e 27 formam o modelo matemático completo do motor de indução trifásico, para as simulações computacionais.

A variação de velocidade nos motores de indução tem uma relação entre a rotação, a frequência de alimentação, o número de pólos e o escorregamento de um motor de indução, obedece à equação 28:

$$n = \left[\frac{120}{p} f \right] \cdot (1 - S) \quad (28)$$

Onde n é velocidade em rpm, f a frequência em Hz, p é o número de pólos e S é o escorregamento.



Figura 30 - Motor trifásico de corrente alternada.

A análise da equação 28 nos mostra que se pode atuar em três parâmetros para se conseguir variar a velocidade:

- Número de pólos (p) – variação discreta (2, 4, 6, etc) e acarreta um aumento do volume da carcaça do motor.
- Escorregamento (s) – variação é contínua; provoca perdas no rotor e tem faixa de variação pequena (este método só pode ser aplicado em motores com rotor bobinado).
- Frequência da tensão de alimentação (f) – variação contínua.

Este ultimo item (controle da frequência) é a técnica utilizada para o controle de velocidade, utilizando conversores de frequência.

No nosso experimento, o motor utilizado, tem sua velocidade de placa de igual à 1728 rpm, aplicando à equação 28, podemos deduzir que este motor tem 4 pólos e um escorregamento de 4%.

3.2.2 Conversores de frequência

Atualmente é o método mais eficiente para controlar a velocidade dos motores de indução. Recentemente adquirido no Laboratório de Engenharia Elétrica (LEE), os conversores de frequência transformam a tensão da rede, de amplitude e frequência constantes em uma tensão de amplitude e frequência variáveis como mostra o diagrama de blocos da figura 31. Variando-se a frequência da tensão de alimentação, varia-se também a velocidade do campo girante e conseqüentemente a velocidade mecânica de rotação da máquina.

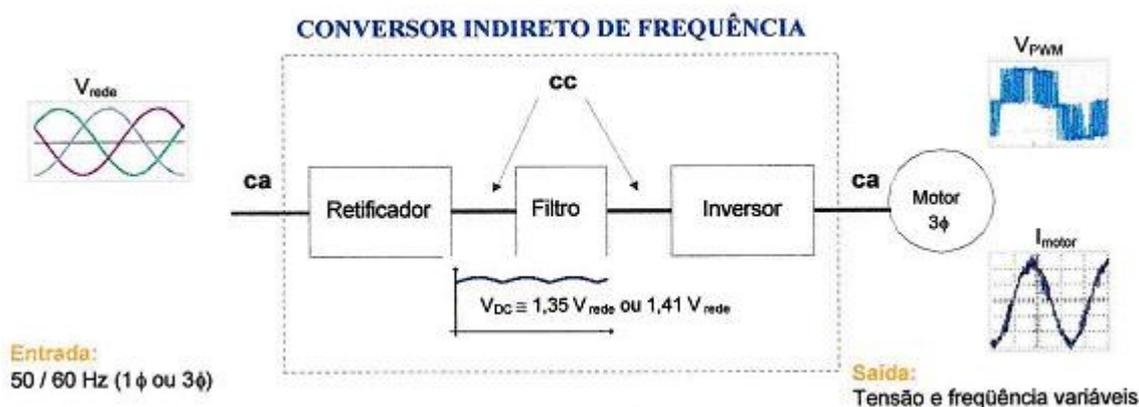


Figura 31 - Diagrama de bloco

Este sistema de controle é chamado de controle vetorial, sendo utilizado quando a carga do sistema é variável, porque possibilita atingir um elevado grau de precisão de velocidade e torque. Devido ao torque desenvolvido pelo motor de indução ser controlado por um conversor de frequência, temos a seguinte equação:

$$T = K_1 \cdot \Phi_m \cdot I_2 \quad (29)$$

Onde T é o torque disponível na ponta do eixo (N.m), Φ_m é fluxo de magnetização (Wb), I_2 a é corrente do rotor (A) (depende da carga).

O fluxo magnetizante (Φ_m), desprezando-se a queda de tensão ocasionada pela resistência e reatância dos enrolamentos do estator vale:

$$\Phi_m = K_2 \cdot V_1 / f_1 \quad (30)$$

Onde V_1 a é tensão de alimentação (V), K_1 e K_2 são as constantes (dependem do projeto do motor), sendo f a frequência de funcionamento.



Figura 32 - Conversor de Frequência

A figura 32 mostra o conversor de frequência adquirido, configurado e montado no LEE, com a minha participação. A montagem foi feita de uma forma didática com duas entradas de controle, sendo uma entrada analógica (AI), com range de 0 à 10V, onde foi configurada a relação de tensão e frequência (V/Hz) na qual o valor máximo da entrada analógica de 10V equivale à 120Hz. Também foram inseridas duas entradas digitais de 25Hz (DI1) e 50Hz (DI2), ilustradas na figura 33, que ao serem acionadas fazem com que o conversor forneça a frequência parametrizada pela entrada digital. Caso as duas entradas digitais sejam acionadas

ao mesmo tempo o equipamento é configurado para somar os dois valores, provendo uma frequência de saída de 75 Hz.

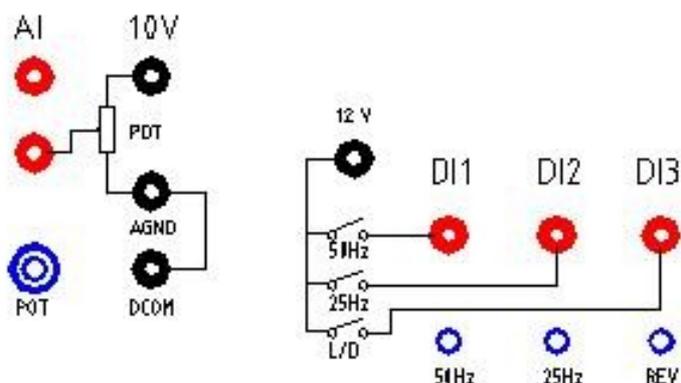


Figura 33 - Entradas de controle Conversor de Frequência

3.2.3 Modelo Experimental

Este modelo experimental foi projetado e produzido por mim, apenas para esta dissertação, onde o modelo é primeira ordem. Será usado um motor, acoplado pelo eixo a um sensor de velocidade chamado Encoder, para fazer a realimentação, representado na figura 34.

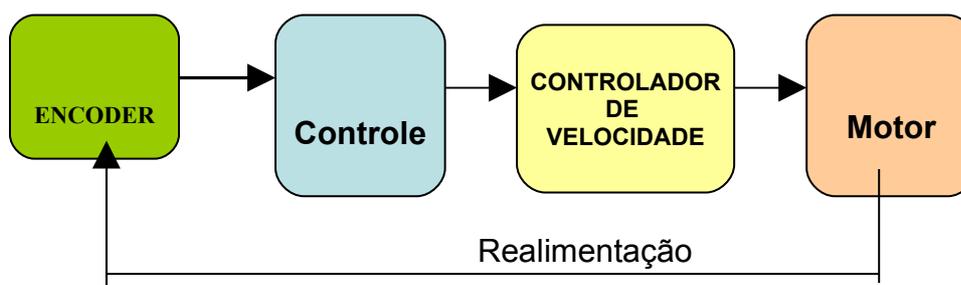


Figura 34 - Diagrama de blocos do sistema de controle

A velocidade do motor é controlada pelo conversor de frequência, conforme descrito anteriormente. Este por sua vez, é controlado pela Interface LABVIEW, a qual utiliza para isto, um sinal de controle de 0 à 10 Volts, inserido na entrada analógica (AI) do conversor (atuador), ilustrado na figura 35.

Para fechar a malha utilizamos um transdutor de velocidade, chamado encoder, que será explicado a seguir. Por estar acoplado diretamente ao eixo do

motor, produz um trem de pulsos que varia sua intensidade, proporcionalmente à variação da velocidade do motor.

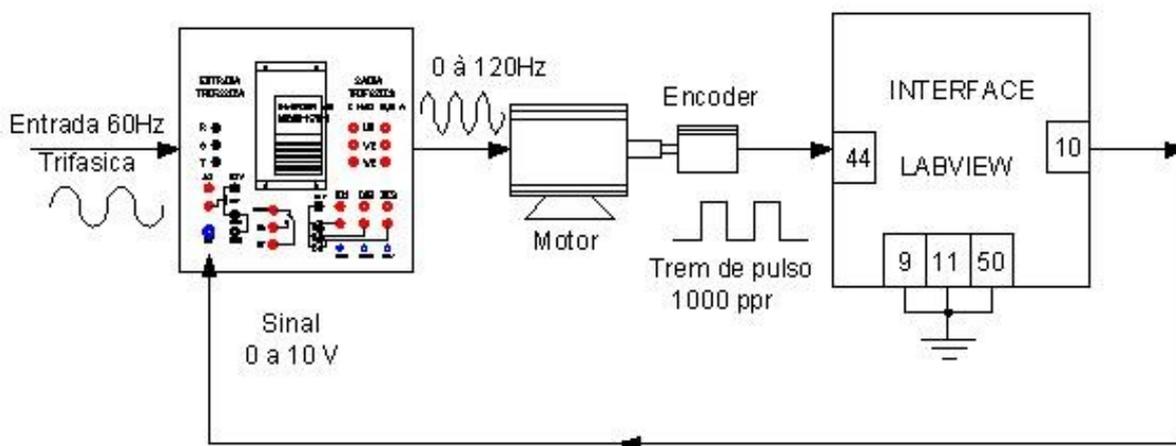


Figura 35 - Diagrama ligação

Encoder é um transdutor de movimento capaz de converter movimentos lineares ou angulares em informações elétricas, que podem ser transformadas em informações binárias e trabalhadas por um programa que converte as informações transferidas, em algo que possa ser entendido como: distância, velocidade, etc.



Figura 36 - Foto do Encoder utilizado

O princípio de funcionamento do encoder é o mesmo do antigo mouse, que utiliza a geração de pulsos a partir a teoria da “roda de carroça”. Possui internamente um ou mais discos (máscaras) perfurados, que permitem, ou não, a passagem de um feixe de luz infravermelha, gerado por um emissor que se encontra de um dos lados do disco e é captado por um receptor, que se encontra do outro

lado do disco. Este, com o apoio de um circuito eletrônico, gera um pulso. Dessa forma a velocidade ou posicionamento é registrada contando-se o número de pulsos por rotação (PPR) gerados, detalhado na figura 37.

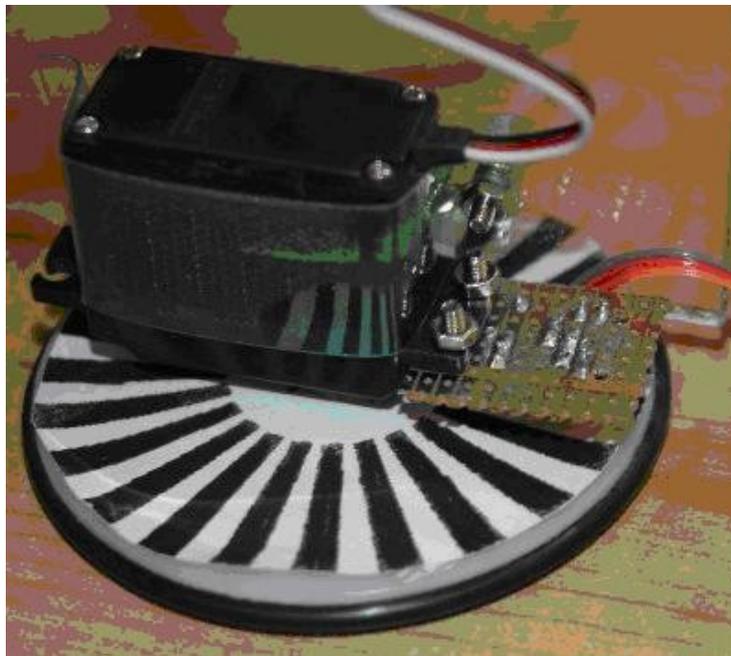


Figura 37 - Detalhamento do encoder

Em um simples experimento que fizemos, ilustrado na figura 38, no qual vamos verificar apenas o comportamento do sensor de velocidade, variamos a velocidade do motor com o auxílio do conversor de frequência, de 10 em 10 Hz e verificamos a resposta do trem de pulsos no osciloscópio, que nos gerou a tabela 3. Nela verificamos, que na frequência da rede (60Hz), foi lido pelo o encoder uma frequência de 29,8 Hz. Ao multiplicarmos por 60 segundos teremos uma rotação de 1788 rpm, demonstrando que o sensor de velocidade está calibrado.

Tabela 3 – Conversão frequência em RPM

Entrada	Saída	Rpm
Hz	Hz	60
10	4,7	282
20	9,9	594
30	14,5	870
40	19,9	1194
50	24,9	1494
60	29,8	1788



Figura 38 - Aferição do encoder

Foi criado um roteiro experimental que apresenta uma proposta para utilização da planta do controle de velocidade, com a finalidade da melhoria da aprendizagem do aluno na área de automação (Apêndice IV).

3.3 Pendulo Invertido

O pêndulo invertido é um sistema inerentemente instável e bastante complexo e representa uma plataforma que também é útil para o estudo de muitos outros mecanismos complexos. Uma implementação relativamente recente é o controle da oscilação de arranha-céus. Estas construções tendem a apresentar o inconveniente de se tornarem vulneráveis a ações de ventos, causando oscilações desagradáveis. A solução criativa que vem sendo adotada é a de se instalar grandes contrapesos móveis no topo destes edifícios de forma que eles possam se mover de um lado para o outro compensando a ação da força do vento e reduzindo a amplitude do movimento da estrutura (RIBEIRO, 2007).

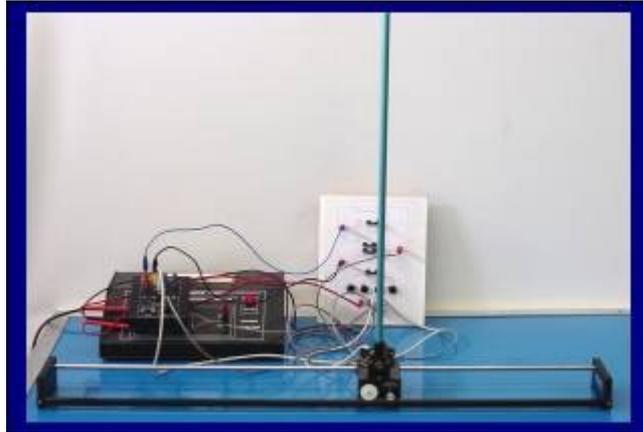


Figura 39 - Pêndulo invertido equilibrado

O sistema de um pêndulo invertido consiste de uma barra cilíndrica, usualmente metálica, presa a um carrinho motorizado que pode se movimentar sobre um trilho. A haste naturalmente tende a cair, pois sua posição vertical é uma condição de equilíbrio instável. O objetivo do controle é manter o pêndulo equilibrado na posição vertical (sentido norte), mesmo quando perturbações são aplicadas ao sistema, por exemplo, uma força aplicada ao carrinho ou o deslocamento do pêndulo de um ângulo não nulo.

3.3.1 Fundamentos teóricos

O modelo não se preocupou com a posição do carro tendo o foco somente no controle da posição da barra. Os diagramas necessários para o equacionamento do sistema é representado na figura 40. A força de controle u é aplicada ao suporte móvel. Seja m a massa da haste do pêndulo, e M a massa do suporte móvel e $2l$ o comprimento da haste.

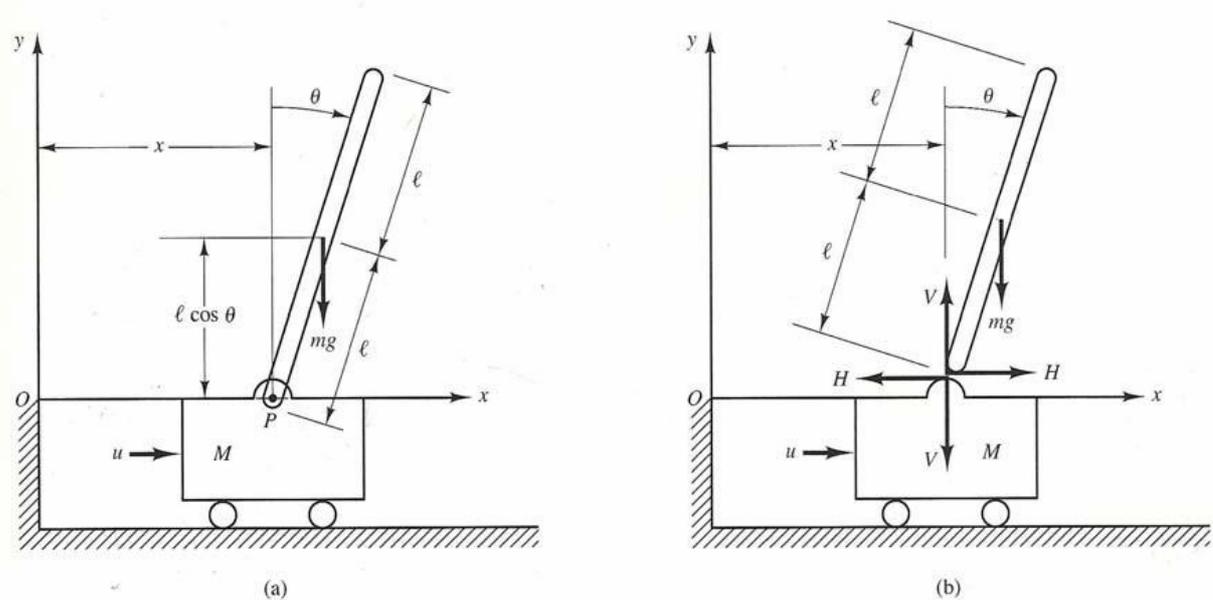


Figura 40 - (a) Sistema pêndulo invertido; (b) diagrama de corpo livre.

Seja θ o ângulo que a haste do pêndulo forma com o eixo vertical e as coordenadas (x, y) do centro de gravidade da haste do pêndulo indicados por (x_g, y_g) .

Assim:

$$x_g = x + l \operatorname{sen} \theta$$

$$y_g = l \cos \theta$$

Para deduzir as equações de movimento do sistema, será considerado o diagrama de corpo livre. O movimento de rotação da haste do pêndulo em torno de seu centro de gravidade pode ser descrito por:

$$I \ddot{\theta} = V \operatorname{sen} \theta - H \cos \theta \quad (31)$$

onde o momento de inércia I é o momento de inércia da haste em relação a seu centro da gravidade.

O movimento horizontal do centro de gravidade da haste do pêndulo é dado por:

$$m \frac{d^2}{dt^2} (x + l \operatorname{sen} \theta) = H \quad (32)$$

O movimento vertical do centro de gravidade da haste do pêndulo é descrito através da equação:

$$m \frac{d^2}{dt^2} (l \cos \theta) = V - mg \quad (33)$$

O movimento horizontal do suporte móvel pode ser expresso por:

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} = u - H \quad (34)$$

As equações 31 a 34 descrevem o movimento do conjunto pêndulo invertido - suporte móvel. Estas equações envolvem $\sin \theta$ e $\cos \theta$, e dessa forma são não-lineares. Admitindo-se que o ângulo θ seja pequeno, o conjunto de Equações 31 a 34 pode ser linearizado, resultando:

$$I \ddot{\theta} = Vl \theta - Hl \quad (35)$$

$$m(\ddot{x} + l \ddot{\theta}) = H \quad (36)$$

$$0 = V - mg \quad (37)$$

$$M \ddot{x} = u - H \quad (38)$$

Das Equações 36 e 38 tem-se:

$$(M + m) \ddot{x} + b \dot{x} - ml \ddot{\theta} = u \quad (39)$$

E das Equações 35 e 37 obtém-se:

$$I \ddot{\theta} = m g l - H \quad \& \quad m g l - l (m \ddot{x} + m \ddot{\theta}) \quad (40)$$

Ou seja:

$$(I + ml^2) \ddot{\theta} - mgl \theta = ml \ddot{x} \quad (41)$$

Portanto as Equações 39 e 41 descrevem o movimento do conjunto pêndulo invertido-suporte móvel. Elas caracterizam o modelo matemático do sistema.

Para se obter a função de transferência do sistema linearizado é necessário em primeiro lugar aplicar a transformada de Laplace às equações anteriores, obtendo-se as seguintes equações:

$$(I + ml^2) \theta(s)s^2 - mgl \theta(s)s^2 = mlX(s)s^2 \quad (42)$$

$$(M + m) X(s)s^2 + bX(s)s - ml \theta(s)s^2 = U(s) \quad (43)$$

Resolvendo a primeira equação em ordem a $X(s)$ e substituindo este último resultado na segunda equação, obtém-se seguinte função de transferência de 3ª ordem:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{\frac{ml}{q}s}{s^3 + \frac{b(I + ml^2)}{q}s^2 - \frac{(M + m)mgl}{q}s - \frac{bmgl}{q}} \quad (44)$$

Onde:

$$q = I(M + m) + Mml^2 \quad (45)$$

Para simulação e validação do controlador a ser desenvolvido é necessário ter um modelo matemático do comportamento do sistema, no qual aplicando-se os valores das variáveis presentes na Tabela 4, tem-se:

$$\frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{4,545s}{s^3 + 0,182s^2 - 31,2s - 4,45} \quad (46)$$

Tabela 4 – Contantes e Variáveis para o Modelo Matemático do pêndulo invertido

Variável	Significado	Valores
M	Massa do carro	0.5 kg
m	Massa do Pêndulo	0.2 kg
b	Atrito do carro	0.1Nm ⁻¹
l	Altura centro de massa do Pêndulo	0.3 m

I	Inércia do Pêndulo	0.006 kg*m ²
F	Força Aplicada no carro	
x	Coordenada da posição do carro	
θ	Ângulo do Pêndulo com a vertical	

3.3.2 Modelo Experimental

O diagrama de blocos do sistema de controle esta representado na figura 41.

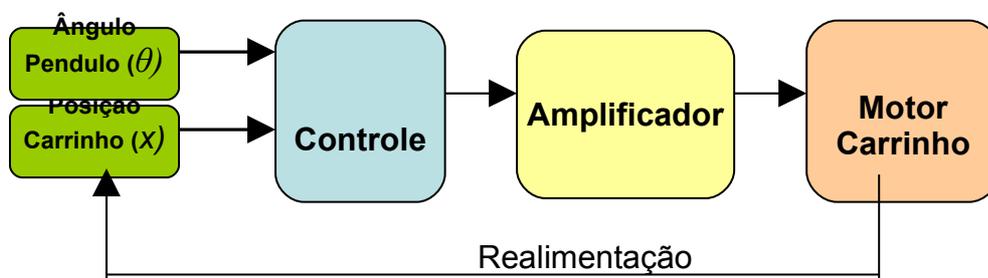


Figura 41 - Diagrama de blocos do sistema de controle

Os limites máximos para os valores de θ (ângulo) foram definidos como $\pm 45^\circ$, que equivale a ± 0.8 rad. Os objetivos estabelecidos foram o de manter o sinal de controle dentro de uma faixa aceitável para a tensão do motor, entre -3,5V e +3,5V, e manter o deslocamento do carrinho entre -45cm e +45cm, pois a excursão total do carrinho é de 91,4cm então na estabilidade o carrinho ficaria no meio da cremalheira. Na saída do controlador é utilizado o equipamento da Quanser PAO 103 responsável em amplificar o sinal de resposta para o motor como mostra a figura 42 (QUANSER, 2006).



Figura 42 - Modulo Aplicador PAO 103

Para este modelo além dos componentes utilizados será simulado no programa simulink do MATLAB a resposta da função de transferência descrita na equação 46 e os limites máximos apresentados. A figura 43 mostra o diagrama implementado para a simulação, onde temos na programação dois derivadores e na planta informações da planta como a posição angular e a posição do carrinho.

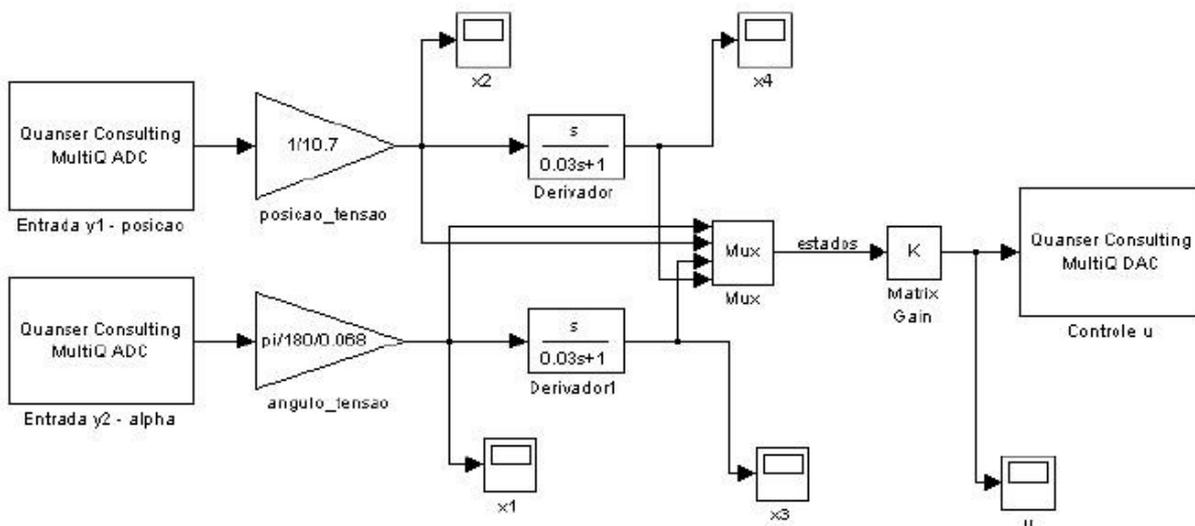


Figura 43 - Programação do Simulink

Inicialmente, o sistema se apresentou muito instável, com o conjunto pêndulo-carrinho oscilando em uma frequência constante. Os autovalores foram modificados, ajustando-se assim a matriz K, mostrada na programação do Simulink na figura 43.

O melhor valor para o conjunto de autovalores foi $-5 + j 1.65 \text{ rad/s}$, $-5 - j 1.65 \text{ rad/s}$, -8 rad/s e -7 rad/s . Os gráficos da velocidade angular do pêndulo e da velocidade linear do carrinho, mostrados na Figura 44 foram obtidos através do derivador do controle.

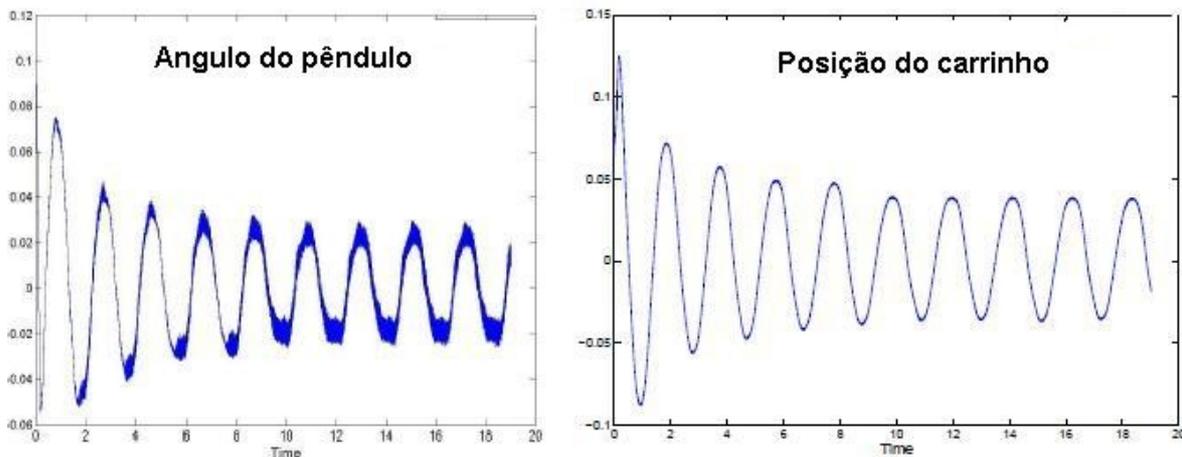


Figura 44 - Gráficos de resposta do angulo do pendulo e da posição do carrinho

4 ESTUDO DE CASOS

O estudo de caso é uma análise do desenvolvimento e compreensão dos modelos experimentais de primeira ordem por parte dos alunos da Graduação, da Pós-Graduação onde o aprendizado dos conceitos de automação, na elucidação de problemas de controle e um melhor desempenho prático nas disciplinas.

Segundo Marcos da Silveira (2007) existe pelo menos três opções de cursos laboratoriais: autônomo, concorrente ou complementar.

A primeira opção aborda a base conceitual teórica necessária como parte da atividade laboratorial básica, fornecendo os subsídios necessários à execução dos experimentos a serem realizados. Buscando explicações e suporte teórico que possibilitem a compreensão dos fenômenos observados em laboratório.

Na segunda opção, por vezes também referida como aulas no laboratório, os experimentos são intercalados as aulas conceituais, complementando-as, mas possibilitando, ao mesmo tempo, a colocação de questões que podem ser aprofundadas, posteriormente, em seus aspectos teóricos. Cria-se assim um binômio, que se complementa, induzindo sempre à avanços e desdobramentos. Esta opção possibilita a utilização de experimentos mais sofisticados.

A terceira hipótese, seria o laboratório sendo ministrado em prosseguimento a cursos conceituais prévios, buscando tirar partido do conhecimento anterior adquirido pelo estudante, possibilitando também a seleção e montagem de experimentos para os quais se exige ampla e consistente base teórica e um substancial conhecimento das bases de controle, que pode ser aplicado na realização de experimentos complexos, que exigem maior sofisticação para análises de seus resultados.

Fazendo uma analogia com base nestas três opções, considerando que a complexibilidade dos experimentos vão aumentando nas opções laboratoriais descritas e ainda sugestões das entrevistas desenvolvemos três níveis de aprendizagem apresentados, com o intuito de sedimentar os conceitos laboratoriais, apresentado na próxima seção.

4.1 Níveis de Aprendizagem

Para mostrar este desenvolvimento foram criados níveis de aprendizagem nos modelos experimentais e escolhido um grupo de alunos de níveis diferentes de graduação para fazer experimentos baseado nestes níveis, são eles:

1 - **Nível de aprendizagem básico:** esta experiência pode ter o set-point variável e as saídas do controlador de apenas dois níveis (on-off), onde será feito um controle analógico.

2 - **Nível de aprendizagem intermediária:** podemos ter um valor de set-point variável e as saídas do controlador podem ter níveis proporcionais, onde o controle será feito por um PID para o controle da planta.

3 - **Nível de aprendizagem avançado:** além de ter um valor de set-point variável, nas saídas poderia ser feito uma abordagem diferente utilizando um controlador Fuzzy para o controle da planta.

O estudo de caso, proposto, usa um ambiente computacional de simulação proporcionado pelo LabVIEW instalado num computador utilizando o sistema operacional da Microsoft, ou seja, plataforma PC-Windows. Este pode fazer uso de uma interface de dispositivos eletrônicos acoplados ao computador para coletar informações do meio externo e simular um sistema real, isto é a partir de tais dispositivos, podem-se obter as entradas e gerar uma saída (de controle).

Um requisito básico e necessário para que se possa utilizar lógica fuzzy no LabVIEW é a disponibilidade do Toolkit PID Fuzzy. Esse Toolkit é disponibilizado pela National Instruments sendo específico para cada versão do LabVIEW, conforme mostrado na figura 45.



Figura 45 - Toolkit PID FUZZY

Através desse toolkit é possível usar Blocos (VI's) fuzzy, que permitem configurar entradas (processo de fuzzyficação), criar regras de inferência e ajustar as saídas (processo de defuzzificação). A conexão dos Blocos (VI's) fuzzy com outros instrumentos do sistema é feita através do diagrama de blocos e cada instrumento tem sua própria representação no diagrama de blocos, logo ele pode ser tratado da mesma maneira que os outros instrumentos. Os três níveis de aprendizagem foram utilizados com o LabVIEW como interface de controle e são mostrados nos estudos de caso detalhadamente.



Load Fuzzy Controller - este ícone é responsável em ler as regras criadas a partir das variáveis lingüísticas geradas em um arquivo .fc, como por exemplo "TEMPdtemp.fc" gerado pelo programador pelo **Fuzzy Controller Editor**, que será abordado a seguir.



Fuzzy Controller – Responsável por aplicar as informações recebidas pelo Load Fuzzy Controller em seu processamento, o mesmo tem 4 entradas e uma saída.

O elemento responsável pela interligação dos sinais de entradas e saída é o módulo SCXI 1200, que é conectado ao Chassi SCXI-2000. O Chassi SCXI-2000 contém ainda a porta de comunicação com o PC, já comentado anteriormente, onde o software LABVIEW é executado.

O módulo SCXI-1200 possui diversas entradas e saídas analógicas e digitais, que permitem a interligação de sinais oriundos da aplicação (processo) a ser controlado. Como mostrado na figura 46.



Figura 46 - Chassi SCXI e interligações

4.2 Sistema Térmico

O sistema a ser controlado é baseado no modelo experimental do sistema térmico que foi retratado no item 3.1 desta dissertação, no qual tem como objetivo de manter temperatura de um determinado modelo estável a partir de um nível pré-determinado de temperatura (set-point), para isto utilizaremos os três níveis de aprendizagem sugeridos na seção 4.1. Neste sistema de controle, considera-se o objetivo como sendo uma placa metálica e o nível de temperatura, por exemplo, 30°C.

4.2.1 Entradas do sistema

São consideradas como entradas do sistema, a temperatura e a variação da mesma, que foram implementadas nos exemplos a seguir. Utilizamos como entrada do sistema o sensor de temperatura NTC, como mostra na figura 47, foi aplicado a equação 23 $\theta(V_s) = (12,7 \cdot V_s - 65,3)^\circ\text{C}$ desenvolvida anteriormente no capítulo 3 para transformar a tensão em temperatura ($^\circ\text{C}$).

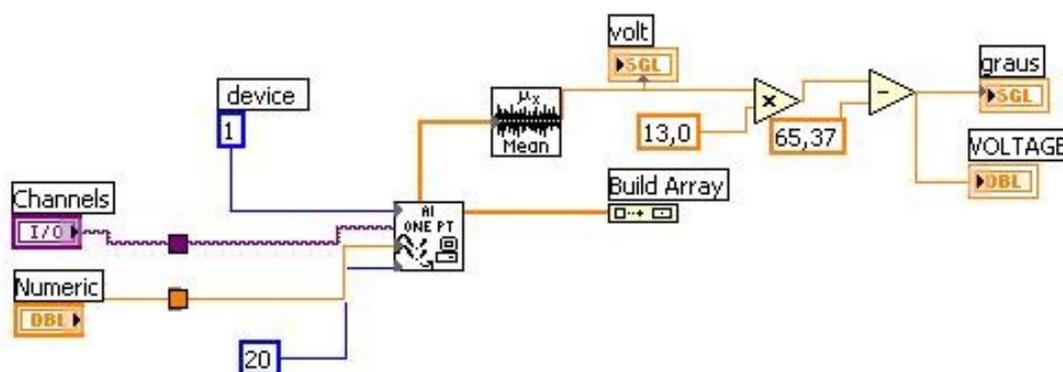


Figura 47 - Conversão do sinal de entrada em temperatura do Sistema térmico

4.2.2 Nível de aprendizagem básico

Neste primeiro nível a estratégia de controle utilizada é do tipo ON/OFF, relativamente simples e baixo custo, onde comparamos o valor adquirido e convertido pelo sensor de temperatura e comparado com o valor de setpoint, se nesta comparação o resultado ou erro for menor que 2 °C o sistema considera dentro do range de setpoint se for maior que 2 °C positivo acionaremos o rele de ventilação e se resultado for menor que 2 °C negativo acionaremos o rele do aquecimento, como mostrado no diagrama de blocos na figura 48.

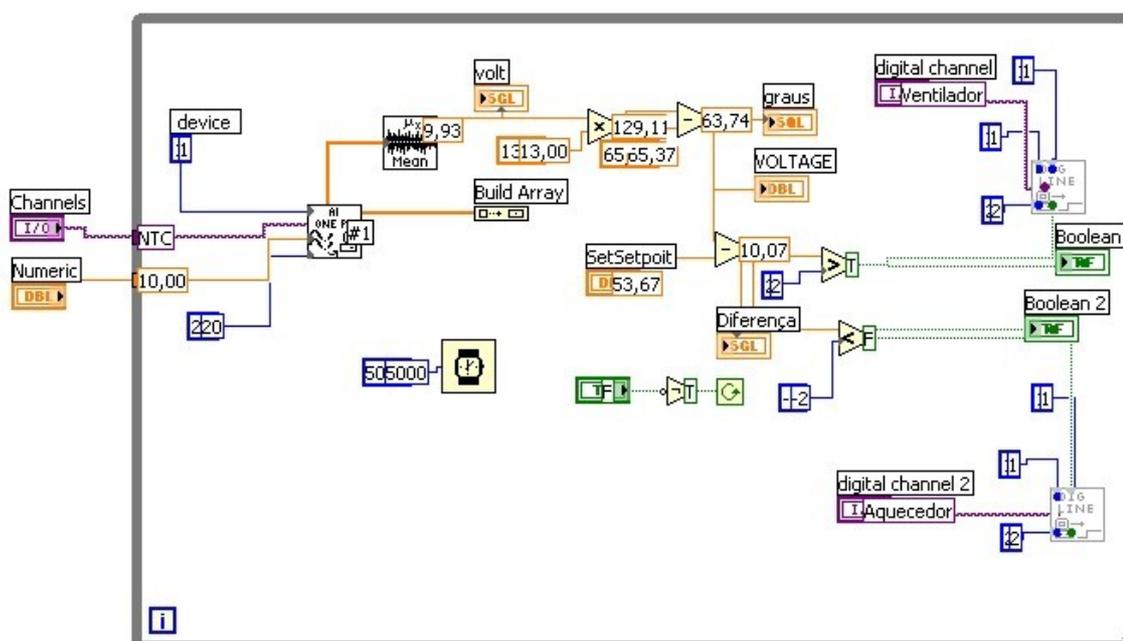


Figura 48 - Diagrama de Blocos do Sistema Térmico

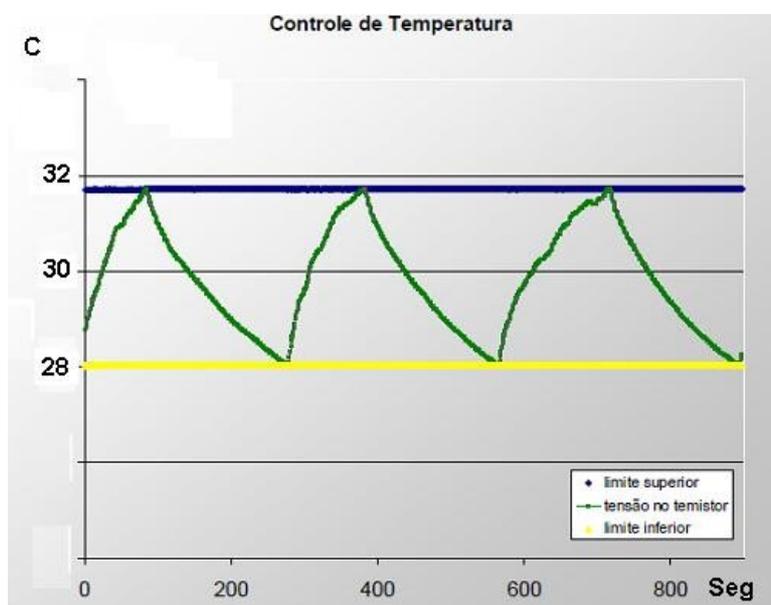


Figura 49 - Gráfico de resposta On-Off

Esta técnica de controle mostrou resultados pouco satisfatórios onde foi possível controlar a planta, mas o sistema se torna oscilante, atingindo o regime estável com certa dificuldade, demonstrado no gráfico da figura 49. Nas seções seguintes foram feitas novas tentativas de controle, onde os resultados foram mais estáveis.

4.2.3 Nível de aprendizagem intermediária - Sistema Térmico com Controlador PID

Tem como objetivo um projeto de um controlador PID para o controle da temperatura da mesma planta, em um processo simplificado. O Software LABVIEW foi utilizado para compor o sistema de controle, sendo que a aquisição de dados correspondeu dentro do esperado ao de controle propriamente dito.

O diferencial deste sistema está no controlador, onde a entrada continua sendo o sensor de temperatura e as saídas do sistema continuam sendo a resistência e o resfriador.

Saída analógica: -5 à +5 Vcc (Módulo SCXI 1200 / Placa SCXI 1302 pinos +20 e -9) e saída digital para acionamento do resfriador (SCXI 1200 / SCXI 1303 pinos +14 e -13), como mostra a figura 50.

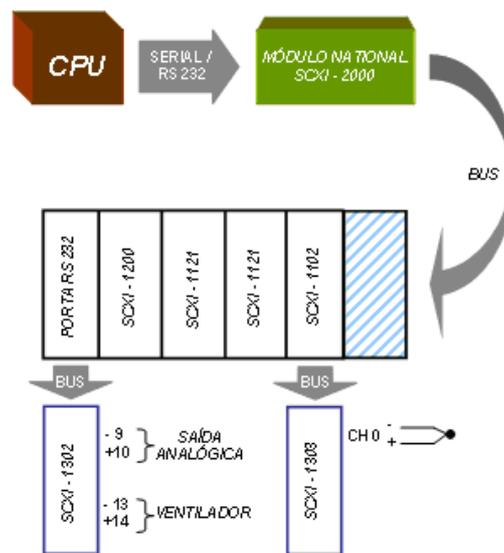


Figura 50 - Chassi SCXI e interligações

Um amplificador foi necessário para controlar a potência da resistência (aquecedor) a partir de uma saída analógica do módulo SCXI. Na figura 51 mostra como foi programado os blocos do ambiente LabVIEW para a implementação do controle PID.

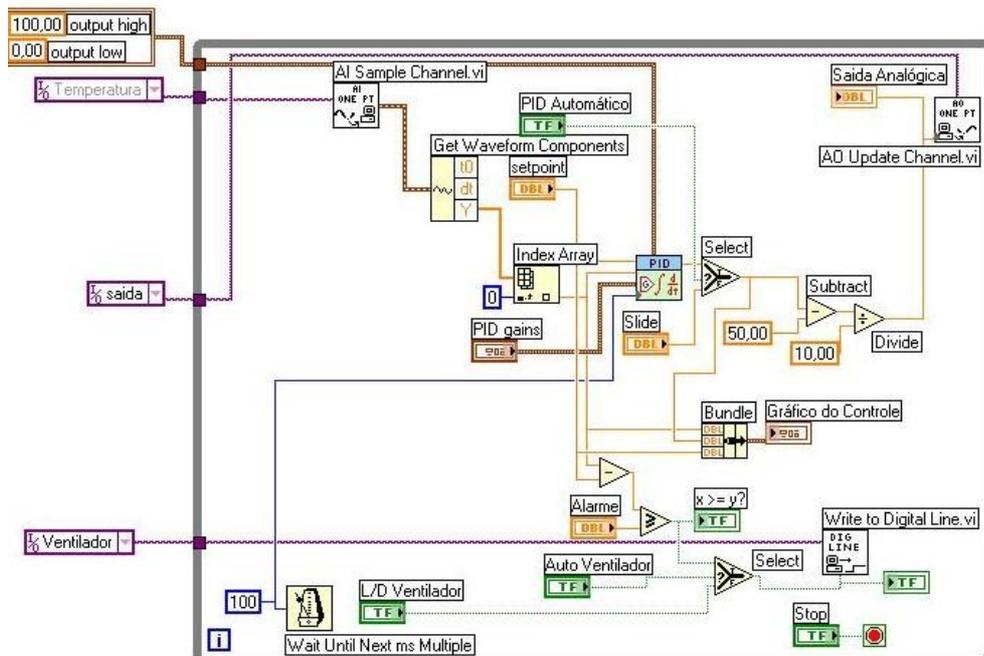


Figura 51 - Programação LabVIEW

4.2.3.1 Sintonia da Malha

O controlador foi colocado em modo manual e a saída do controlador foi ajustada para determinados valores. Dessa forma, foram calculados os parâmetros da dinâmica do processo a medida que o regime permanente era atingido. Os parâmetros dinâmicos calculados foram o tempo morto, a constante de tempo e o ganho do processo, que eram computados em conjunto com os dados referentes à PV (Process Variable), SP (set-point) e MV(Manipulated Variable).

Foram realizados ensaios, com variações positivas e negativas da MV. Ao final, com o uso das constantes A^* , B^* , C^* , D^* , E^* e F^* , obtidas para cálculo da sintonia PID, substituímos os seus valores nas fórmulas matemáticas para cálculo dos parâmetros do PID (ganho proporcional K_p , Tempo integral T_i e Tempo derivativo T_d). Com o conhecimento dos parâmetros PID para aquela malha de controle ($K_p=-21,920$; $T_i=19,570$ e $T_d=0,450$), foi feita a parametrização do controlador PID.

O cálculo do erro em cada instante (diferença entre o Set-point e a Variável do processo), e o ajuste do fator de escala são dois fatores importantes na geração dos gráficos para ilustrar o comportamento dinâmico do erro desde o momento da aplicação do degrau até ser atingido o regime permanente (steady-state). Acessando-se o gráfico, é possível localizar em cada instante do intervalo de observação, o par ordenado (tempo, temperatura) e, de maneira imediata, determinar o tempo decorrido até atingir estabilização em 14 segundos como sistema sub-amortecido.

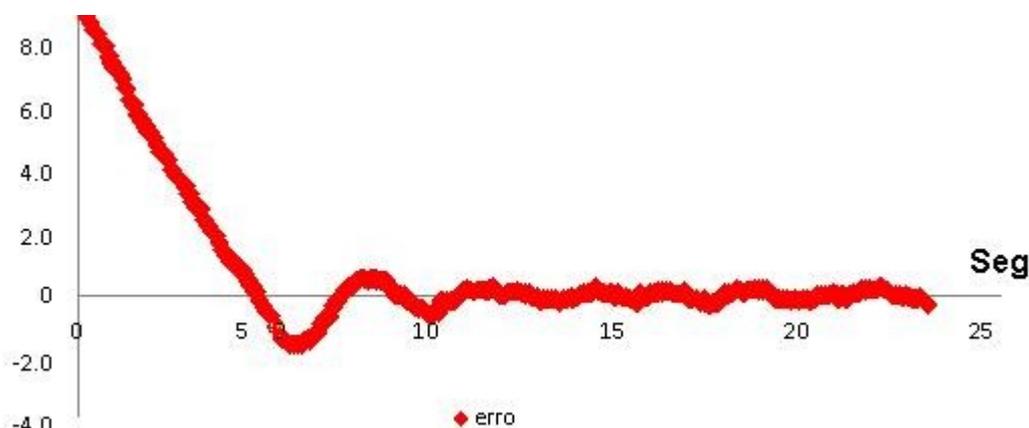


Figura 52 - Gráfico do Erro

4.2.4 Nível de aprendizagem Avançado - Sistema Térmico com Controlador Fuzzy

O objetivo é mostrar a aplicação de controle fuzzy no sistema térmico, utilizando o ambiente LABVIEW para implementação e a interface chassi SCXI para aquisição de dados.

4.2.4.1 Saídas do sistema

Devido ao modulo Fuzzy Controller ter apenas uma saída, o que é uma limitação física, e o sistema térmico ter dois atuadores, configuramos o sinal de saída do sistema de para a forma diferencial, ou seja, o sinal varia entre -5V à +5V, sendo o zero no meio. Desta forma, teremos a tensão positiva da saída para resfriamento enquanto a tensão negativa para aquecimento.

Nos próximos itens vamos mostrar como foi baseada a programação feita no “Fuzzy Controller Editor”, ilustrado na pagina 73, afim de gerar o arquivo “TEMPdtemp.fc”. Este arquivo de extensão “.fc” é o local onde são guardados todas as informações produzidas no editor tais como variáveis linguísticas de antecedentes e conseqüentes, regras de defuzzyficação.

4.2.4.2 Termos linguísticos

As variáveis de entrada e saída são apresentadas respectivamente na Tabela 5 e Tabela 6.

Tabela 5 – Termos Linguísticos – Entradas

Variáveis	Temperatura	Varição de temperatura
Termos	Muito Fria (MF) Fria (F) Pouco Fria (PF) Morna (M) Pouco Quente (PQ) Quente (Q) Muito Quente (MQ)	Negativa Alta (NA) Negativa Média (NM) Negativa Baixa (NB) Positiva Baixa (PB) Positiva Média (PM) Positiva Alta (PA)
Universo de discurso	Temperatura está no intervalo [0,60]	Varição de temperatura está no intervalo [-8,8]
Proposições	Temperatura é Muito Fria (MF) Temperatura é Fria (F) Temperatura é Pouco Fria (PF)	Varição de temperatura é Negativa Alta (NA) Varição de temperatura é Negativa

	Temperatura é Morna (M) Temperatura é Pouco Quente (PQ) Temperatura é Quente (Q) Temperatura é Muito Quente (MQ)	Média (NM) Variação de temperatura é Negativa Baixa (NB) Variação de temperatura é Positiva Baixa (PB) Variação de temperatura é Positiva Média (PM) Variação de temperatura é Positiva Alta (PA)
--	---	---

Tabela 6 – Termos Lingüísticos – Saidas

Variáveis	Saída
Termos	Alto Aquecimento (AA) Médio Aquecimento (MA) Baixo Aquecimento (BA) Zero (Z) Baixo Resfriamento (BR) Médio Resfriamento (MR) Alto Resfriamento (AR)
Universo de discurso	Saída está no intervalo [-5,5]
Proposições	Saída é Alto Aquecimento (AA) Saída é Médio Aquecimento (MA) Saída é Baixo Aquecimento (BA) Saída é Zero (Z) Saída é Baixo Resfriamento (BR) Saída é Médio Resfriamento (MR) Saída é Alto Resfriamento (AR)

4.2.4.3 Fuzzificação

Foram utilizadas, para o processo de fuzzificação, as funções triangular e trapezoidal. Na interface de edição de conjuntos fuzzy do LABVIEW as variáveis de entrada são denominadas antecedentes.

A Figura 53 apresenta a variável Temperatura, onde:

- Muito Fria (MF) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [0,10] e nulo fora desse intervalo;
- Fria (F) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [10,20] e nulo fora desse intervalo;
- Pouco Fria (PF) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [10,30] e nulo fora desse intervalo;

- Morna (M) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo [25,32] e nulo fora desse intervalo;
- Pouco Quente (PQ) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [30,50] e nulo fora desse intervalo;
- Quente (Q) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [40,60] e nulo fora desse intervalo;
- Muito Quente (MQ) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [50,60] e nulo fora desse intervalo.

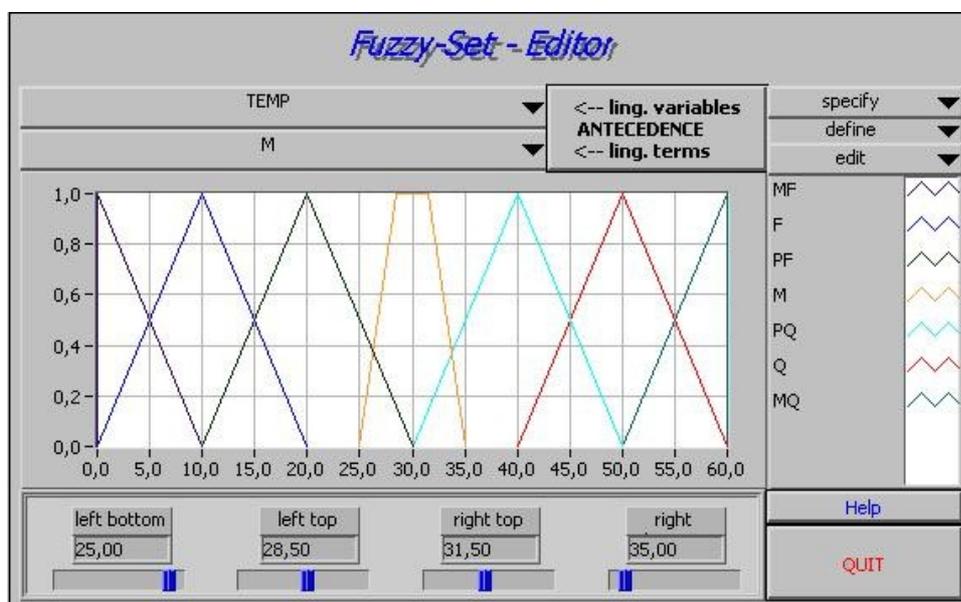


Figura 53 - Variável Linguística Temperatura

A Figura 54 apresenta a variável Variação de Temperatura, onde:

- Negativa Alta (NA) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-8,-4] e nulo fora desse intervalo;
- Negativa Media (NM) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-7,-1] e nulo fora desse intervalo;
- Negativa Baixa (NB) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-4,2] e nulo fora desse intervalo;
- Positiva Baixa (PB) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-1,5] e nulo fora desse intervalo;

- Positiva Média (PM) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [2,8] e nulo fora desse intervalo;
- Positiva Alta (PA) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [5,8] e nulo fora desse intervalo.

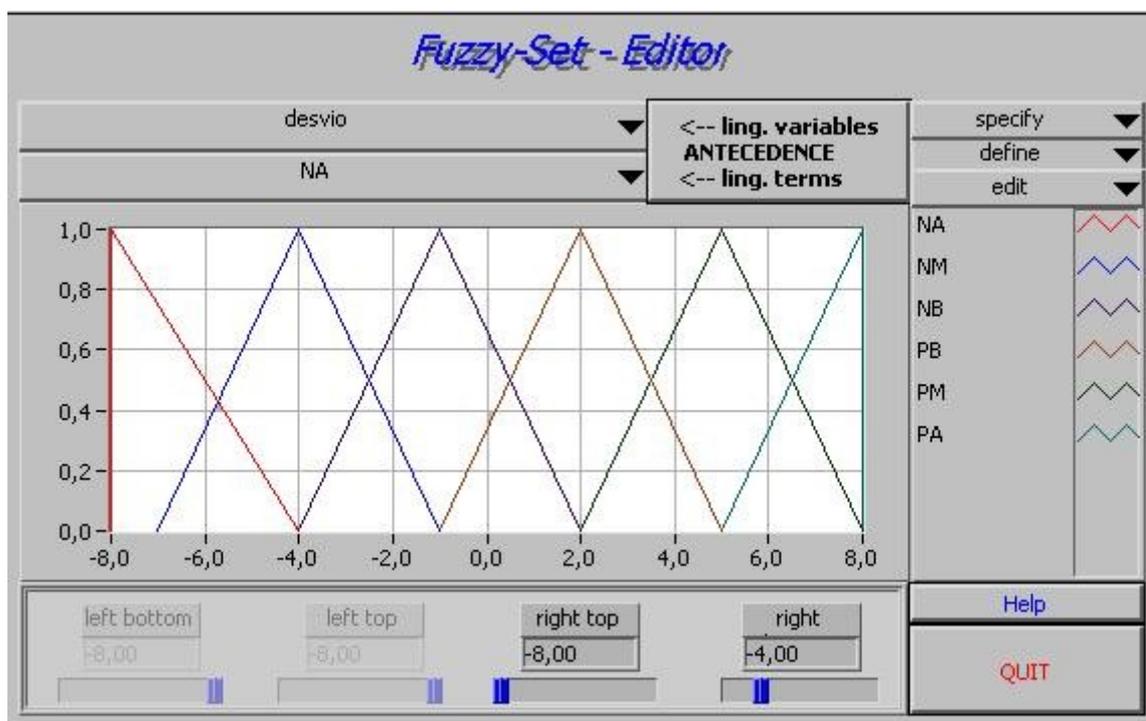


Figura 54 - Variável Linguística Variação de Temperatura

Na interface de edição de conjuntos fuzzy do LabVIEW as variáveis de saída são denominadas consequentes.

A Figura 55 apresenta a variável Saída, onde:

- Alto Aquecimento (AA) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-5;-3,3] e nulo fora desse intervalo;
- Médio Aquecimento (MA) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-5;-1,7] e nulo fora desse intervalo;
- Baixo Aquecimento (BA) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-3,3;0] e nulo fora desse intervalo;
- Zero (Z) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [-1,7;1,7] e nulo fora desse intervalo;

- Baixo Resfriamento (BR) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[0;3,3]$ e nulo fora desse intervalo;
- Médio Resfriamento (MR) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[1,7;5]$ e nulo fora desse intervalo;
- Alto Resfriamento (AR) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[3,3;5]$ e nulo fora desse intervalo.

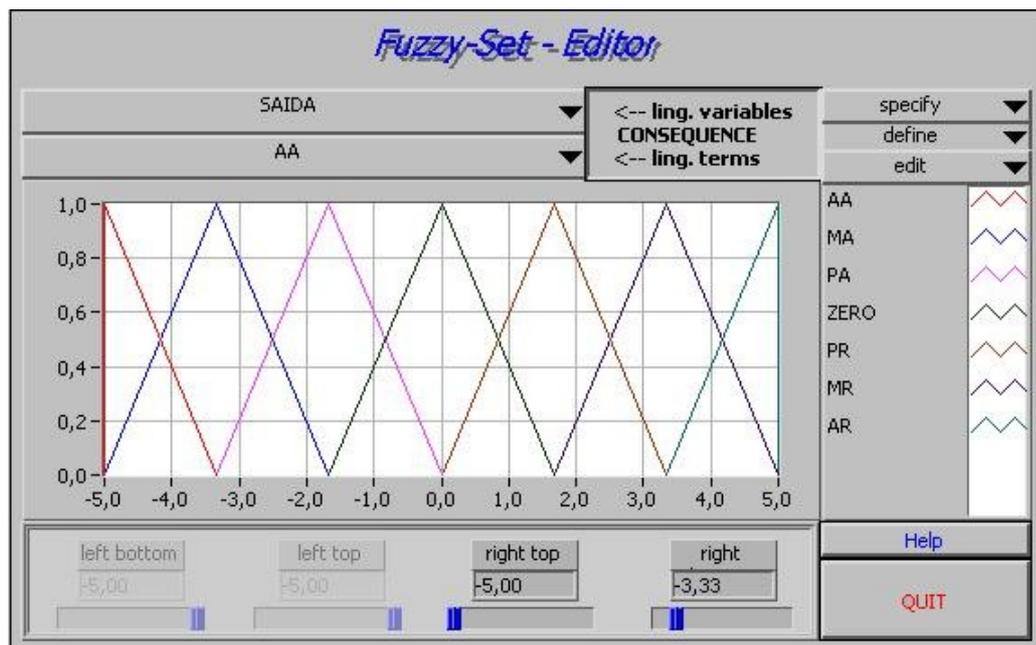


Figura 55 - Variável Linguística de Saída

4.2.4.4 Regras de Inferência

Para a realização do controle da saída foram adotadas as regras fuzzy citadas abaixo:

1. SE temperatura é Muito Fria E variação de temperatura é Negativa Alta ENTÃO saída é Alto Aquecimento
2. SE temperatura é Muito Fria E variação de temperatura é Negativa Média ENTÃO saída é Alto Aquecimento
3. SE temperatura é Muito Fria E variação de temperatura é Negativa Baixa ENTÃO saída é Alto Aquecimento
4. SE temperatura é Muito Fria E variação de temperatura é Positiva Baixa ENTÃO saída é Médio Aquecimento

5. SE temperatura é Muito Fria E variação de temperatura é Positiva Média ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
6. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Negativa Alta ENTÃO saída é Alto Aquecimento
7. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Negativa Média ENTÃO saída é Alto Aquecimento
8. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Negativa Baixa ENTÃO saída é Médio Aquecimento
9. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Positiva Baixa ENTÃO saída é Médio Aquecimento
10. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Positiva Média ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
11. SE temperatura é Fria E variação de temperatura é Positiva Alta ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
12. SE temperatura é Pouco Fria E variação de temperatura é Negativa Alta ENTÃO saída é Alto Aquecimento
13. SE temperatura é Pouco Fria E variação de temperatura é Negativa Média ENTÃO saída é Médio Aquecimento
14. SE temperatura é Pouco Fria E variação de temperatura é Negativa Baixa ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
15. SE temperatura é Pouco Fria E variação de temperatura é Positiva Baixa ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
16. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Negativa Alta ENTÃO saída é Médio Aquecimento
17. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Negativa Média ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
18. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Negativa Baixa ENTÃO saída é Zero
19. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Positiva Baixa ENTÃO saída é Zero
20. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Positiva Média ENTÃO saída é Baixo Resfriamento
21. SE temperatura é Morna E variação de temperatura é Positiva Alta ENTÃO saída é Médio Resfriamento

22. SE temperatura é Pouco Quente E variação de temperatura é Negativa
Baixa ENTÃO saída é Baixo Resfriamento
23. SE temperatura é Pouco Quente E variação de temperatura é Positiva
Baixa ENTÃO saída é Baixo Resfriamento
24. SE temperatura é Pouco Quente E variação de temperatura é Positiva
Média ENTÃO saída é Médio Resfriamento
25. SE temperatura é Pouco Quente E variação de temperatura é Positiva
Alta ENTÃO saída é Médio Resfriamento
26. SE temperatura é Quente E variação de temperatura é Negativa Média
ENTÃO saída é Baixo Resfriamento
27. SE temperatura é Quente E variação de temperatura é Negativa Baixa
ENTÃO saída é Médio Resfriamento
28. SE temperatura é Quente E variação de temperatura é Positiva Baixa
ENTÃO saída é Médio Resfriamento
29. SE temperatura é Quente E variação de temperatura é Positiva Média
ENTÃO saída é Alto Resfriamento
30. SE temperatura é Quente E variação de temperatura é Positiva Alta
ENTÃO saída é Alto Resfriamento
31. SE temperatura E é Muito Quente variação de temperatura é Negativa
Média ENTÃO saída é Baixo Aquecimento
32. SE temperatura E é Muito Quente variação de temperatura é Negativa
Baixa ENTÃO saída é Médio Aquecimento
33. SE temperatura E é Muito Quente variação de temperatura é Positiva
Baixa ENTÃO saída é Alto Resfriamento
34. SE temperatura E é Muito Quente variação de temperatura é Positiva
Média ENTÃO saída é Alto Resfriamento
35. SE temperatura E é Muito Quente variação de temperatura é Positiva Alta
ENTÃO saída é Alto Resfriamento

Na Tabela 7 são apresentadas, resumidamente, as regras de inferência, onde T é a temperatura e ΔT é a variação de temperatura.

Podemos observar na tabela 7 que as regras de inferência não atenderam todos os quadrantes possíveis. Sete quadrantes foram deixados sem regras devido

ao sistema térmico não ter condições de atender estes quadrantes, sendo desnecessário a ativação das regras.

Tabela 7 – Regras de Inferência

$\Delta T/T$	MF	F	PF	M	PQ	Q	MQ
NA	AA	AA	AA	MA	-	-	-
NM	AA	AA	MA	BA	-	PR	PR
NB	AA	MA	PA	Z	PR	MR	MA
PB	MA	MA	PA	Z	PR	MR	AR
PM	PA	PA	-	BR	MR	AR	AR
PA	-	PA	-	MR	MR	AR	AR

A Figura 56 apresenta a interface gráfica do editor de regras fuzzy do LabVIEW, onde são implementadas as regras, verificarmos que podemos inserir regra a regra uma saída no sistema com pesos caso necessário e podemos também escolher o método de defuzzificação (Centro de Massa, Média dos Máximos e Primeiro Máximo), neste estudo é o primeiro máximo, observe também na figura a quantidade de regras implementadas, um total de 42, das quais 35 são usadas.

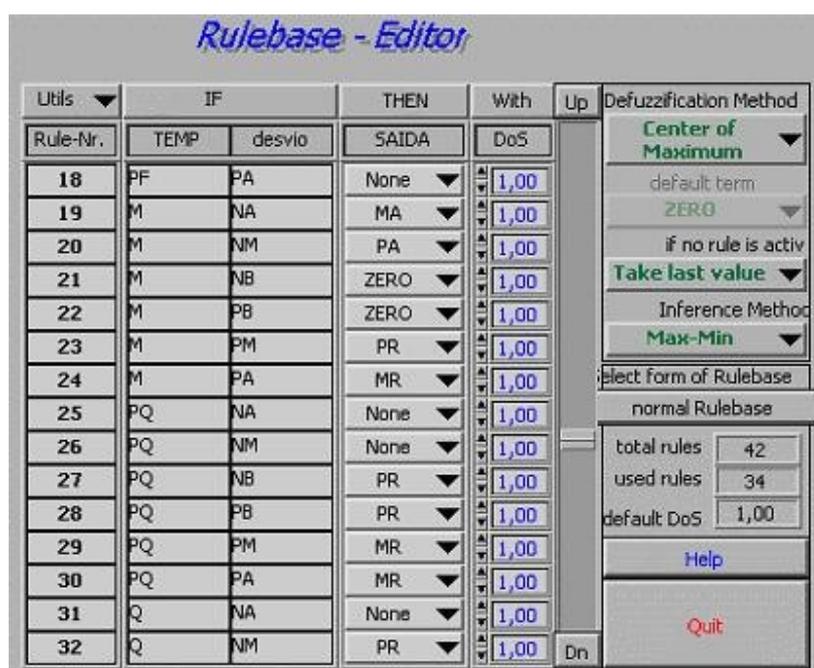


Figura 56 - Editor de Regras Fuzzy do LabView

4.2.4.5 Defuzzificação

O LabVIEW permite que a defuzzificação, isto é, a aplicação das regras de inferência sobre as entradas, seja observada e testada ponto a ponto na interface gráfica denominada "I/O Characteristics", como mostra a Figura 57.

Nesta interface é possível variar as entradas e observar o comportamento da saída, para fins de visualização. Mas este recurso possui a limitação de não possibilitar a variação de todas as entradas ao mesmo tempo, ou seja, apenas é possível variar uma entrada, mantendo as outras fixas.

Para obter a composição das relações fuzzy, utiliza-se a operação MÍN-MÁX, onde a primeira relação é dada pelas entradas e a segunda relação é dada pelas regras. Quando uma determinada entrada é "ativada", um conjunto de regras é "disparado", isto é, aplicando-se o Modus Ponens sobre as entradas e sobre as regras resultará em conjuntos Fuzzy cujos graus de pertinência são não nulos. O processo de aplicar a operação MÍN-MÁX usando o Modus Ponens como regra de inferência é conhecido como Mamdani.

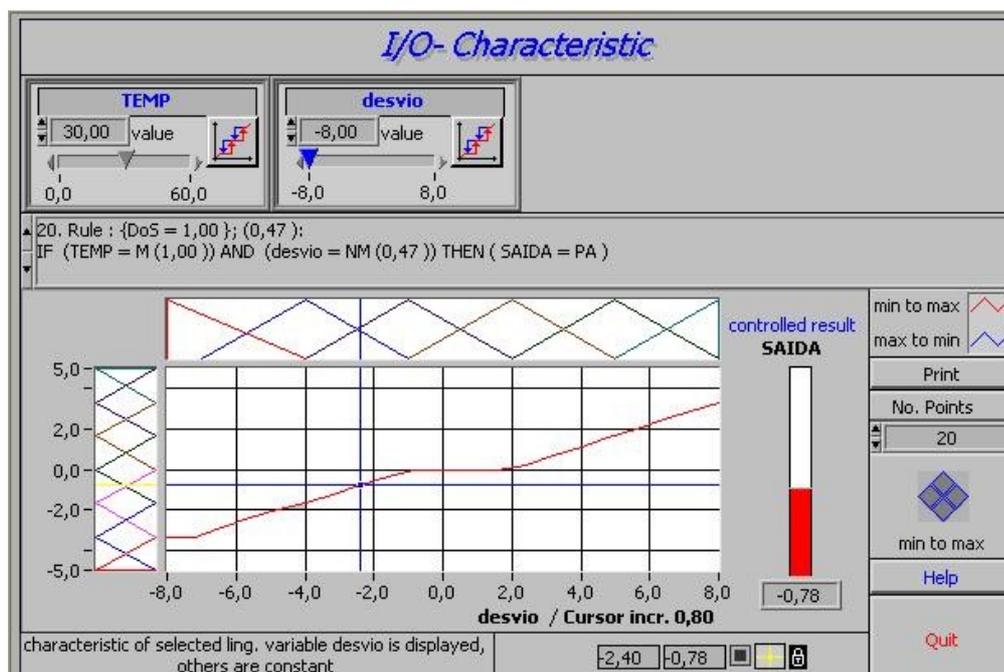


Figura 57 - Interface gráfica I/O Characteristics

Os métodos de defuzzificação mais utilizados são o Centro de Massa e a Média dos Máximos, sendo utilizado neste projeto o método Centro de Massa.

A figura 58 é possível observar o sistema em funcionamento na tela de diagrama de blocos.

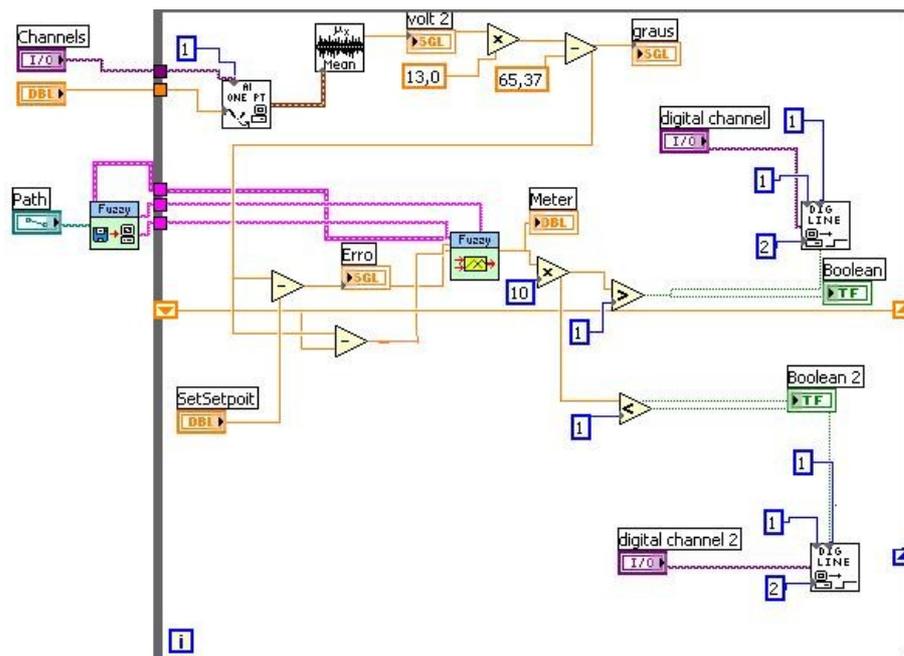


Figura 58 - Diagrama de blocos e interligações

Onde podemos verificar que o controle fuzzy inserido no modelo experimental funcionou dentro das expectativas, mas não tão rápido como o controle PID. Mostramos que o ambiente LABVIEW fornece uma flexibilidade para aplicar vários tipos de controle ON/OFF, PID e FUZZY, num mesmo modelo sem a necessidade de outra interface I/O como mostra a figura 59.

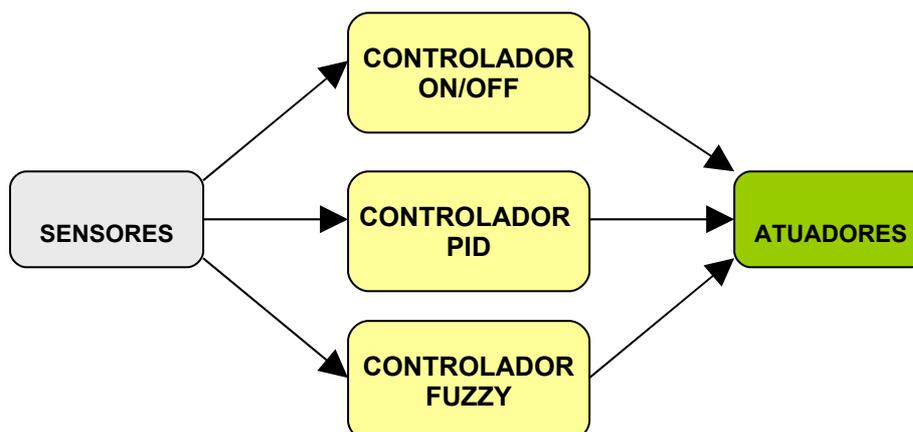


Figura 59 - Flexibilidade LABVIEW

4.3 Controle de Velocidade

Como já foi demonstrado no primeiro modelo experimental na seção 4.2 detalhamos o controle em três níveis de aprendizagem, decidimos priorizar apenas os controladores Fuzzy nos próximos modelos que representam o tema deste projeto.

O controle de velocidade a ser investigado é baseado no que foi retratado no item 3.2, sendo o sensor de velocidade o encoder onde trataremos o sinal de entrada (1000xPPR) pelo diagrama na figura 60 de forma que o resultado de saída seja em RPM medida pelo sensor. Diferente do exemplo anterior, ao invés de ter um setpoint fixo 30°C, nós modificamos a planta para um setpoint variável onde podemos ajustar a velocidade, sendo consideradas como entradas do sistema, a variação de rotação (erro) e a diferença do erro em relação ao tempo (de/dt).

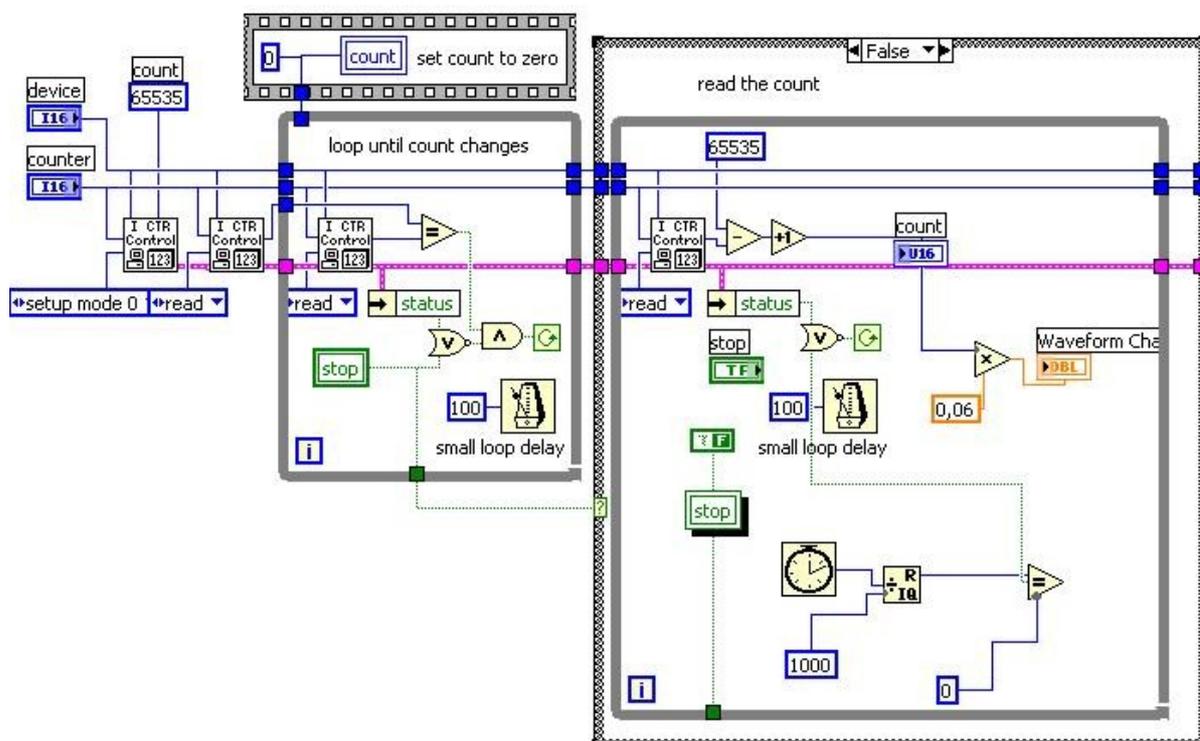


Figura 60 - Tratamento de sinal de entrada do encoder

4.3.1 Nível de aprendizagem Avançado – controle de velocidade com Controlador Fuzzy

Neste sistema utilizamos para saída de controle o sinal analógico de controle do conversor de frequência que tem um range de 0 à 10Volts, para não ultrapassar a rotação máxima do motor de 1740 RPM, vamos restringir o range de aplicação de 0 à 5 Volts.

4.3.1.1 Termos linguísticos

As variáveis de entrada e saída são apresentadas respectivamente na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 – Termos Linguísticos – Entradas

Variáveis	Erro (e)	<i>de/dt</i>
Termos	Positiva (VP) Normal (VM) Negativa (VN)	Alta (TA) Normal (TM) Baixa (TB)
Universo de discurso	Variação de velocidade está no intervalo de [-25,25]	Variação do tempo está no intervalo de [-3.5,3.5]

Tabela 9 – Termos Linguísticos – Saída

Variáveis	Saída
Termos	Alto positiva (AP) Médio Positiva (MP) Baixo Positiva (BP) Zero (Z) Baixo Negativa (BN) Médio Negativa (MN) Alto Negativa (AN)
Universo de discurso	Saída está no intervalo [0,5]

4.3.1.2 Fuzzificação

Foram utilizadas, para o processo de fuzzificação, as funções triangular e trapezoidal. Na interface de edição de conjuntos fuzzy do LabVIEW as variáveis de entrada são denominadas antecedentes.

A Figura 61 apresenta a variável de erro, onde:

- Variação Positiva (VP) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[0,25]$ e nulo fora desse intervalo;
- Variação Média (VM) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-2,2]$ e nulo fora desse intervalo;
- Variação Negativa (VN) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[-25,0]$ e nulo fora desse intervalo;

A Figura 62 apresenta a variável de de/dt , onde:

- Tempo Alto (VP) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[0;3]$ e nulo fora desse intervalo;
- Tempo Médio (VM) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-0,5;0,5]$ e nulo fora desse intervalo;
- Tempo Baixo (VB) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[-3;0]$ e nulo fora desse intervalo;

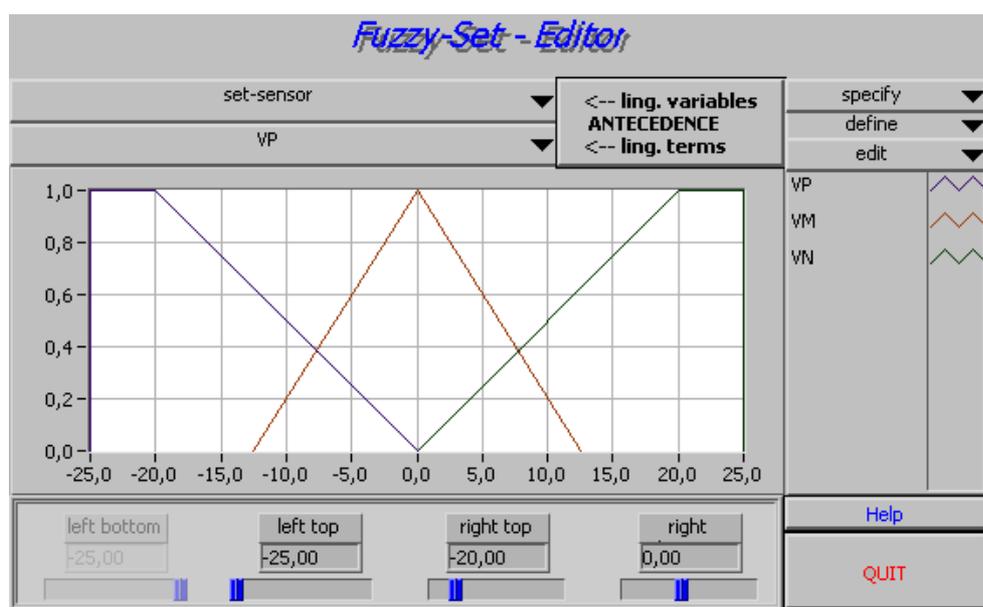


Figura 61 - Variáveis Linguísticas de entrada

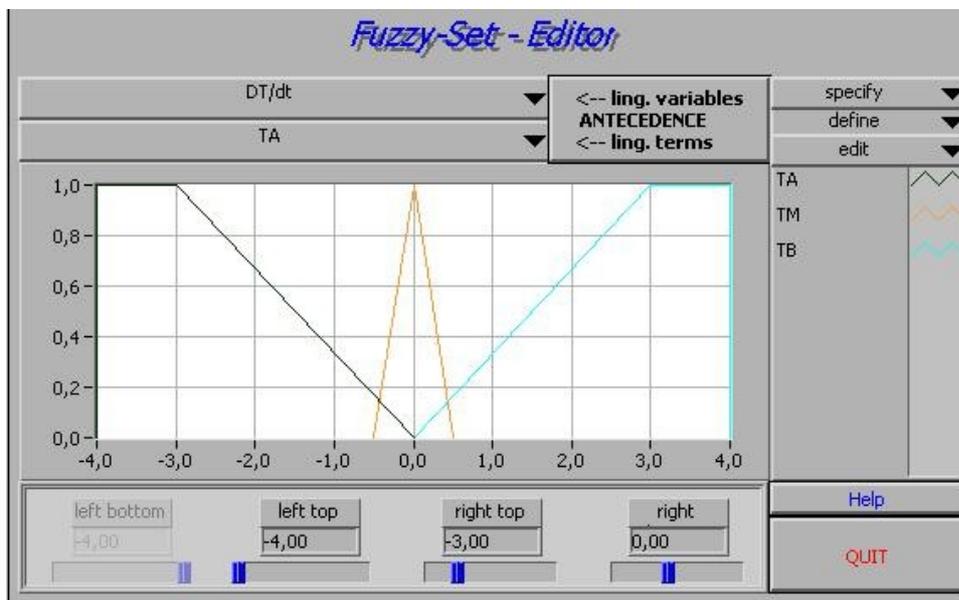


Figura 62 - Variáveis Linguísticas de entrada

A Figura 63 apresenta a variável Saída, onde:

1. Alta Positiva (AP) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[0;0,83]$ e nulo fora desse intervalo;
2. Médio Positiva (MP) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[0;-1, 7]$ e nulo fora desse intervalo;
3. Baixo Positiva (BP) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-0,83;2,5]$ e nulo fora desse intervalo;
4. Zero (Z) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-1,7;3,3]$ e nulo fora desse intervalo;
5. Baixo Negativo (BN) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[2,5;4, 1]$ e nulo fora desse intervalo;
6. Médio Negativo (MN) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[3,3;5]$ e nulo fora desse intervalo;
7. Alto Negativo (AN) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[4,1;5]$ e nulo fora desse intervalo.

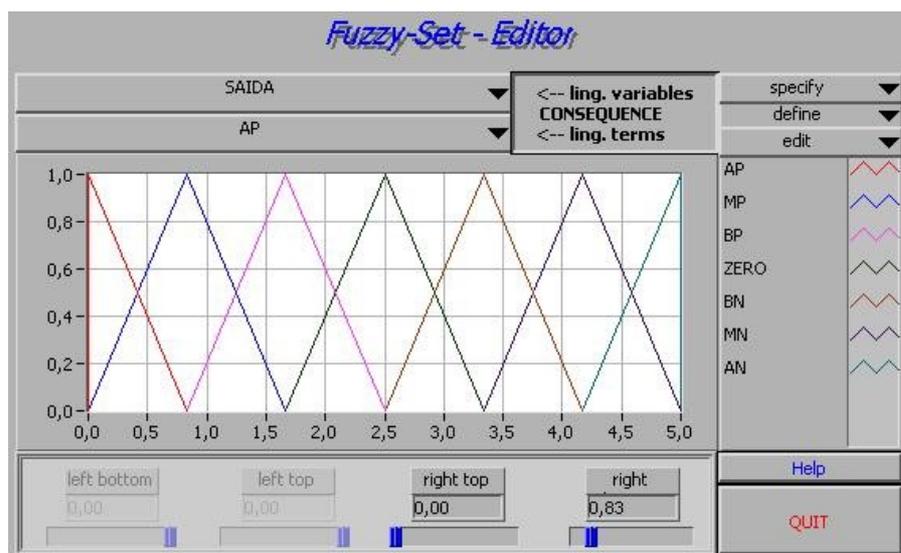


Figura 63 - Variáveis Linguísticas de saída

Na Tabela 10 são apresentadas, resumidamente, as regras de inferência, onde e é o erro e de/dt é a variação em relação ao tempo.

Tabela 10 – Regras de Inferência

$e(de/dt)$	TB	TM	TA
VP	AP	BP	-
VM	MP	Z	MN
VN	-	BN	AN

A Figura 64 apresenta a interface gráfica do editor de regras fuzzy do LabVIEW, onde são implementadas as regras, verificarmos que podemos inserir regra a regra uma saída no sistema com pesos caso necessário e podemos também escolher o método de defuzzificação, neste estudo é o centro de máximo, observe também a quantidade de regras que são nove. Podemos observar que as regras de inferência não atenderam todos os quadrantes possíveis. Dois quadrantes foram deixados sem regras, porque o sistema não tem condições de atender estes quadrantes fisicamente, sendo desnecessário a ativação destas regras.

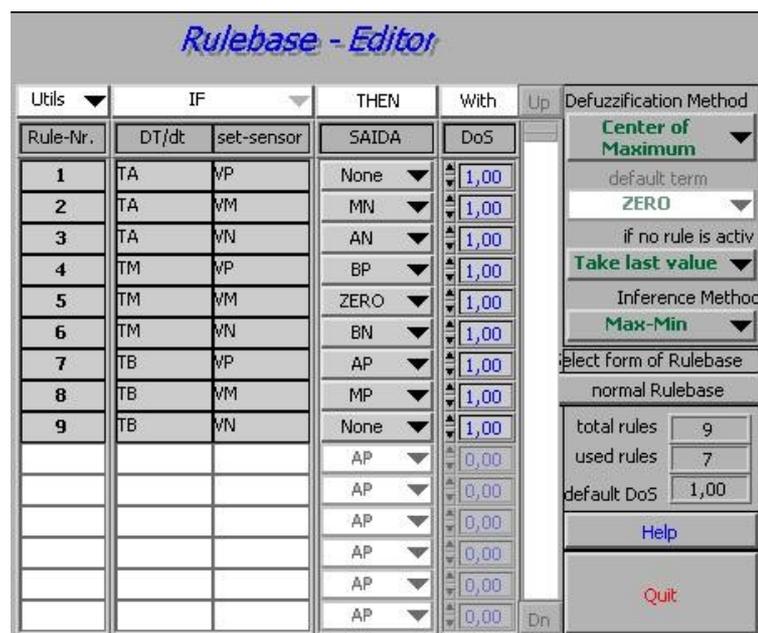


Figura 64 - Fuzzy Contoller Editor

4.3.1.3 Defuzzificação

O LabVIEW permite que a defuzzificação, isto é, a aplicação das regras de inferência sobre as entradas, seja observada e testada ponto a ponto na interface gráfica denominada "I/O Characteristics", como mostra a Figura 65.

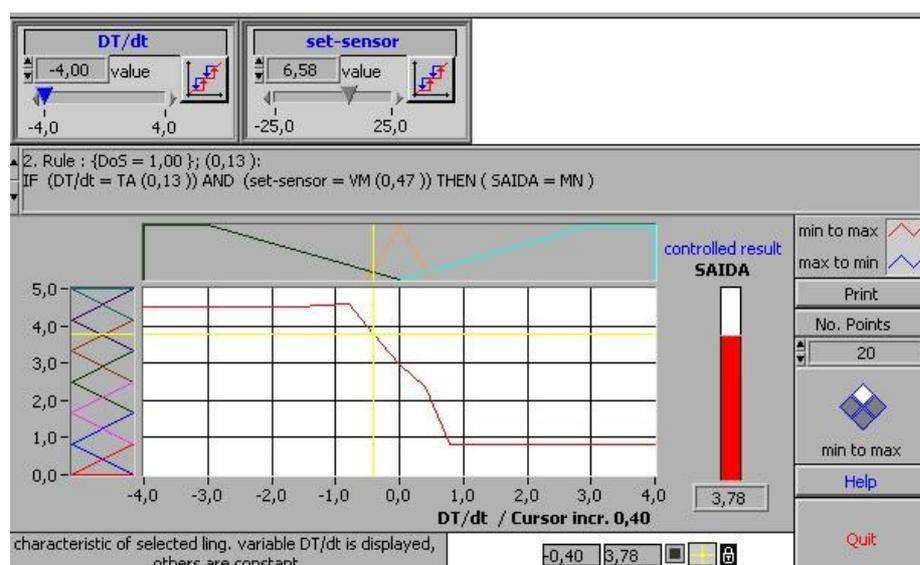


Figura 65 - Interface gráfica I/O Characteristics

Nesta interface é possível variar as entradas e observar o comportamento da saída. Mas este recurso possui a limitação de não possibilitar a variação de todas as entradas ao mesmo tempo, ou seja, apenas é possível variar uma entrada, mantendo as outras fixas.

Os métodos de defuzzificação mais utilizados são o Centro de Massa e a Média dos Máximos, sendo utilizado neste projeto o método Centro de Massa.

Por exemplo, utilizando os valores da Figura 85 teremos estamos na regra 2:

- Para Variação de rotação, a ativação da regra VM = (0,47 μ) graus de pertinência;
- Para Variação do tempo, a ativação da regra TA = (0,13 μ) graus de pertinência;
- Resultando na composição, se $de/dt = TA (0.13)$ E $e = VM (0.47)$ ENTÃO a saída = MN (3.78), onde VM é representado na Tabela 11;

Realizando a defuzzificação pelo método do Centro de Massa o nível de tensão encontrado para a saída é de 3,78V, sendo assim, ativou o controlador de velocidade para corrigir a rotação.

4.4 Pendulo Invertido

O experimento do pendulo invertido por ter uma caracteristica de controle PD (Proporcional Derivativo), ou seja, tem a necessidade de uma intervenção rapida para o controle ser eficaz. Devido a problemas de hardware, tais como tempo de resposta em função da taxa de comunicação da interface, o controle não teve um favoravel em relação a estabilidade do Pendulo. Talvez com a mudança do hardware SCXI-2000 que utiliza uma comunicação RS232 para uma interface NI USB6008 como indicado na pagina 124 no anexo II – Ambiente LabView, este novo hardware além de ser mais compacto, ele é mais rápido pois utiliza uma comunicação via porta USB.

Por este motivo priorizamos apenas um ensaio de comparação utilizando o simulador Matlab de um controlador PID e um controlador nebuloso.

4.4.1 Nível de aprendizagem Intermediário – controle do pêndulo com Controlador PID

A implementação do sistema foi desenvolvida no Simulink. O Simulink permite a simulação de fenômenos físicos e, assim, ajustar os controladores para que eles tenham o melhor desempenho. As simulações foram feitas iniciando-se com a construção do diagrama de blocos que representa o sistema pêndulo invertido. Definiu-se como zero a posição de referencia, ou seja, a posição de equilíbrio do Pêndulo. Colocou-se o bloco para o controlador; acrescentou-se um bloco (*Transfer Fcn*) que possui o modelo matemático do pêndulo invertido, equação 44. Fez-se a realimentação da saída do sistema para comparação entre a referencia e a posição atual, gerando um sinal de erro para que o controlador possa atuar.

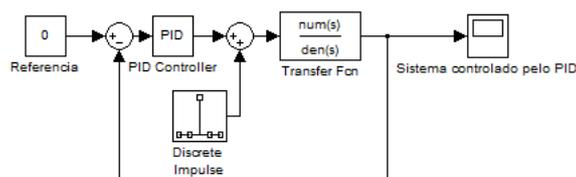


Figura 66 - Modelo Simulink para Controlador PID

Os parâmetros utilizados no controlador PID são: $P = 100$, $I = 1$ e $D = 20$.

Nível de aprendizagem Avançado – controle do pêndulo com Controlador Fuzzy

Baseado na observação e análise do movimento do pêndulo invertido e nos conhecimentos da física newtoniana, definiu-se que as variáveis de entrada, posição e velocidade angular fossem interpretadas como medidas nebulosas. A tabela de inferência representa a ação do controlador para as situações possíveis nas quais o modelo pode se encontrar.

Os termos linguísticos da posição angular foram escolhidos dentro de um range de -5 a +5 volts, que é o valor do canal de entrada da placa, são eles:

- Muito a Esquerda (ME) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[-5,-1]$ e nulo fora desse intervalo;
- Pouco a Esquerda (PE) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-2,0]$ e nulo fora desse intervalo;
- Centro (C) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-0.3,0.3]$ e nulo fora desse intervalo;
- Pouco a Direita (PD) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[0,2]$ e nulo fora desse intervalo;
- Muito a Direita (MD) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[1,5]$ e nulo fora desse intervalo;

A Figura 67 apresenta a variável entrada posição angular:

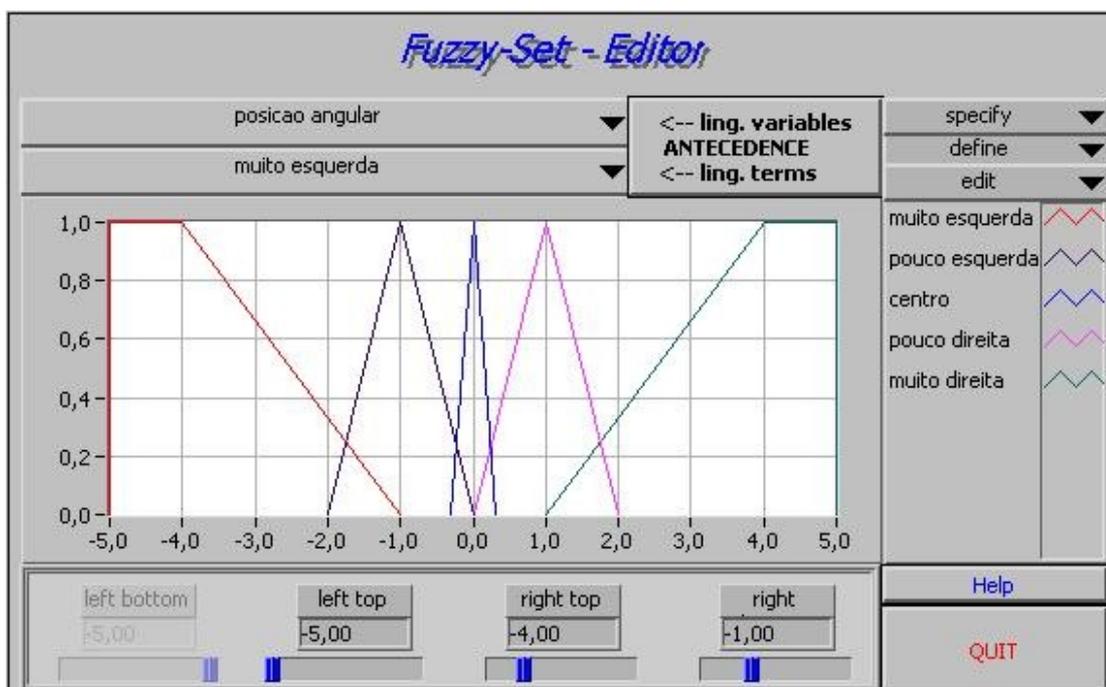


Figura 67 - Regras da variavel posição angular

Os termos linguísticos da Velocidade angular foram escolhidos dentro de um range de -45 a 45 , são eles:

- Esquerda (E) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[-45,0]$ e nulo fora desse intervalo;
- Zero (Z) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-3.75,3.75]$ e nulo fora desse intervalo;

- Direita (D) é uma função trapezoidal com valor não nulo no intervalo $[0,45]$ e nulo fora desse intervalo;

A Figura 68 apresenta a variável entrada Velocidade angular:

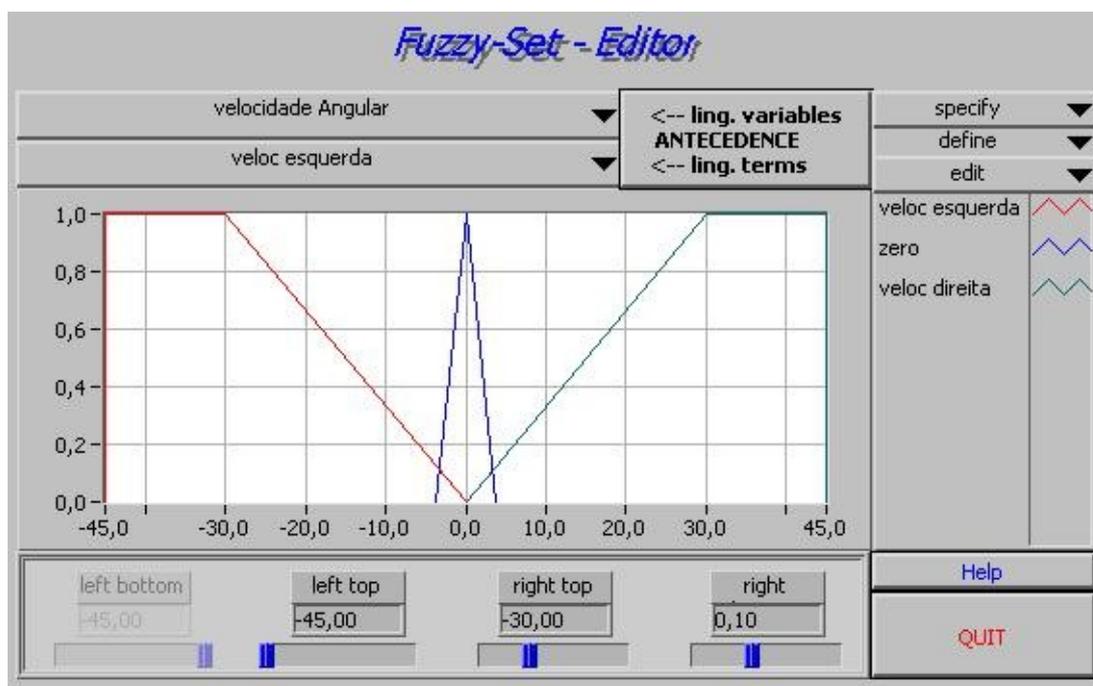


Figura 68 - Regras da variavel Velocidade angular

Os termos linguísticos da saída foram escolhidos dentro de um range de -3.5 a 3.5, devido a tensão de funcionamento do motor, são eles:

- Muito Negativo (MN) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-3.5,-1.5]$ e nulo fora desse intervalo;
- Médio Negativo (N) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-3.5,-0.58]$ e nulo fora desse intervalo;
- Pouco Negativo (PN) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-1.75,0]$ e nulo fora desse intervalo;
- Zero (ZZ) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[-0.23,0.23]$ e nulo fora desse intervalo;
- Pouco Positivo (PP) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo $[0,1.75]$ e nulo fora desse intervalo;

- Médio Positivo (P) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [0,58,3,5] e nulo fora desse intervalo;
- Muito Positivo (MP) é uma função triangular com valor não nulo no intervalo [1,5,3,5] e nulo fora desse intervalo;

A Figura 69 apresenta a variável saída do Motor:

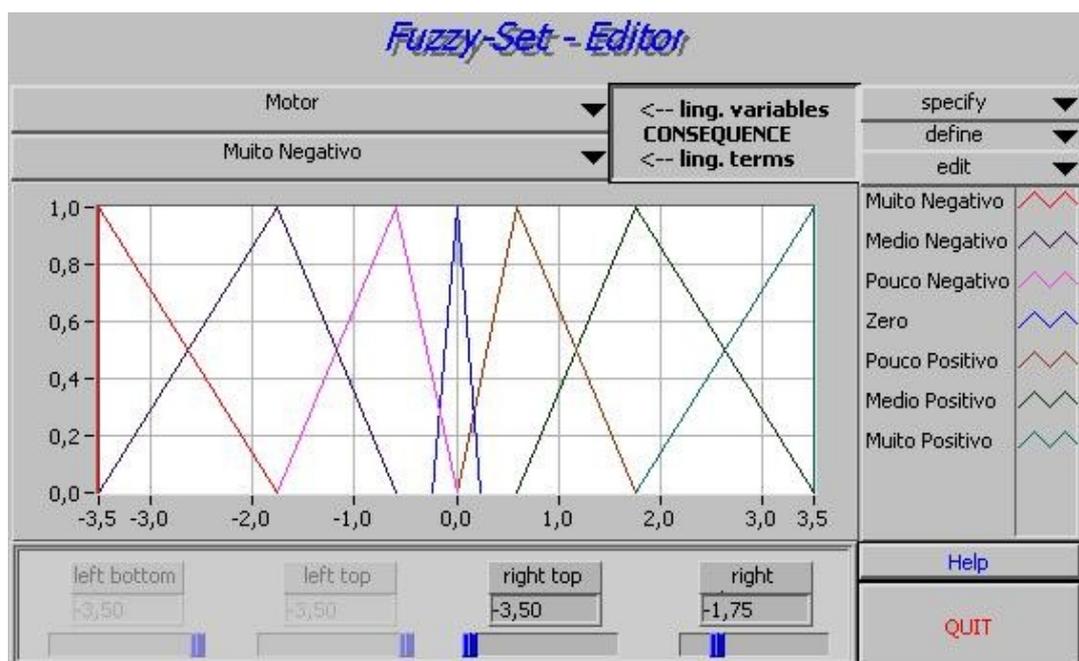


Figura 69 - Regras da variável Saida Motor

4.4.3 Regras de Inferência

Para a realização do controle da saída foram adotadas as regras fuzzy, as regras de inferência estão resumidamente apresentadas, na Tabela 11, onde α é a posição angular e $\Delta\alpha$ é a velocidade angular.

Tabela 11 – Regras de Inferência

$\Delta\alpha\alpha$	ME	PE	C	PD	MD
E	MP	P	PP	-	-
Z	P	PP	ZZ	PN	N
D	-	-	PN	N	MN

O experimento do pendulo invertido por ter uma caracteristica de controle PD (Proporcional Derivativo), ou seja, tem a necessidade de uma intervenção rapida para o controle ser eficaz. Devido a problemas de hardware, tais como tempo de resposta em função da taxa de comunicação da interface, o controle não teve um favoravel em rela o a estabilidade do Pendulo. Talvez com a mudança do hardware SCXI-2000 que utiliza uma comunicação RS232 para uma interface NI USB6008 como indicado na pagina 124 no anexo II – Ambiente LabView, este novo hardware além de ser mais compacto, ele é mais rápido pois utiliza uma comunicação via porta USB.

Por este motivo priorizamos apenas um ensaio de comparação utilizando o simulador Matlab.

As mesmas funções de pertinência foram inseridas no Matlab. O *Toolbox Fuzzy* permite duas formas de verificação do controlador: o *Rule Viewer* e o *Surface*. Com o Rule Viewer   possível selecionar valores para as variáveis de entrada e verificar como o controlador *Fuzzy* responde a cada regra previamente estipulada, além do valor numérico obtido na defuzzificação, como mostra a figura 70.

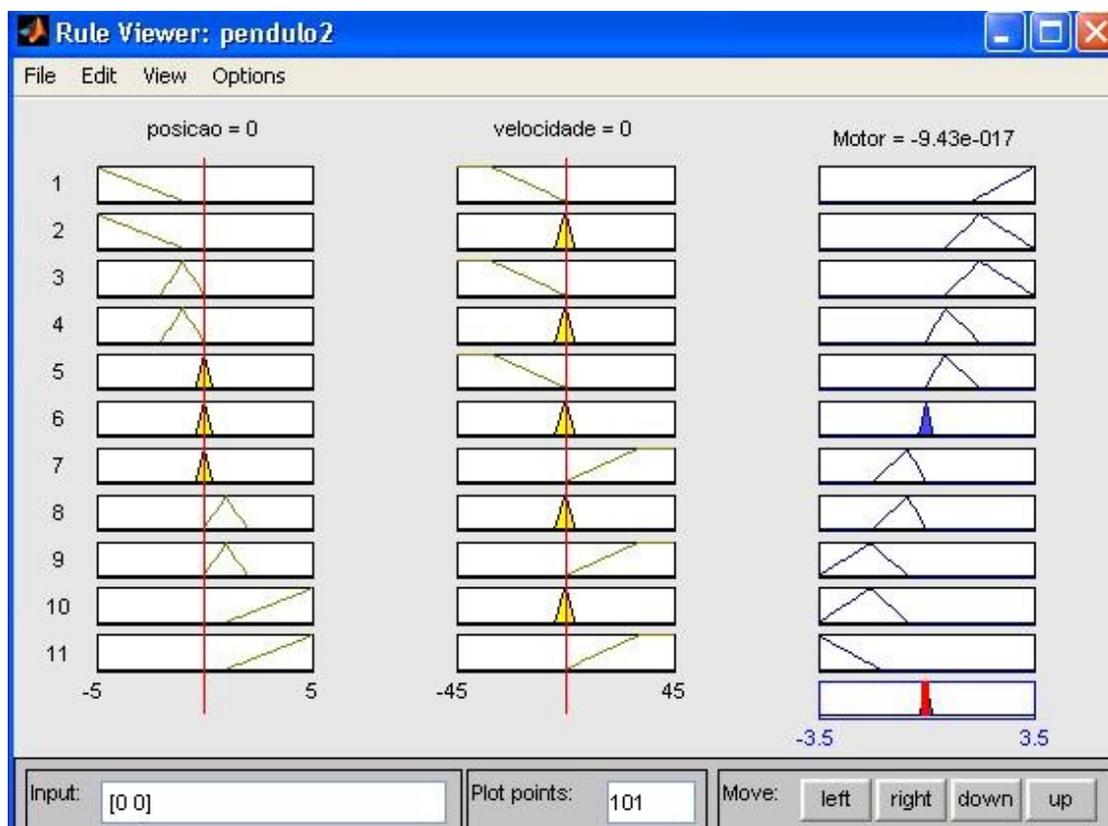


Figura 70 - Rule Viewer

O *Surface* permite verificar todas as relações entre entrada e saída por meio de uma superfície que relaciona duas variáveis de entrada com uma variável de saída, como mostra na figura 71.

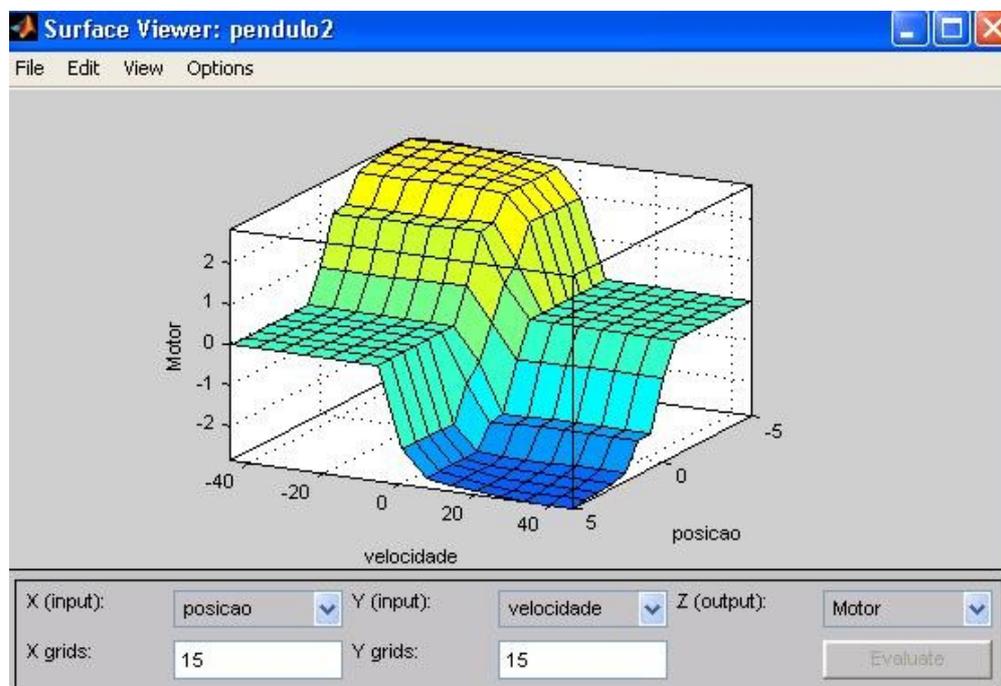


Figura 71 - Surface Viewer

O controlador *Fuzzy* possui como entrada, além da posição do Pêndulo, a velocidade angular da barra, que é obtida por meio da derivada da posição.

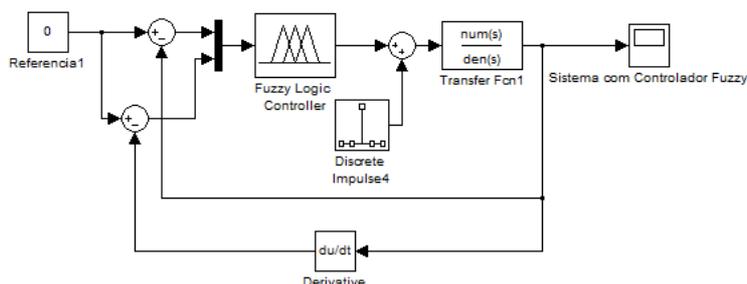


Figura 72 - Modelo Simulink para Controlador *Fuzzy*

4.4.4 Comparação dos resultados

Observa-se que o sistema com o controlador PID apresenta uma boa reação ao distúrbio voltando à posição inicial em pouco mais de 2 segundos.

A planta de simulação para o controlador PID desenvolvido por Messner & Tilbury (2008) apresentou o resultado ilustrado na figura 73:

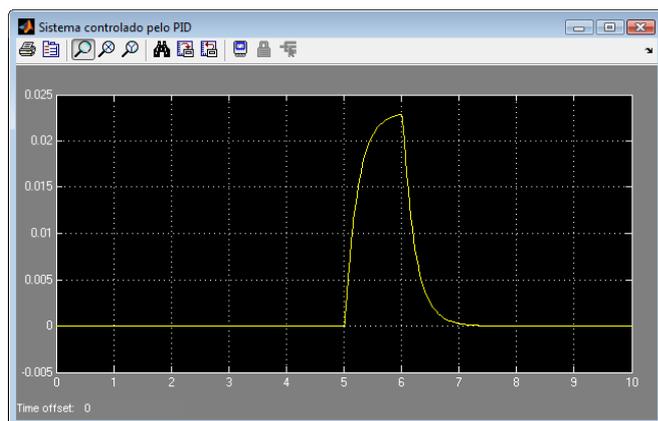


Figura 73 - Resposta do modelo com o Controlador PID

Os resultados obtidos têm por finalidade avaliar o desempenho, assim como a robustez do controlador nebuloso para o problema do pêndulo invertido, comparando-o com um método de controle clássico, o controlador PID desenvolvido por Messner e Tilbury (2008).

O controlador *Fuzzy* conseguiu ser mais eficiente quanto à resposta ao distúrbio porém, há um pequeno erro em regime permanente após o distúrbio. A reação ao distúrbio ficou em pouco mais de 1 segundo, como ilustrado na figura 74.

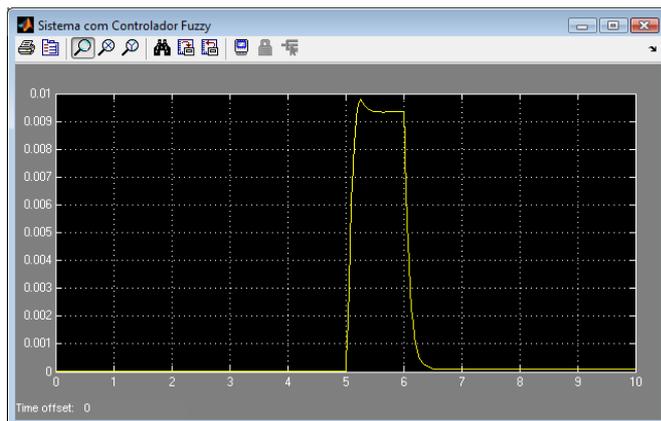


Figura 74 - Resposta do modelo com o Controlador *Fuzzy*

A tabela 12 mostra a comparação entre os dois controladores:

Tabela 12 – Comparação dos resultados do controlador PID e *Fuzzy*.

Controlador	Sinal de Controle	Tempo de acomodação
PID	-1,18 V	2 Seg
Fuzzy	-1,18 V	1,4 Seg

A comparação dos resultados é feita a partir de duas situações idênticas nos dois controladores, que após sua estabilidade, decorridos 5 segundos é adicionado um distúrbio do tipo impulso unitário para verificar o comportamento do controlador. Como mostrado nas figuras 75 e 76 obtivemos a mesma intensidade no sinal de controle de 1,18 Volts, entretanto o resultado se apresentou diferente, sendo o controlador Fuzzy, 30% mais rápido que o controlador PID.

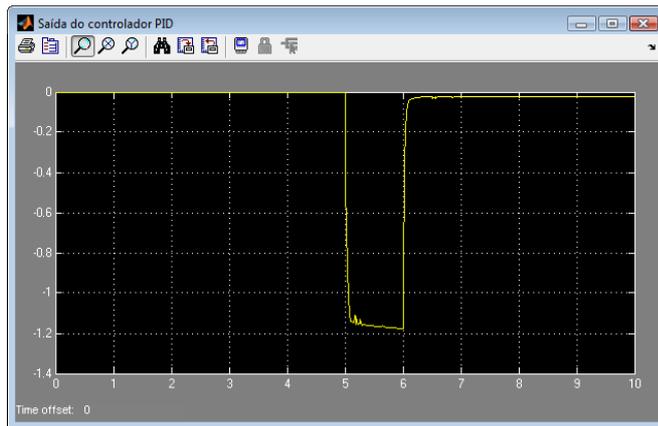


Figura 75 - Sinal de Controle do Controlador PID

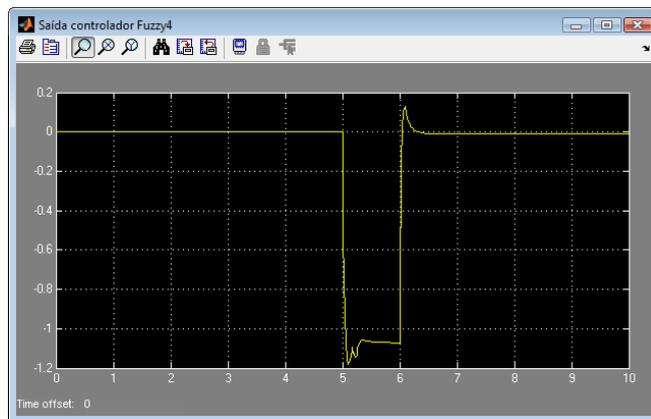


Figura 76 - Sinal de Controle do Controlador Fuzzy

5 CONCLUSOES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desta pesquisa foi propor um ambiente de aprendizagem, contribuindo para melhoria de métodos e procedimentos experimentais na área de controle.

Para tal foram investigados três níveis de aprendizado, variando desde a Graduação até a Pós-Graduação (Latu e Strictu Senso).

A pesquisa se baseou na resposta de um conjunto de questões aplicada nos profissionais de ensino envolvidos com a disciplina de controle e automação na Engenharia Elétrica.

Através destes questionários diversas sugestões para a melhoria da qualidade do ensino das disciplinas correlatas à controle e automação. Foram feitas dentre elas as principais são as seguintes:

- Reformulação das bancadas e ambiente de trabalho laboratorial.
- Criação de novos protótipos que reflitam aplicações industriais.
- Reformulação das experiências de laboratórios incluindo a lógica nebulosa com simulações em MATLAB e LABVIEW.

No tocante a reformulação das bancadas foi sugerido rever um novo Layout do laboratório e uma nova disposição de equipamentos por bancadas.

Com relação aos protótipos, a idéia foi usar os protótipos realizados pelos alunos de Graduação e Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia, que utilizam materiais de baixo custo e disponíveis no mercado.

Em relação ao conjunto de experiências foram incluídas as seguintes.

- Sistema Térmico
- Controle de Velocidade de motores de indução
- Pendulo Invertido

Esses experimentos devem ser realizados usando os métodos clássicos de controle e também a lógica nebulosa.

Ao final deste trabalho apresentamos os resultados dessas experiências que foram testadas exaustivamente usando o ambiente LABVIEW.

Os resultados apresentados indicam que os alunos egressos dos cursos com esta nova formatação, foram bastante promissores, devem estar mais aptos para o mercado de trabalho sendo melhor aproveitados no parque industrial.

No Futuro, com a implementação deste ambiente de aprendizagem teremos condições de ampliar mais os experimentos nas disciplinas dos cursos mencionados, criando um laboratório multi-usuário onde poderíamos criar novas aulas com novos conceitos, como por exemplo, “Problem-based learning” (PBL) Aprendizado Baseado em Problemas onde destaca o uso de um contexto clínico para o aprendizado, promove o desenvolvimento da habilidade de trabalhar em grupo, e também estimula o estudo individual, de acordo com os interesses e o ritmo de cada estudante. Sendo sua metodologia enfatiza centrado no estudante com aprendizado auto-dirigido.

REFERÊNCIAS

- A., P. L. F. and M., L. J. C., Reestructuring of the teaching of automation and control through the implementation of laboratories, <http://www.ineer.org/events/icee1998/icee/papers/436.pdf>, International Conference of Engineering Education, Rio de Janeiro, 1998.
- ALIPERTI, J. Gerenciamento de Alarmes: uma Situação Alarmante. *Brasil In Tech*, (70):18–21, Abril 2005.
- ALVES FILHO M. Pesquisadores o mundo da mecatrônica a alunos de escolas públicas. Portal Unicamp. Edição 223 . 2003.
- ANTSAKLIS, P. J., New directions in control engineering education: A north american perspective, Preprints of the IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education Session 2 - Plenary Session, Gold Coast, Austrália, 2000.
- ASTROM, K. J. and OSTBERG, A., A teaching laboratory for process control, *IEEE Control Systems Magazine* pp. 37– 42, 1986.
- ÅSTRÖM, K.J. and HÄGGLUND, T. The future of PID control. *Control Engineering Practice*, Vol. 9, n° 11, pp. 1163–1175, 2001.
- AUER, M.; PESTER, A.; URSUTIU, D.; SAMOILA, C. Distributed Virtual and Remote Labs in Engineering. In: *IEEE International Conference on Industrial technology (ICIT)*, 2003, Maribor, Slovenia. **Proceedings...** New York: IEEE, v. 2, p. 1208 – 1213, 2003.
- BERNSTEIN, D., Enhancing undergraduate control education, *IEEE Control Systems Magazine* 19(5): 40–42, 1999.
- BISSELL, C., Control education: Time for a radical change?, *IEEE Control Systems Magazine* 19(5): 44–49, 1999.
- BONADIMAN, H; NONENMACHER, S. E. B. O gostar e o aprender no ensino de Física: uma proposta metodológica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v.24, n.2, p.194-223, ago. 2007.
- BRASIL, Resolução do CONFEA nº 218, de 29 de junho de 1973. Discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia, *Diário Oficial da União*, 1973.
- _____, Resolução do CONFEA nº 48, de 27 de abril de 1976. Fixa os Mínimos de Conteúdo e de Duração do Curso de Graduação em Engenharia, e define sua Área e Habilitações, *Diário Oficial da União*, 1976.

_____, Medida Provisória nº 711, de 17 de novembro de 1994. Art. 6º O Ministério da Educação e do Desporto exerce as atribuições do Poder Público Federal em matéria de educação, Diário Oficial da União, 1994.

_____, Portaria do MEC nº 1694, de 27 de dezembro de 1994. Reconhece o Curso de Engenharia de Controle e Automação Industrial da Universidade Federal de Santa Catarina, Diário Oficial da União, 1994.

_____, Resolução do CONFEA n. 427, de 05 de março de 1999. Discrimina as atividades profissionais do Engenheiro de Controle e Automação, Diário Oficial da União, 1999.

BRUCIAPAGLIA, A. H. AND FARINES, J. M., Formação de recursos humanos em controle e automação industrial, Controle e Automação - SBA 2(4), 1990.

BRUCIAPAGLIA, A. H. AND FARINES, J. M., Enciclopédia de Automática: controle e automação – São Paulo Editora Blucher 45p, 2007.

CASTRUCCI, P.L., MORAES C.C., Engenharia de Automação Industrial, LTC, 2002

COOPER, M. The Challenge of Practical Work in a eUniversity - real, virtual and remote experiments. In: Information Society Technologies (IST), 2000, Nice, France. **Proceedings...** [S. l.: s. n.], 2000.

CORIAT, B., Automação Microeletrônica e Competitividade: Tendências do cenário Internacional. In, Automação, Competitividade e trabalho: A experiência internacional. SCHMITZ, H., & CARVALHO, R. Q., Humanismo, Ciência e Tecnologia, Hucitec, São Paulo, 1988.

COX, Earl. The fuzzy systems handbook. New York: AP Professional, 1994.

DE MASI, D. O ócio criativo. 2. ed. Rio de Janeiro: Sextante, 2000.

DORATO, P., Undergraduate control education in the u.s., IEEE Control Systems Magazine 19(5): 38–39, 1999.

FERRETTI, C. J. et all. (Org.) Novas Tecnologias, Trabalho e Educação: um debate multidisciplinar. 5. ed. Petrópolis: Vozes, 1999.

FIGUEIREDO, L.C., ALMEIDA, P.E.M., BRAGA, A.R., JOTA, F.G. & ARAÚJO, E.O., “Ambiente Integrado para análise e desenvolvimento de controladores difusos”, I SBAI – UNESP – Rio Claro / SP, pp. 291-299, 1993

GARCIA, M.F., A produção do conhecimento na escola pública por meio da pesquisa; O projeto da Ciência na escola. Tese de Doutorado, Faculdade de Educação FE/UNICAMP, Campinas – São Paulo, 2002.

GAWTHROP, P. AND MCGOOKIN, E., A lego-based control experiment, IEEE Control Systems pp. 43–56, 2004.

GIBBS, W. W. Software's Chonic Crisis. *Scientific American*, págs. 86–95, Setembro 1994.

GROOVER, M.P. & WEISS, M. at all. *Robótica tecnologia e programação*. McGraw Hill, São Paulo, 1988.

GRUYITCH, L. T. AND NESIC, D., A concept of department of control systems, Preprints of the IFAC/IEEE Symposium on Advances in Control Education, Session 6S - paper 2, Gold Coast, Austrália, 2000.

IRDAC-Industrial Research and Development Advisory Committee of the Commission of the European Communities, DESCR. FÍSICA: 55p. http://www.mecatronica.ufba.br/fr_noticias.html, 1990.

JOHANSEN, T. A.; Shorten, R. e Murray-Smith, R. (2000). On the interpretation and identification of dynamic Takagi-Sugeno models. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(3):297–313.

KANDEL, A.; LANGHOLZ, G., *Fuzzy Control Systems*. Tampa, FL: CRC Press, 1994.

KAZEMIAN, H. B., Developments of fuzzy PID controllers, *Expert Systems*, Tonbridge Kent, v.22, n.5, p.254–264, 2005.

KHEIR, N. A, K. J. ÅSTROM, D. AUSLANDER, K. C. CHEOK, G. F. FRANKLIN, M. MASTEN and M. Rabins, "Control Systems Engineering Education", *Automatica*, vol. 32, n. 2, pp.147-166, 1996.

KING, P.J. & MANDANI, E.H., "The application of fuzzy control systems to industrial process", *Automática*, 13, pp. 235-242, 1977.

KLERK, E. AND CRAIG, I. K., A laboratory experiment to teach closed-loop system identification, *IEEE Transactions on Education* 47(2), 2004.

LEE, C. C., Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller - part i and part ii. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 20:404–435, 1990.

LEVA, A., A hands-on experimental laboratory for undergraduate courses in automatic control, *IEEE Transactions on Education* 46(2), 2003.

MAIA, J. S.; Ferramenta para aprendizagem de automação e controle discreto: controlador lógico programável (PLC) na modalidade e-learning, dissertação de mestrado, programa de pós graduação de engenharia elétrica, universidade federal de santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MAMDANI, E. H. E ASSILIAN, S., Application of fuzzy algorithm for control of simple dynamic plant. In *Proceedings of the IEEE*, v.121, n.12, p.1585–1588, 1974.

MATHWORKS. *Fuzzy Logic Toolbox*, 2006.

MESSNER, W.; TILBURY, D.; **Control Tutorials for MATLAB and Simulink**, 1998. Disponível em: < <http://www.engin.umich.edu/class/ctms/index.htm>>

MURRAY, M. R.. Future directions on control, dynamics and systems report, Control in an Information Rich World, California Institute of Technology, 2002.

NATIONAL INSTRUMENTS, PID control toolkit user manual, p.2-1 – 2-7, 2007.

NATIONAL INSTRUMENTS, Labview - user manual. 2003.

NETO L.M., CAMACHO J.R., SALERNO C.H. E ALVARENGA B.P., Analysis of a Three-Phase Induction Machine Including Time and Space Harmonic Effects: The A, B, C Reference Frame, Artigo IEEE PE-154-EC-0-10-1997, approved for publication on the IEEE Transactions on Energy Conversion, EUA, October 1997.

NISKIER, A. Educação à distância: a tecnologia da esperança. 2. ed. São Paulo: Edições Loyola, 1999.

OLIVEIRA, JÚLIO CÉSAR P. - Controlador Programável - Makron Books – 1993

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Prentice Hall. 4a edição, 2003.

OVIEDO, J.J., T. BOELEN AND P. VAN OVERSCHEE, Robust Advanced PID control (RaPID): PID tuning based on engineering specifications. IEEE Control Systems Magazine, Vol. 26, n° 1, pp. 15-19, 2006.

PEREIRA, L. F. A., LIMA, J. C. M., Reestruturação do Ensino de Automação e Controle através da Implantação de Laboratórios, XII Congresso Brasileiro de Automática, Vol. II, Uberlândia, pp. 637-642, 1998.

PERRENOUD, P., La transposition didactique à partir de pratiques: des savoirs aux compétences, Revue des sciences de l'éducation, Vol. XXIV, Montreal, 1998.

PICCOLI, L., AVILA, R. B., SIMAS, H., COELHO, A. A. R., BRUCIAPAGLIA, A. H. AND GOMES, F. J., Low cost laboratory equipment for analysis and design of dynamic systems, 4th IFAC Symposium on Advances in Control Education, Istanbul, Turkey, 1997.

QUANSER, I. (2006). IP01 and IP02 Linear Motion Servo Plants - Product Information Sheet L1 - 1- rev.B, Quanser Inc.

RIBEIRO, R; Implementação De Um Sistema De Controle De Um Pêndulo Invertido; Dissertação de Mestrado; Itajubá – MG; 2007

RUGARCIA, A., Felder, R. M., Woods, D. R. and Stice, J. E. The future of engineering education. i. a vision for a new century, Chem. Engr. Education 34(1): 16-2, 2000.

SANDRI, S. AND CORREA, C., *Lógica Nebulosa*. Escola de Redes Neurais, 1999.

SCHAT, F. M.; *Arquitetura para ambiente de ensino de controle e automação utilizando experimentos remotos de realidade mista*, dissertação de mestrado, programa de pos graduação de engenharia elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SCHÖN, D., *Educando o profissional reflexivo*, Artmed, Porto Alegre, 2000

SCOPEL, L. M. M. *Automação industrial: uma abordagem técnica e econômica*. Caxias do Sul: EDUCS, 1995.

SILVEIRA, P. R. da; SANTOS. W. E. *Automação e controle discreto*. São Paulo: Érica, 1998.

SILVERA, M. A., *Enciclopédia de automática: controle automação*, volume I, São Paulo, Editora Blucher, pp. 68-77, 2007.

SUGENO, M. E KANG, G. T. (1986). Structure identification of fuzzy model. *Fuzzy Sets and Systems*, 28:329–346.

TAKAGI, T. E SUGENO, M. (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1):116–132.

TARIG, ALI ABDURRAHMAN E. S. *Controle de um braço robótico utilizando uma abordagem de agente inteligente*. 98 f. Dissertação (Mestrado em Informática) – Coordenação Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.

TEIXEIRA, M. C. M. E ASSUNÇÃO, E. (2007). Extensões para sistemas não-lineares. In Aguirre, L. A., editor, *Enciclopédia de Automática: Controle & Automação*, volume 1, pp. 218–246. Blucher.

ULLRICH, R. A., *Robotica uma introdução, O porquê dos robos e seu papel no trabalho*. Editora Campos, Rio de Janeiro, 1987.

URSULET, S. AND D. GILLET, “Introducing Flexibility in Traditional Engineering Education by Providing Dedicated On-line Experimentation and Tutoring Resources”, *International Conference on Engineering Education*, Manchester, U.K. August 18–21, 2002.

VALLIM M.B.R., *Em direção a melhoria do ensino na área tecnológica: A experiência de uma disciplina de introdução a engenharia de controle e automação*, dissertação de mestrado, programa de pos graduação de engenharia elétrica, universidade federal de santa Catarina, Florianópolis, 2000.

VIOT, G., “Fuzzy Logic in C – Creating a fuzzy-based inference engine”, *Dr. Dobb’s journal*, February, pp. 40-49, 1993

WELLSTEAD, P. E., Teaching control with laboratory scale models, IEEE Transactions on Education 33(3), 1990.

ZADEH, L. A.. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8:338–353, 1965.

GLOSSÁRIO

- Algoritmo** Cálculo Matemático ou resolução de um grupo de problemas semelhantes, em que se estipulam, com generalidade e sem restrições, regras formais para obtenção de um resultado.
- Atuador** Transdutor, que converte energia elétrica, hidráulica ou pneumática, causando efeitos lineares ou angulares.
- Atuador elétrico** Atuador que utiliza energia elétrica para produzir trabalho mecânico.
- Automação** Tecnologia que possibilita a geração de movimentos auto-controlados em processos automáticos.
- Bomba** <Hidráulica>dispositivo aplicado em sistemas hidráulicos que converte energia mecânica em energia hidráulica por meio do deslocamento de fluídos.
- Cabo** Fio ou grupo de fios de metal ou vidro, que podem ser isolados em material plástico ou de borracha, podem ser flexíveis ou não.
- Célula de carga** Sensor de força utilizado em balanças eletrônicas e outros dispositivos de medição de força ou massa.
- CLP** Controle lógico programável - Controlador eletrônico para aplicações industriais com funções aritméticas, de temporização e de operações lógicas pré programadas, capaz de receber e executar programas que representam o procedimento de controle desejado, que é estabelecido através de módulos de entrada e saída.

Comando numérico	Equipamento capaz de controlar e operar automaticamente máquinas operatrizes através de programas e funções implementadas através de código alfanumérico.
Computador	Dispositivo eletrônico que manipula e processa dados de acordo com o programa de instruções, consiste de um dispositivo de entrada e saída de dados, unidade central de processamento e memória.
Controlador	Dispositivo projetado para efetuar algum tipo de controle, o que normalmente inclui as funções de medição processamento e atuação.
Controle on/off	Que opera com apenas duas condições de atuação, ligado ou desligado.
Controle	Ação planejada e executada para que o processo, variável ou produto mantenham-se dentro de padrões preestabelecidos, visando operação, otimização, correção de falhas ou estabilidade.
Controle Proporcional integral derivativo	- Ação controle combinada entre proporcional, integral e derivativa, ou PID, capaz de fornecer um controle genérico ou de baixo off set no regime permanente.
Fluxograma	Representação gráfica de algoritmo para demonstrar de forma clara e padronizada, uma sequência de operações ou comandos.
IHM Interface Homem-Máquina	- Dispositivo projetado para obter uma comunicação eficiente entre homem e máquina, ou equipamento, através do uso de técnicas de design e ergonomia.

Instrumentação	Conjunto de técnicas utilizados para observar, medir, registrar, controlar e atuar em fenômenos físicos.
Malha aberta	Sistema de controle que não se utiliza de realimentação para estabelecer sua atuação.
Malha fechada	Sistema de controle que se utiliza de realimentação para estabelecer sua ação.
Mecatrônica	Integração sinérgica da engenharia mecânica, engenharia elétrica e ciências da computação no desenvolvimento de projetos e sistemas inteligentes, particularmente, mecanismos e máquinas.
Modelo	Representação visual ou física do objeto, processo ou fenômeno físico com a finalidade de estudo de propriedades ou características.
Off set	<mecânica>Condições de ajustes efetuados na máquina.
Potenciômetro	Transdutor que converte posição mecânica em tensão elétrica.
Programável	<mecânica> Capacidade que possibilita uma máquina a receber instruções, pontos de ajustes ou comandos que modificam seu funcionamento ou possibilitam sua operação de forma automática.
Projeto	Conjunto de decisões que solucionam um dado problema ou atendem a uma necessidade.
Protótipo	Modelo utilizado para fins de análises, testes e validação de produtos para posterior produção.

Realimentação	Técnica utilizada em controle onde a informação sobre o valor ou estado da variável controlada é considerado para efeitos de atuação.
Robô	Máquina manipuladora, reprogramável, multifuncional, projetada para mover materiais, peças, ferramentas ou dispositivos especiais em movimentos variáveis programados para a realização de uma variedade de tarefas sem supervisão humana.
Sensor	Um sensor é um dispositivo que detecta uma condição de mudança um estímulo físico (calor, luz, som, pressão, campo magnético, movimento) e transmite um impulso (mensurável ou operante) correspondente.
Sensor de temperatura	Sensor utilizado para medir a temperatura de ambientes, de sistemas de ar condicionado e de processos químicos.
Set point	Valor desejável para a variável objeto de controle para o qual nenhuma ação de controle é necessária.
Termistor	Sensor de temperatura baseado na variação da resistência elétrica de certos materiais quando submetidos a mudanças de temperatura.
Termopar	Sensor de temperatura baseado na força eletromotriz que uma junção formada por dois metais diferentes gera quando submetida a variação de temperatura.
Transdutor	Elemento que converte a energia associada a algum tipo de grandeza física tais como força, pressão, temperatura, em uma outra forma com a finalidade de facilitar a análise daquela variável.

APENDICE 1 - Questionário

Questionário para os professores da área de Automação

1. De que forma o professor atua ou atuou na área de automação?
2. Qual sua perspectiva na área de automação e controle?
3. O que o Professor sugere na área de automação para o laboratório de automação?
4. O que a faculdade de engenharia pode fazer para melhorar o laboratório de automação?
5. O que o professor sugere como melhoria para um ambiente de aprendizagem na área de automação?

APENDICE 2 – Ambiente labview

Será a interface que vai permitir a aquisição de dados e interação com o ambiente físico, no qual falaremos posteriormente sobre o hardware utilizado.

O LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) é uma Linguagem de programação gráfica que utiliza ícones, que vem sendo adotada por indústrias e pesquisa em laboratórios Governamentais como um modelo de aquisição de dados e como um software de controle de instrumentos. Enquanto que em BASIC, C e ASSEMBLER a programação é estruturada por linha de texto o LabVIEW utilizamos basicamente diagramas de blocos. O LabVIEW utiliza programação baseada em fluxo de dados, onde o fluxo dos dados determina a execução.



Figura 77 - Tela Inicial

No LabVIEW, utilizando um conjunto de funções e objetos se constrói uma interface de usuário. A interface de usuário é conhecida como painel frontal. Então, você adiciona o código utilizando representações gráficas de funções para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém esse código. Sob certos aspectos, o diagrama de bloco assemelha-se a um fluxograma.

O LabVIEW está totalmente integrado para comunicação com diversos hardwares, como GPIB, VXI, PXI, RS-232, RS-485 e dispositivos DAQ cuja veja versão chassis SCXI 2000, esta disponível no Laboratório de Engenharia elétrica da UERJ . O LabVIEW também possui recursos internos para conectar sua aplicação à

Internet, utilizando o LabVIEW Web Server e aplicativos como ActiveX e redes TCP/IP. No nosso caso específico utilizaremos os dispositivos DAQ.

Utilizando o LabVIEW, é possível criar aplicações de teste e medição, aquisição de dados, controle de instrumento, registro de dados, análise de medição e geração de relatório.

Software LABVIEW

Os programas em LabVIEW são chamados de Instrumentos Virtuais (VI's). Os VI's contêm dois componentes principais: o painel frontal e o diagrama de bloco. A figura 78 exibe seguir exibe uma janela de painel frontal e sua janela de diagrama de bloco correspondente.

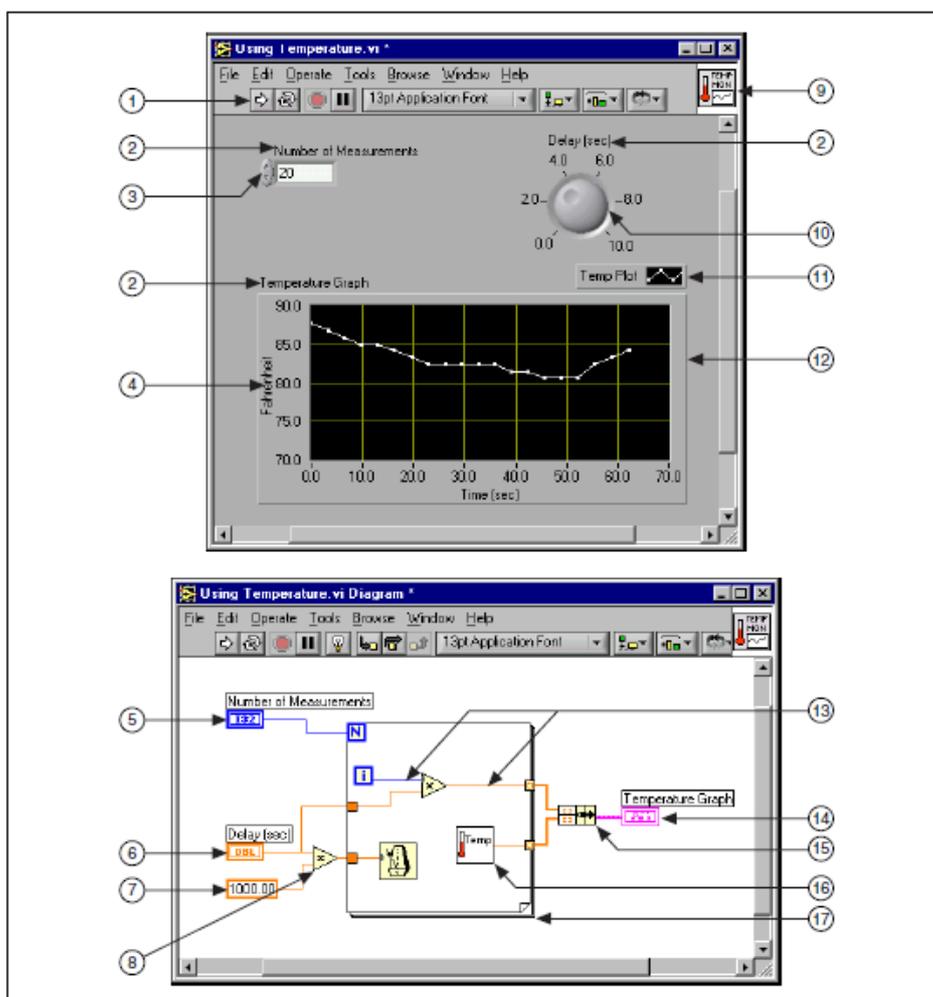


Figura 78 - Painel Frontal e Diagrama de Blocos

- 1 - Barra de ferramentas
- 2 - Título do objeto
- 3 - Controle numérico digital
- 4 - Legenda livre
- 5 - Terminal de controle numérico digital
- 6 - Terminal de controle numérico
- 7 - Constante numérica
- 8 - Função de multiplicação
- 9 - Ícone
- 10 - Controle numérico deslizante
- 11 - Legenda de plotagem
- 12 - Gráfico XY
- 13 - Via de ligação de dados
- 14 - Terminal do gráfico XY
- 15 - Função de agrupamento
- 16 - SubVI
- 17 - Estrutura de For Loop

A montagem do painel frontal com controles e indicadores, são terminais interativos de entrada e saída do VI, respectivamente. Controles são botões de pressão, controles deslizantes e outros dispositivos de entrada. Indicadores são gráficos, LEDs e outros displays. Os controles simulam dispositivos de entrada de instrumentos e fornecem dados para o diagrama de bloco do VI. Os indicadores simulam dispositivos de saída de instrumentos e exibem os dados que o diagrama de bloco adquire ou gera. Após a montagem do painel frontal, utilizando representações gráficas de funções, você constrói o código para controlar os objetos do painel frontal. O diagrama de bloco contém este código. Os objetos do painel frontal aparecem como terminais.

Você não pode excluir um terminal do diagrama de bloco. O terminal desaparece somente após a exclusão de seu objeto correspondente do painel frontal. Os objetos do diagrama de bloco incluem terminais, subVIs, funções, constantes, estruturas e ligações, que transferem dados entre outros objetos do diagrama de bloco.

Barra de ferramentas do painel frontal



Botão **Run** para executar o VI.



Botão **Run** muitas vezes aparece quebrado, conforme mostrado à esquerda, quando você cria ou edita um VI. Esse botão indica que o VI está com defeito e não pode ser executado. Clique nesse botão para exibir a janela **Error list**, que lista todos os erros.



Botão **Run Continuously** para executar o VI até que você anule ou interrompa sua execução. Também é possível clicar no botão novamente para desabilitar a execução contínua.



Durante a execução do VI, o botão **Abort Execution** aparece. Clique nele para parar a execução do VI imediatamente.

Barra de ferramentas do diagrama de bloco

Quando você executa um VI, botões aparecem na barra de ferramentas do diagrama de bloco que pode ser utilizada para depurar o VI.



Clique no botão **Highlight Execution** para ver o fluxo de dados através do diagrama de bloco. Clique no botão novamente para desabilitar essa função.



Clique no botão **Step Into** para executar (passo a passo) um loop, um subVI, e assim por diante. A execução passo a passo sobre um VI permite percorrer o VI de nó a nó. Cada nó pisca para demonstrar quando ele está pronto para ser executado. Ao avançar a um nó, você fica pronto para uma próxima execução.



Clique no botão **Step Over** para entrar (diretamente) em um loop, um subVI, e assim por diante. Ao passar diretamente pelo nó, você executa o nó sem o esquema de passo único.

Paleta Controle

A paleta **Controls** para indicar controles e indicadores no painel frontal. A paleta **Controls** está disponível somente no painel frontal. Selecione **Window» Show Controls Palette** ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do painel frontal para exibir a paleta **Controls**. Você também pode exibir a paleta **Controls** clicando com o botão direito em uma área aberta do painel frontal.



Figura 79 - Paleta de controle

Paleta Funções

A paleta **Functions** para montar o diagrama de bloco. A paleta **Functions** está disponível somente no diagrama de bloco. Selecione **Window» Show Functions Palette** ou clique com o botão direito no espaço de trabalho do diagrama de bloco para exibir a paleta **Functions**. Também é possível exibir a paleta **Functions** clicando com o botão direito em uma área aberta do diagrama de bloco.

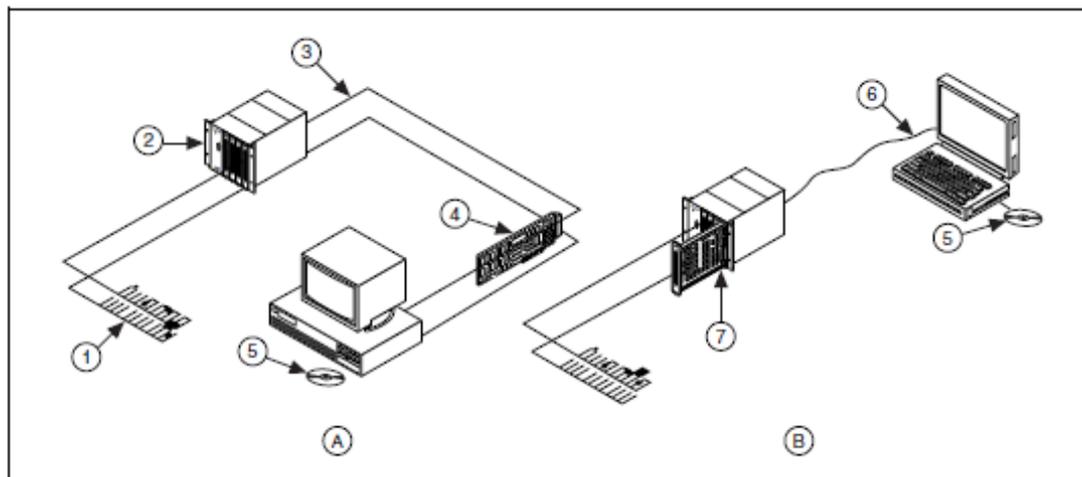


Figura 81 - Tipos de ligações

- 1 - Transdutores
- 2 - Condicionamento de sinal
- 3 - Sinais condicionados
- 4 - Dispositivo DAQ plug-in
- 5 - Software
- 6 - Enlace de porta paralela
- 7 - Módulo DAQ

O LabVIEW instala um utilitário de configuração, o Measurement & Automation Explorer, para estabelecer todos os parâmetros de configuração de dispositivos e canais. Após instalar um dispositivo DAQ em seu computador, execute o utilitário de configuração. O Measurement & Automation Explorer lê as informações que o Gerenciador de dispositivos grava no registro do Windows e atribui um número de dispositivo lógico a cada dispositivo DAQ (SCXI-12000 – Device 1), como mostra na figura 82.



Figura 82 - Dispositivos DAQ

O número do dispositivo está entre parênteses, logo após o nome do dispositivo, que será utilizado para configuração do parâmetro “device” posteriormente nos VI’s de aquisição de dados utilizam esse número de dispositivo para determinar qual deles executa operações DAQ.

Há uma função no Measurement & Automation Explorer muito utilizada que é o **Test Panel** para testar as funções individuais do dispositivo DAQ, tais como entrada e saída analógica. A caixa de diálogo mostrada na figura 83 é disponibilizada para o usuário na tela **Test Panel**. Utilize a palheta **Analog Input** para testar os vários canais de entrada analógica do dispositivo DAQ.

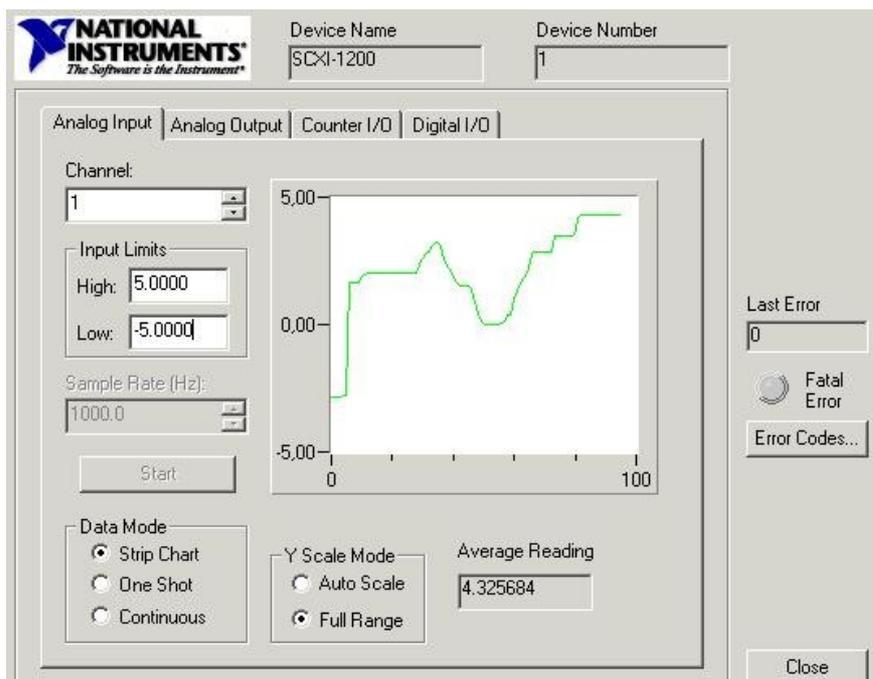


Figura 83 - Test Panel

Vis de aquisição de dados

Para adquirir um único ponto do sinal conectado ao dispositivo DAQ, utilize AI Sample Channel.

O AI Sample Channel mede o sinal vinculado ao canal especificado e retorna a tensão medida. **Channel** especifica o nome do canal de entrada analógica. **High limit** e **low limit** especificam a faixa do sinal de entrada. As entradas padrão são +10 V e -10 V, respectivamente. Utilizamos esta VI para entrada de sinal do sensor de temperatura do sistema térmico, como será mostrado posteriormente.

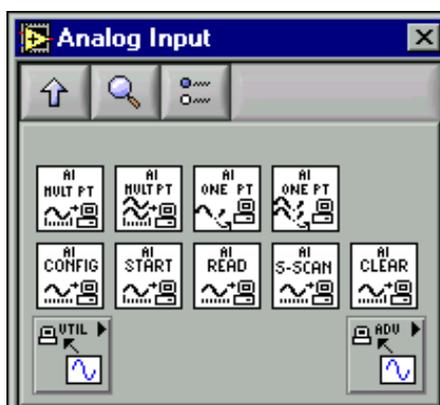


Figura 84 - VI de aquisição de dados

Hardware DAQ LABVIEW do LEE

O Hardware DAQ LABVIEW disponível no LEE é um sistema denominado SCXI - 2000 (Signal Conditioning Extensions for Instrumentation), que pode comportar até quatro módulos, possui uma porta de comunicação RS-232, possui uma via própria de comunicação com os módulos. É um sistema de condicionamento e aquisição de sinais, multicanal como mostra a figura 85.

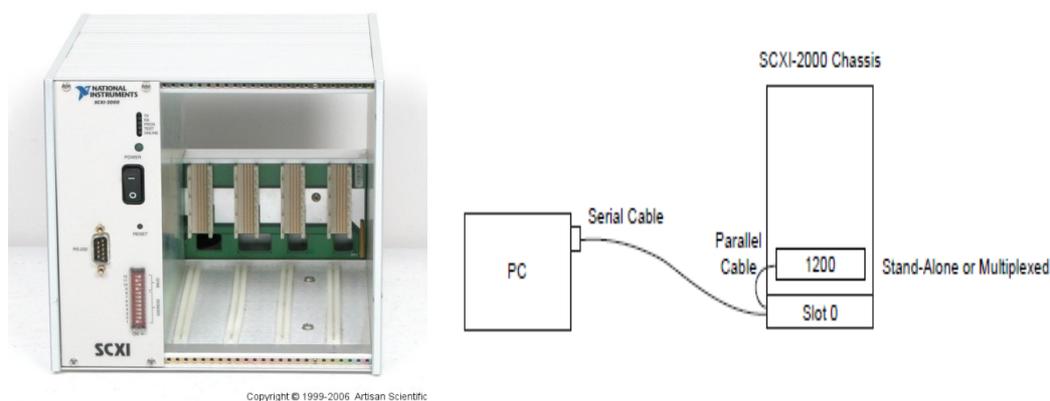


Figura 85 - Chassi SCXI e ligação de dados com o PC

O dispositivo de aquisição (DAQ) de dados utilizado tem placas específicas para cada finalidade. Entretanto antes mesmo do sinal ir para o barramento de dados do chassis, o mesmo pode ser condicionado, isto é, tratado de forma a ser interpretado pela placa de aquisição de dados. Este processo de condicionamento de sinal inclui funções como amplificação, filtragem, excitação e linearização. São elas:

- Placa SCXI – 1200 – Possui 08 canais de entradas analógicas (ACH0 a ACH7), 02 canais de saídas analógicas (DAC0OUT e DAC1OUT), 24 linhas de sinais TTL configuráveis como entradas e saídas digitais (PA0 a 7, PB0 a 7 e PC0 a 7) e 02 contadores/temporizadores de 16 bits.
- Placa SCXI – 1121 – possui 04 canais de entradas analógicas amplificada com excitação e isolamento de +/-5V, com filtros passa-baixa de 4Hz e 4kHz, com configurações de ganho até 2000 vezes.

- Placa SCXI – 1102 – possui 32 canais de entradas analógicas, podendo ser utilizadas para termopares, RTD, Tensão e corrente, com filtros passa-baixa de 2Hz e 60Hz, com configurações de ganho até 100 vezes.

Com incompatibilidade de versões mais novas com o hardware, foi instalado o software LabVIEW 6.1, também foi instalado um driver de comunicação NIDAQ 6.9, driver este responsável pela comunicação do software LabVIEW com hardware.

Com o intuito de continuar se atualizando com novas tecnologias estamos com interesse em adquirir um hardware mais moderno da LabVIEW que o módulo de aquisição de dados USB NI-6008 na figura 86, que tem 8 entradas analógicas, 2 saídas analógicas em 12 bits de resolução, 12 entradas/saídas digitais configuráveis e um contador de 32 bits.



Figura 86 - Modulo USB NI-6008

Podemos com esta tecnologia gerar “experimentos compartilhados” com modelos de sistemas industriais mais robustos no ambiente de aprendizagem, que possibilitam gerar uma gama maior de experiências, tais como a Plataforma de Sistema Híbrido, Plataforma Flutuante Controlada por Computador e um Sistema de Envase.

Plataforma de Sistema Híbrido (Projeto REENGE) que é um Sistema hidráulico de monitoramento de vazão, pressão, e nível de água. Possui dois motores (sendo um CC e o outro CA), duas válvulas com solenóides (24V) e pode ser controlado por CLP como mostrado na figura 87;



Figura 87 - Modelo reduzido do Sistema Hidrido

Plataforma Flutuante Controlada por Computador (Projeto de Graduação)
Sistema de controle de estabilização de uma plataforma flutuante por computador utilizando o "software" LabView, desenvolvimento de sensores e implementação de protótipo de uma plataforma em escala reduzida ilustrado na figura 88.

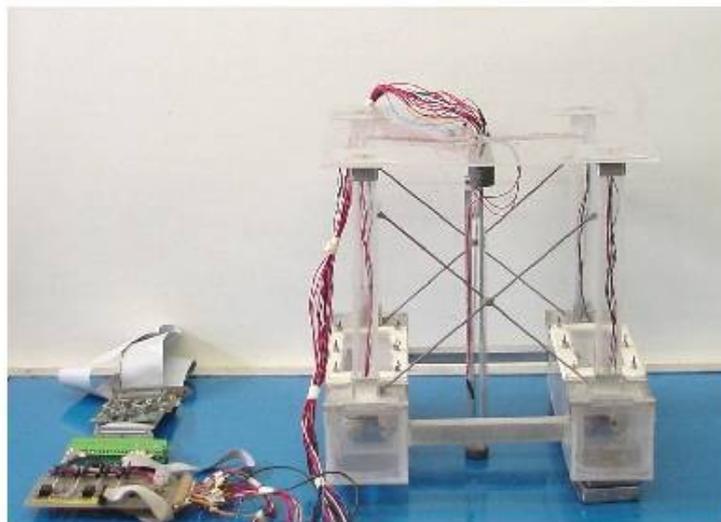


Figura 88 - Modelo Plataforma Flutuante

APENDICE 3 - Analise dos dados coletados

Os dados foram colhidos em entrevistas com os professores da área de automação. Nas entrevistas eram feitas perguntas voltadas diretamente para o corpo docente das universidades em questão, onde foi abordado como cada entrevistado estava atuando ou atuou na área de automação, acolhendo também sua opinião sobre automação e controle no âmbito industrial e acadêmico, como ela pode se desenvolver e posteriormente verificar o que pode ser agregado desta tecnologia para melhorar o laboratório de automação ou criar um ambiente de aprendizagem para que os alunos melhorem seu poder de absorção de conhecimento.

A princípio seriam entrevistados todos os professores das referidas universidades que atendiam aos critérios de inclusão, por motivo de férias e licença, foram totalizadas dez entrevistas.

A primeira pergunta “***De que forma o professor atuava ou atuou na área de automação?***” foi formulada para ser utilizada como uma maneira de caracterizar o professor, ou seja, para verificar a época que trabalhava na área, para analisar também um pouco da experiência profissional na mesma.

Nas respostas foi verificado que os professores entrevistados têm grande diversidade de idade e tempo de trabalho na área, alguns tem ou tiveram cargos de chefia em seu trajeto profissional e a grande maioria que lecionava ou lecionou disciplinas da área de automação na Graduação ou na Pós-Graduação, sendo elas:

Na Graduação:

- ***Controle e Servomecanismos I e II,***
- ***Eletrônica Analógica Avançada,***
- ***Computação para Automação,***
- ***Microprocessadores,***
- ***Análise de sistemas físicos,***
- ***Automação industrial***

Na Pós-Graduação:

- **Sistemas Lineares,**
- **Controle por computador,**
- **Ferramentas aplicadas em programação,**
- **Instrumentação e controle**

A segunda pergunta “**Qual sua perspectiva na área de automação e controle?**” tinha a finalidade de analisar se o professor estava atualizado com os novos estudos e técnicas da área, ou seja, se o mesmo está sempre buscando alguma perspectiva nova para o ambiente de ensino.

Analisando as respostas foi verificado que todos os professores estavam atualizados ou se atualizando, participando com trabalhos em congressos tais como CBA, COBENGE, fomentando os alunos com projetos e trabalhos nesta área.

Entretanto esta pergunta demonstrou que a automação e controle é uma área que abrange uma gama de setores, como foi colocado a seguir, “Esta área se aplica a todos os pontos de conhecimento” esta frase foi colocada por um professor e intrinsecamente dito em outras entrevistas, como foi relatado por outro professor “consiste em um ramo multidisciplinar, com demandas em diversos segmentos da indústria e economia”, que indica a integração da automação em todas as áreas de trabalho e ensino.

Bernstein (1999) coloca que a educação em Engenharia de Controle e Automação enfrenta estes mesmos desafios, somados ainda a alguns inerentes a esta formação como: dificuldades na integração multidisciplinar, uma área de atuação cujas bases epistemológicas são voltadas para a abstração, a necessidade de uma sólida base matemática para o desenvolvimento das metodologias (BISSELL, 1999). Para o caso das ênfases, a dificuldades em cobrir um amplo domínio, com uma carga horária mais restrita (DORATO, 1999).

Outro questionamento que foi colocado por um professor na sua entrevista foi “Quando deverá ser ensinado automação? Na graduação ou se já no segundo grau?”, o que demonstra uma preocupação com a época mais apropriada para que este conhecimento seja passado para os alunos.

Na terceira pergunta “**O que o Professor sugere na área de automação para o laboratório?**”, foi onde os professores se concentraram nas idéias mais abrangentes da aplicabilidade do ensino laboratorial da engenharia. Em função das respostas, foram elas:

Um fator preliminar foi colocado por dois professores que é de “imperiosa importância a atender as necessidades básicas na área de automação do aluno de graduação” e “maior investimento em nossos laboratórios”.

Outro fator foi colocado por outro professor que é a “alteração curricular com inclusão de disciplinas adicionais ou até mesmo a criação de um Curso de Graduação específico”. Sobre esta questão Perrenoud (2001) disse que sua adoção pode implicar na remodelagem conceitual do currículo e até mesmo, na necessidade de mudanças no arranjo físico e organizacional dos cursos e departamentos envolvidos.

Estas colocações demonstram que para que possamos ter um ambiente de ensino funcional, se faz necessário atender primeiramente as bases e em alguns casos também uma mudança na estrutura de ensino, ou seja, às vezes temos que modificar a base para atender a um fim que seria “aplicarmos eficientemente todos os conceitos teóricos que até o momento não saem do papel de forma contundente”.

“Acho que não deveríamos ficar presos a experimentos padrões, se tivéssemos uma abrangência de experiências grande poderíamos fazer uma grade com experimentos rotativos e utilizando também técnicas de controle novas, como por exemplo sistemas nebulosos”, este tipo de colocação do professor gera uma idéia de aulas de laboratório com uma gama de 4 ou 5 experimentos de um mesmo grau de complexibilidade, que podem ser utilizados em um sistema de rodízio dentro de um grupo de aulas, que aplicariam alguns conceitos em vários experimentos com a turma de alunos.

Outra idéia mencionada “seria primeiramente para experimentos simples de fácil manuseio e baixo custo, sendo colocado um por bancada, ou seja, um modelo ao lado de cada computador em cada bancada do laboratório, fácil de manusear, para que o aluno se ambiente rapidamente com o modelo.” Observando esta fala do professor, foi verificado que esta seria umas das aplicações mais concretas e realista que poderia ser aplicado em um ambiente de aprendizagem. Experiências da realidade brasileira mostram soluções práticas, de baixo custo, a partir do

desenvolvimento de módulos laboratoriais (PICCOLI, ÁVILA, SIMAS, COELHO, BRUCIAPAGLIA AND GOMES, 1997) ainda que, em alguns casos, mais centradas em áreas específicas (A. and M., 1998).

“um experimento compartilhado, um experimento central mais robusto e complexo com o custo mais elevado possivelmente importado com uma interligação em rede entre os computadores das bancadas, em um ambiente linux”

A quarta pergunta seria **“O que a faculdade de engenharia pode fazer para melhorar o laboratório de automação?”**

Além da preocupação financeira das instituições de ensino, com a intenção de gerar investimentos laboratoriais, as respostas dos professores mostram também outras preocupações tais como:

“Uma discussão mais pragmática na alteração da grade curricular e substituição ou inserção de novas disciplinas também se faz urgente.” A necessidade de se construir uma visão ampla, que permita aos futuros engenheiros de controle lidar com aplicações multidisciplinares, embasadas em tecnologias flexíveis, que evoluem de forma constante e extremamente rápida (MURRAY, 2002).

“A faculdade de engenharia poderia melhorar a integração entre áreas. Nas disciplinas que formam a base, os professores devem estar alinhados para ajudar os alunos a se desenvolver, isto: integrado ao ambiente de aprendizagem responsável.”

“Equipar bibliotecas e laboratórios de literatura que reforcem o estímulo do aluno no conceito de aprendizagem do aluno com o laboratório”

“Para formar o engenheiro do Século XXI que deve ser um Líder, uma pessoa entusiasmada, ser inteligente, com soluções originais, ter os valores éticos arraigados na sua mente, é necessário um compromisso social latente com a sociedade devido ao investimento feito no profissional”. Neste espectro de contribuições as abordagens pedagógicas voltadas ao projeto e as propostas para construção de experimentos e laboratórios são importantes, uma vez que realizam uma aproximação entre teoria e prática, equilibrando o caráter teológico da engenharia com a abstração inerente as teorias de controle automático. Estas abordagens podem ainda, propiciar um espaço de trabalho multidisciplinar e permitir o desenvolvimento de habilidades como a capacidade de: resolver problemas complexos; trabalhar em equipe; realizar planejamentos; redigir comunicações

técnicas; etc. Outro aspecto que pode ser destacado é a possibilidade de adotar elementos de uma pedagogia voltada para a ação (SCHÖN, 2000).

“A universidade e também os professores desta área devem pensar na automação com um ponto de vista mais criativo não só do controle, pois a criatividade é um dos grandes pontos de partida para criar negócios potenciais e empregos criando também um empreendedor no aluno”

A quinta e última pergunta é **“O que o professor sugere como melhoria para um ambiente de aprendizagem na área de automação?”**, esta pergunta não tem um foco específico, ela apenas gera ao professor uma liberdade de expressão para que ele faça mais algum comentário relevante sobre o tema.

“Criar níveis de complexibilidade de experimentos mais abrangentes dentro de sistema por camadas em problemas industriais e navais são ideais para ambientes de aprendizagem, desde o chão de fábrica, como por exemplo o controle mais geral como o PID e o controle Fuzzy em problemas que se fundamentam em proposições imprecisas”

Uma opção interessante, que vem recebendo atenção crescente, constitui a utilização dos conhecidos módulos LEGO, que possibilitam, a custos mais acessíveis, a execução de diversos - e mesmo complexos - procedimentos laboratoriais (GAWTHROP AND MCGOOKIN, 2004). Como também foi mencionado por um professor “Um bom ambiente de aprendizagem deveria ter bons laboratórios com boa diversidade de experimentos, que também tenha mecanismos que permitam a construção de plantas para estimular a criatividade do aluno, talvez com materiais como LEGO ou MECANO sejam interessantes para este estímulo”

A montagem de um laboratório, contudo, não implica necessariamente disponibilizar um conjunto amplo e diversificado de módulos e procedimentos experimentais. Esta pode ser uma opção em alguns cursos (www.fst.umac.mo/en/lab/ctrl-auto/index.html), mas pode-se também instituir práticas laboratoriais completas, atendendo a demanda de diversos cursos, baseando-se totalmente na utilização de um único módulo experimental, como um tanque duplo (ASTROM AND OSTBERG, 1986) ou um processo térmico (KLERK and CRAIG, 2004). Esta opinião também foi colocada pelos professores desta forma “Sem abranger o contexto geral da automação, poderíamos sugerir experimentos de primeira ordem que são mais fáceis de controlar tais como:

- a. Controle de Velocidade
- b. Kit Pneumático
- c. Kit de Temperatura”

“uma reformulação das bancadas do laboratório com montagem de novos protótipos que permitam um melhor desempenho dos alunos nas disciplinas tais como: experimentos de controle com servomotores ou dispositivos eletromecânicos, controle de nível e vazão em tanques, utilização de CLP’s e novas interfaces na automação de diferentes processos”

APÊNDICE 4 - A Engenharia de controle e automação

O surgimento da "Engenharia de Controle e Automação" é uma tendência observada há muito tempo. Desde o surgimento dos primeiros relógios mecânicos, até as primeiras máquinas a vapor já se notava uma evolução gigantesca e rápida na área da automação.

Histórico

A Revolução Industrial gerou profundo impacto no processo produtivo e no desempenho industrial e a "Engenharia de Controle e Automação" passou a ter um papel decisivo. A tecnologia de Controle gerou um grande aumento na competitividade nas mais diversas áreas enquanto que a Automação dos processos aumentou significativamente a produtividade e qualidade dos produtos.

O primeiro curso de Controle e automação no Brasil ministrado por brasileiros ocorreu em 1960 na Escola Politécnica da USP, na cadeira de Eletrônica do Prof. Homero Barbosa.

O Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia em 1973 através da Resolução 218/CONFEA/73 (BRASIL, 1973) resolve, "discrimina atividades das diferentes modalidades profissionais da Engenharia, Arquitetura e Agronomia" e estabelece, exclusivamente para os Engenheiros Eletricistas¹, que a eles compete lidar com sistemas de medição e controle elétricos e eletrônicos.

Já o CFE/MEC, através da Resolução 48/76 (BRASIL, 1976), fixa os mínimos de conteúdo e de duração do curso de graduação em engenharia e define suas áreas (Civil, Elétrica, Mecânica, Metalurgia, Minas e Química) e habilitações. O currículo é dividido em uma parte comum para todas as áreas, com matérias de formação básica e de formação geral, e uma parte diversificada, com matérias de formação profissional geral e de formação profissional específica. Neste documento, também, de forma exclusiva para a área Elétrica, é estabelecida, no conjunto de

¹ Art. 8o - Compete ao Engenheiro Eletricista ou ao Engenheiro Eletricista, Modalidade Eletrotécnica: o desempenho das atividades ... referentes à geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica; equipamentos, materiais e máquinas elétricas; sistemas de medição e controle elétricos; seus serviços afins e correlatos.

Art. 9o - Compete ao Engenheiro Eletrônico ou ao Engenheiro Eletricista, Modalidade Eletrônica ou ao Engenheiro de Comunicação: o desempenho das atividades ... referentes a materiais elétricos e eletrônicos; equipamentos eletrônicos em geral; sistemas de comunicação e telecomunicações; sistemas de medição e controle elétrico e eletrônico; seus serviços afins e correlatos.

formação profissional geral, a matéria: “Controle e servomecanismos” incluindo “análise e síntese de sistemas contínuos e discretos; modelos e simulação; realimentação; estabilidade e otimização; atividades de laboratório no mínimo de 30 horas”.

Havendo uma grande necessidade de intercâmbio entre os especialistas atuantes em automação e controle, foi fundada em 1975, a Sociedade Brasileira de Automática (SBA). A SBA foi constituída na forma de Sociedade científica de Âmbito nacional, cujo o objetivo primordial é promover, no Brasil, a ciência e a tecnologia (BRUCIAPAGLIA e FARANES, 2007).

Um grande crescimento na demanda por tecnologia ocorreu e ainda ocorre motivado pela indústria bélica, em especial no século 20 com as duas grandes guerras mundiais, mas um exemplo de como a "Engenharia de controle e automação" está presente de forma construtiva em nossas vidas se dá pela evolução de nossos meios de transporte. A indústria automobilística é um bom exemplo de como este setor cria desafios e soluções por meio de desenvolvimento de tecnologia de ponta.

Um outro exemplo mais recente da evolução do Controle e Automação é na Exploração Espacial, devido a necessidade de construção de sistemas de controle precisos e de alta complexidade para guiar os foguetes espaciais e sondas espaciais.

No Brasil, em 1993 a Comissão de Especialistas do Ensino de Engenharia (CEEEng) da Secretaria de Educação Superior (SESU) do Ministério da Educação (MEC) organizou um plano de ação com três objetivos:

- 1) avaliação periódica dos cursos de engenharia;
- 2) reformulação da resolução 48/76-CFE que regulamenta os cursos de engenharia;
- 3) apresentar considerações sobre as novas modalidades nos cursos de engenharia, tais como engenharia dos materiais, engenharia de computação, engenharia de controle e automação, etc.

Por indicação da CEEEng foram realizadas reuniões setoriais de representantes de várias universidades que ministravam ou pretendiam ministrar cursos de Graduação com nomes diversos como controle e automação, automação e sistemas, mecatrônica, etc. A finalidade das reuniões era reformular a Resolução 48/76-CFE que fixou os mínimos de conteúdo e de duração do curso de Graduação

em Engenharia e definiu suas áreas de habilitação (BRUCIAPAGLIA e FARANES, 1990).

Em 17 de novembro de 1994 o Ministro de Educação e do Desporto, no uso de suas atribuições, tendo em vista o que dispõe a Medida Provisória 711 (BRASIL, 1994), visando a formação do profissional, criou a portaria 1694/MEC/94 (BRASIL, 1994) que considerando o consubstanciado no Parecer da Comissão de Especialistas do Ensino da Engenharia da Secretaria da Educação Superior (SESU/MEC) resolve que a Engenharia de Controle e Automação é uma habilitação específica que tem sua origem nas áreas Elétrica e Mecânica do Curso de Engenharia.

Tendo como material de conteúdo de Formação Profissional Geral são:

- Controle de Processos
- Sistemas Industriais
- Instrumentação
- Matemática Discreta para Automação
- Informática Industrial
- Administração de Sistemas de Produção
- Integração e Avaliação de Sistemas

A Resolução 11/CNE/2002 (BRASIL, 2002) trata especificamente dos cursos de engenharia na perspectiva de uma formação dirigida por um projeto pedagógico orientado a um perfil desejado do egresso e o desenvolvimento de competências e habilidades. Para tal todos os cursos, independente de sua modalidade, devem possuir em seu currículo um núcleo de conteúdos básicos (de pelo menos 30% da carga mínima de 3600 h) versando sobre um conjunto de 15 tópicos listados no Art. 6º, inciso 1º; um núcleo de conteúdos profissionalizantes de cerca de 15%, versando sobre um subconjunto coerente de tópicos explicitados inciso 3º do mesmo artigo (dentre os quais destacamos, pela sua relação com Controle e Automação: Controle de Sistemas Dinâmicos; Instrumentação; Matemática discreta; Modelagem, Análise e Simulação de Sistemas; Sistemas de Informação; Gerência de Produção; Transporte e Logística) e um núcleo de conteúdos específicos que “se constitui em extensões e aprofundamentos dos conteúdos do núcleo de conteúdos profissionalizantes, bem como de outros conteúdos destinados a caracterizar a

modalidade, de livre escolha da IES”. Além disso, a resolução inclui a obrigatoriedade do Projeto de Fim de Curso e ressalta a necessidade de avaliação do processo ensino-aprendizagem e do próprio curso, em consonância com o sistema de avaliação e a dinâmica curricular definidos pela IES.

Após várias reuniões os especialistas concluíram que a Engenharia de Controle e Automação deveria ser uma habilitação específica do curso de engenharia, e que o seu currículo deveria proporcionar sólida formação em ciências básicas e em ciências da engenharia, incluindo a formação profissional específica. Foi então estabelecido o perfil do engenheiro de controle e automação como segue:

“O Engenheiro de Controle e Automação é um profissional com formação plena em Engenharia, capaz de conceber, especificar, desenvolver, projetar, analisar, implementar, instalar, otimizar, gerir, adaptar, utilizar e manter equipamentos, processos, sistemas de controle e unidades de produção automatizadas.”

A regulamentação da profissão junto ao Sistema CONFEA/CREAs foi mais demorada e exigiu intensa negociação, inclusive com a participação da SBA. Somente em 1999, através da Resolução 427/CONFEA/99 (BRASIL, 1999), o CONFEA discriminou as atividades profissionais dos Engenheiros de Controle e Automação estabelecendo que “Compete ao Engenheiro de Controle e Automação, o desempenho das atividades 1 a 18 do art. 1º da Resolução n.º 218 (BRASIL, 1973), de 29 de junho de 1973 do CONFEA, no que se refere ao controle e automação de equipamentos, processos, unidades e sistemas de produção, seus serviços afins e correlatos” (Art 1º) e determinando outras providências.

Em artigo publicado em 2000, Antsaklis (ANTSAKLIS, 2000) ressalta que a ciência e a engenharia de controle encontram-se numa era dourada de crescimento e oportunidades sem precedentes. O autor sustenta que: “A tecnologia de sistemas de controle é a semente da nova revolução em automação que ocorre em áreas tão diversas como aparelhos eletrodomésticos, eletrônica de consumo, sistemas automotivos e aeroespaciais, sistemas de manufatura, processos químicos, sistemas civis e ambientais, sistemas de transporte e mesmo em sistemas biológicos, econômicos e médicos”. Já para Gruyitch e Nesic (GRUYITCH and

NESIC, 2000), “o campo da engenharia de controle atingiu sua maturidade como disciplina científica e de engenharia. A análise, a síntese, o projeto, a implementação, a manutenção e o desenvolvimento de dispositivos de controle demandam engenheiros de controle e automação altamente responsáveis, totalmente competentes e completos”.

Controle e automação na PUC

A Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro é umas das faculdades mais antigas do Brasil, foi criada em 1940, hoje faz 70 anos de existência, é uma instituição de direito privado sem fins lucrativos que prima pela produção e transmissão do saber, baseando-se no respeito aos valores humanos e na ética.

O Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (DEE) foi fundado em 1947 com a função de ministrar o Curso de Engenharia Elétrica, nos moldes da legislação então em vigor, em 1953 o Curso de Engenharia Elétrica foi reconhecido. Em 2009 o Curso de Engenharia Elétrica sofreu uma reformulação sintetizando o curso em três ênfases ou especialidades, são elas:

- Eletrônica e Computadores;
- Sistemas de Energia Elétrica;
- Telecomunicações;

O curso de graduação de engenharia elétrica atualmente tem o suporte dos laboratórios para solidificação dos conhecimentos, são eles:

- Sistemas de Energia Elétrica
- Eletrônica Analógica
- Processamento de Sinais
- Instalações Elétricas de Baixa Tensão
- Conversão e Máquinas Elétricas
- Estatística Computacional e Estatística Educacional
- ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada
- Controle e Automação

- Microprocessadores e Automação Industrial
- Programação

Em 1963 iniciou o primeiro Mestrado na PUC-Rio, sendo fundado o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica de forma pioneira, o mais antigo do Brasil, ministrado com a colaboração do Centro de Estudos em Telecomunicações da Universidade Católica (CETUC). O Programa de Pós-Graduação fornecia no início apenas o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica. A partir de 1981 passou a fornecer também os títulos de Aperfeiçoamento e de Doutor em Ciências de Engenharia Elétrica. Financiados pelos órgãos de fomento ao ensino e à pesquisa federais e estaduais desde o início da década de 70, tem se apresentado historicamente em situação de vanguarda.

O Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da PUC-Rio busca a excelência na pesquisa, no ensino e na extensão para a formação de profissionais competentes, habilitados ao pleno desempenho de suas funções.

O DEE tem como finalidade a formação e aperfeiçoamento contínuo de profissionais, em níveis de Graduação, Pós-Graduação, reciclagem e extensão, em colaboração com as demais unidades da PUC-Rio e com outras instituições de ensino e pesquisa; pesquisa básica e aplicada, com forte interação interdisciplinar, divulgando e registrando seus resultados nas formas apropriadas.

Atualmente o curso de mestrado *Stricto Sensu* em engenharia elétrica tem as seguintes áreas de concentração:

- Sistemas de Energia Elétrica;
- Métodos de Apoio à Decisão;
- Processamento de Sinais e controle;
- Eletromagnetismo Aplicado;
- Sistemas de Comunicações;

Laboratórios de Pós-Graduação:

- Estatística Computacional e Estatística Educacional
- ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada

- Sistemas Inteligentes de Apoio à Decisão em Negócios
- Instrumentação
- Medidas de Propagação
- Métodos Computacionais em Eletromagnetismo Aplicado
- Metrologia Óptica
- Otimização
- Redes de Comunicações
- Semicondutores
- Simulação e Projeto
- Sistemas de Comunicações
- Sistemas de Energia Elétrica
- Sistemas Ópticos e Microondas

O laboratório de Microprocessadores e Automação Industrial é utilizado para ministrar aulas de laboratório das disciplinas de:

Na graduação:

- Microcontroladores e Sistemas Embarcados
- Projeto em Automação Industrial

Controle e automação na UFRJ

A Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) foi criada no dia sete de setembro de 1920, com o nome de Universidade do Rio de Janeiro. Reorganizada em 1937, quando passou a se chamar Universidade do Brasil, tem a atual denominação desde 1965.

Em 1966, com a colaboração de professores vindos de França, Inglaterra, Alemanha e Estados Unidos da América, foi criado o Programa de Engenharia Elétrica (PEE) da COPPE/UFRJ tem se aprimorado nas diversas áreas da Engenharia Elétrica. Desde então, o corpo docente do PEE vem sendo consolidado de modo a refletir as tendências das melhores universidades do mundo.

O PEE está organizado em diversos laboratórios de pesquisa nas seguintes áreas:

- Sistemas de Potência (LASPOT),
- Sistemas de Controle (LABCON),
- Processamento de Sinais (LPS e PADS),
- Teleinformática e Automação (GTA),
- Eletrônica de Potência (ELEPOT e LEMT),
- Corona e Descargas Parciais (CORONA),
- Microeletrônica (LPC e PADS),
- Instrumentação e Fotônica (LIF).

Os laboratórios conjugam materiais e equipamentos básicos e avançados de bancada, de acordo com a área de atuação, bem como grande capacidade computacional, fornecendo infraestrutura de acesso fixo e móvel à internet para os usuários, além de clusters computacionais específicos de pesquisa.

O Laboratório de Instrumentação e Fotônica está certificado desde 2004 pelo Bureau Veritas Internacional - BVQI, sendo no contexto de instituições públicas o pioneiro na conquista da certificação para o processo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico. O Laboratório de Automação, Robótica e Controle abriga um grupo de pesquisa interinstitucional com engenheiros do CENPES/Petrobrás, que vem dando apoio financeiro e cedendo, em regime de comodato, importantes equipamentos da área de Controle de Processos Industriais. Os laboratórios que atuam em projetos de microeletrônica (LPC e PADS) dispõem de equipamentos modernos para caracterização de circuitos integrados e do software CADENCE, o mais avançado e completo para projeto, simulação e verificação de regras de layout de circuitos integrados. No GTA há um GRID para experimentos de Computação Distribuída. O LPS tem acesso ao GRID LCG (LHC Computing Grid) para processamento da grande massa de dados produzidos pelo experimento LHC (Large Hadron Collider), no CERN. No LASPOT foi implementado recentemente o Sistema PMU COPPE/UFRJ, interligado ao Projeto MedFasee (Monitoração do FIN em Tempo Real), baseado na UFSC. O LPS abriga um cluster de quatro máquinas que reproduzem o ambiente computacional do CERN, para o desenvolvimento de pesquisa em física de altas energias e tecnologias associadas.

O PEE participa ainda de *cinco laboratórios interdisciplinares*:

- Computação de Alto Desempenho (NACAD),
- Exploração de Recursos do Mar,
- Energia,
- Supercondutividade (LASUP),
- Fontes Alternativas de Energia (LFAFE).

Controle e automação na UERJ

A Faculdade de Engenharia da UERJ, criada nos termos da Resolução no artigo 84 de 04 de abril de 1961, durante a gestão do reitor Haroldo Lisboa da Cunha e do Governador do Estado da Guanabara Carlos Lacerda, foi autorizada a funcionar pelo Decreto nº 50.599 de 16 de abril de 1961, assinado pelo então Presidente da República Jânio Quadros e pelo Ministro da Educação Brígido Tinoco.

As atividades acadêmicas, iniciadas a 7 de junho de 1961 sob a Direção do Prof. João Cordeiro da Graça Filho, tiveram seu ciclo profissional começando em 1963 com a criação dos departamentos de Engenharia Elétrica e Engenharia Civil. Progressivamente, a medida que os cursos eram estruturados e regulamentados, foram sendo implantadas, a partir de 1967, as áreas de laboratórios visando atender aos novos cursos oferecidos pela Universidade, em específico as novas habilitações da engenharia: civil e elétrica.

O Curso de Engenharia Elétrica da FEUERJ teve sua primeira proposta curricular apresentada em 1969, de autoria dos ilustres professores Arthur Greenhalgh e Durvaldo Gonçalves, sendo apresentado na ocasião como um curso misto de engenharia eletrônica e de telecomunicações. Entretanto a ênfase foi oferecida aos alunos pela primeira vez em 1974, sendo a primeira turma formada em 1976 ainda nas instalações da antiga escola de engenharia na Rua Fonseca Teles.

Em 1976, com a resolução de número 48/76, regulamentando o currículo pleno do curso de engenharia, deu-se a criação de suas nove ênfases, entre as quais, Eletricidade Industrial, Sistemas de Potência, Sistemas Eletrônicos, Telecomunicações e a de Sistemas e Computação, integrantes da área elétrica.

Hoje, o curso superior de engenharia elétrica é composto por varias ênfases, são elas:

- Engenharia Elétrica;
- Engenharia Sistemas Eletrônicos;
- Engenharia Sistemas de Potência;
- Engenharia Telecomunicações;
- Engenharia Sistema e Computação;
- Engenharia Eletricidade Industrial;

Observando a grade curricular de cada uma dessas ênfases é possível verificar que existem disciplinas ligadas diretamente com a aprendizagem prática que fazem necessário a utilização de laboratórios (ambientes) para solidificar o conhecimento teórico, com a utilização de experimentos práticos.

O Laboratório de Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia da UERJ (LEE / FEN - UERJ), fora instalado inicialmente nas dependências do Edifício Pedro Ernesto à Rua Fonseca Teles no ano de 1969.

A sua transferência para o 5º andar do Bloco F, no Edifício João Lyra Filho, no Campus do Maracanã, aconteceu em agosto de 1985, realizada pelo Professor David Martins chefe do Laboratório na época, foi feita uma melhor acomodação dos equipamentos e bancadas pelas novas instalações, para atender de maneira mais eficiente à demanda das aulas das diversas disciplinas. Isso acarretou a criação de áreas mais distintas com caráter mais específico em relação as disciplinas atendidas, sendo estas áreas atendidas pelos laboratórios:

- Máquinas Elétricas;
- Instalações Elétricas;
- Eletricidade;
- Conversão eletromecânica;
- Circuitos Elétricos;
- Eletrônica Industrial;
- Microprocessadores;
- Técnicas Digitais;
- Eletrônica;
- Simulação;
- Controle Automação;

- Telecomunicações;

Em 1998 o Professor Bernardo Severo, com investimentos fomentados pelo projeto do REENGE em 2000, para desenvolvimento de hardwares, plataformas ou kits didáticos, criou efetivamente o laboratório de controle e Automação, com a aquisição de alguns equipamentos relacionados especificamente a esta área, tais como Controladores Lógicos Programáveis (CLP), Kit da Quanser do pêndulo Invertido e Chassi LabView, onde viabilizou com mais facilidade a solidificação de algumas experiências que anteriormente os alunos só poderiam fazê-las por intermédio de simuladores via softwares como por exemplo o Matlab.

Com estas ferramentas de aprendizagem, foi possível viabilizar parcialmente a solidificação de conceitos ministrados nas cadeiras de:

Graduação:

- Controle de processos por computador;
- Análise de Sistemas físicos;
- Controle de Servomecanismos I, II e III;
- Automação Industrial;

Pós Graduação *Latu Senso* – Mecatrônica:

- Instrumentação e controle de processos;
- Técnicas e ferramentas de Auxílio por Computador;

Pós Graduação *Strictu Senso* – Sistemas Inteligentes:

- Sistemas lineares;
- Controle por computador;

Pos-Graduação em Engenharia Mecatrônica (*Latu senso*) na UERJ:

O termo Mecatrônica foi cunhado por Tetsuro Mori, um engenheiro sênior japonês, em 1969. **Mecatrônica** no português brasileiro ou **Mecatrônica** no português europeu é uma área que utiliza as tecnologias de mecânica, eletrônica e a tecnologia da informação para fornecer produtos, sistemas e processos melhorados,

sendo uma das áreas mais novas da engenharia, bem como no nível técnico-profissionalizante, em todo o mundo. O domínio integrado dessas diversas tecnologias é o que se pode chamar de Sistemas Mecatrônicos (WIKIPÉDIA, 2009).

A mecatrônica enfatiza o gerenciamento e o controle da complexidade dos processos de indústrias modernas que exigem ferramentas sofisticadas para gerir em tempo real seus diversos processos integrados.

Segundo o Comitê Assessor para Pesquisa e Desenvolvimento Industrial da Comunidade Europeia (IRDAC, 1990) "Mecatrônica é a integração sinérgica da engenharia mecânica com a eletrônica e o controle inteligente por computador no projeto de processos e de manufatura de produtos". Em outras palavras, quer dizer que a mecatrônica é a junção da Engenharia mecânica com a Eletrônica com um controle inteligente por computador, ou seja, é uma máquina que tem tanto partes mecânicas como partes elétricas e sensores que captam informações e as repassam para as partes mecânicas capazes de nos fornecer produtos, sistemas e processos melhorados.

Robôs e maquetes industriais, antes utilizados apenas para treinar futuros engenheiros ao fascinante mundo da mecatrônica. Por meio dessas ferramentas, os alunos descobrem que, além de partir de conceitos relativamente simples, pode-se produzir equipamentos e processos que estão presentes no cotidiano da maioria das pessoas. Esses recursos contribuem para desmistificar o ensino da mecatrônica, que promove a interação dos conhecimentos gerados pelas engenharias da área de mecânica (ALVES FILHO, 2003).

O curso de Graduação para Mecatrônica surgiu no Brasil na década de 1990 e foi reconhecido pelo MEC em 1992, e logo se firmou um dos mais concorridos. Vislumbrando a grande demanda na área de automação, em 1999 a Faculdade de engenharia Elétrica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) por intermédio do Professor Bernardo Severo criou efetivamente o Curso de Pós-Graduação (especialização) em Engenharia Mecatrônica que tem por finalidade capacitar pessoal qualificado para o exercício de atividades multidisciplinares de interesse na Automação Industrial, dentre as quais: especificação, projeto e emprego de equipamento mecânicos controlados por computador; especificação, projeto e instalação de sistemas automatizados de fabricação; execução de projetos de equipamentos mecânicos com controle eletro-eletrônico; projeto de ferramentas de software, instrumentação e outros recursos para simular, analisar e controlar

célula e manufatura de produção integrada e instruções de processos contínuos e de prestação de serviços.

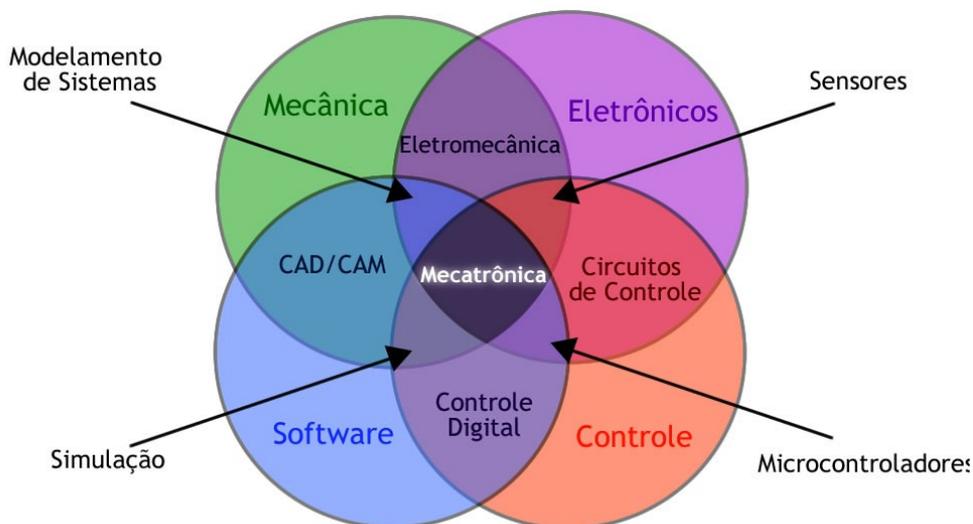


Figura 89 - Relação entre as área que compõem a Mecatrônica

Pos-Graduação em Engenharia Eletrônica (Strictu senso) na UERJ:

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica (PEL) oferece o curso de mestrado desde 2005 e reconhecido pela CAPES neste mesmo ano. Tem como objetivo promover a formação qualificada de profissional de nível superior para o desenvolvimento de pesquisa, qualificação de professores e outras atividades profissionais, a partir de uma forte interação entre conhecimentos teóricos e conhecimentos aplicados. O PEL está estruturado em quatro linhas de pesquisa:

- Comunicações Ópticas,
- Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos,
- Controle e Automação e
- Sistemas Inteligentes.

Conforme Scopel (1995), o atual estágio tecnológico requer recursos humanos em nível de 2º e 3º graus, em geral, e em alguns casos é imprescindível a formação superior. A qualificação da mão-de-obra caracteriza-se como aspecto vital para o desenvolvimento da Automação Industrial no Brasil. Porém os recursos

investidos nesta área não chegam a satisfazer as reais necessidades do mercado. A falta de tais profissionais é devido a baixa qualidade atual do ensino brasileiro, que vem apresentando qualidade insatisfatória. Isto força, como alternativa, a qualificação dos funcionários dentro da própria empresa.

Foi verificado que a Pontifícia Universidade Católica baseado na portaria 1694/MEC/94 (BRASIL, 1994) criou uma habilitação específica na área de controle e automação que tem origem na da habilitação tradicional de elétrica e na habilitação tradicional de mecânica no curso de engenharia, seu atual coordenador é o Prof. Mauro Speranza esta habilitação é provida de disciplinas mais específicas nesta área, mas em contrapartida se faz necessário um envolvimento laboratorial proporcional as disciplinas para que o aprendizado se conclua com maior eficácia.

A UERJ ao invés de criar uma habilitação em controle e automação, ela criou uma especialização (Latu senso) em engenharia Mecatrônica, na qual desenvolve o conhecimento em automação para engenheiros já formados.

Ambas as Universidades tem um programa de pos graduação de Strictu Senso, bem definidas nos quais já mencionamos suas áreas de concentração.

Como enfoque desta dissertação é comparar o ambiente de aprendizagem dentro da engenharia elétrica, não vamos considerar, apesar de bem estruturada, a habilitação de controle e automação. Sugerimos uma proposta em que fosse implementado uma disciplina de Controle e automação na grade do curso de elétrica para que o aluno que fez a disciplina de Análise de sistemas físicos e a disciplina de Controle de servomecanismos I e queria ter mais contato com esta área possa se desenvolver.

APÊNDICE 5 - Roteiro sistema térmico

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica

Roteiro de projeto e montagem para experimentos de automação

Objetivo: Controle de um sistema térmico

1- Introdução:

Sistemas térmicos são sistemas nos quais estão envolvidos o armazenamento e o fluxo de calor em três formas: por condução, convecção ou radiação. A rigor, sempre estão envolvidas simultaneamente as três formas de transferência de calor.

Um controlador de sistema térmico tem como objetivo manter a temperatura de um determinado modelo estável a partir de um ponto de referência (set-point), que pode ser fixo ou variável. Este controle de malha fechada (realimentação) se efetiva utilizando um elemento sensor de temperatura para leitura do sinal analógico de entrada e um aquecedor/resfriador como elementos de saídas.

O sistema é representado pelo diagrama de blocos:

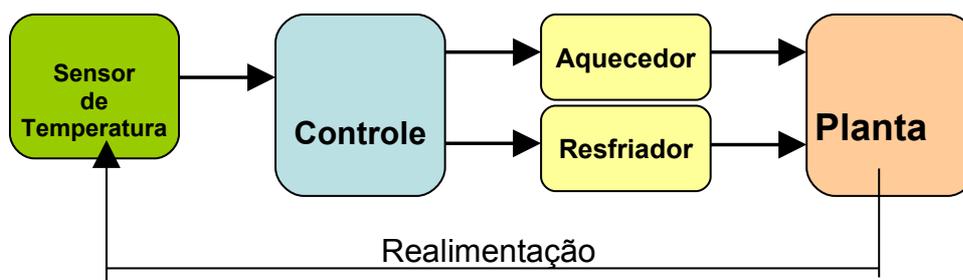


Figura 90 - Diagrama de Blocos

2 - Relação de material necessário para realização desta experiência:

- Um microcomputador PC com o Software LabVIEW e Matlab;
- Uma placa de aquisição USB 6008 LabVIEW;
- Dois módulos de potência ou dois Reles de 5V;
- Planta do Sistema térmico figura 91.

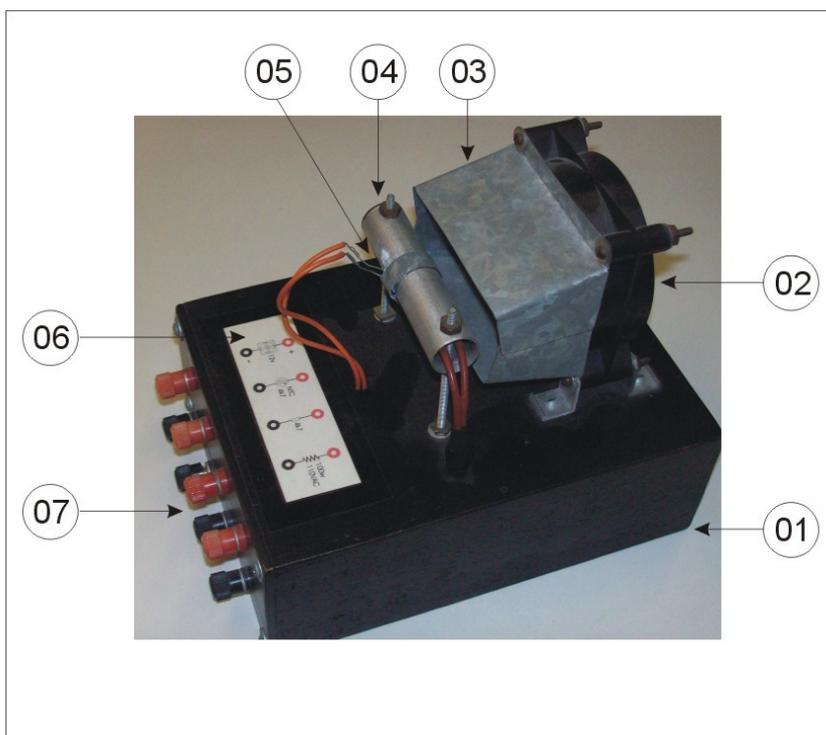


Figura 91 - Modelo do Sistema Térmico

- 1 - Caixa suporte de madeira (145x65x200mm – L x A x P),
- 2 - Ventilador tipo cooler em 12 Vcc,
- 3 - Concentrador de AR (Chapa de aço galvanizado),
- 4 - Resistência de aquecimento 100W (ferro de soldar),
- 5 - Sensor de Temperatura (NTC 4K7),
- 6 - Placa de identificação,
- 7 - Conectores.

3 - Simulação

A simulação do controle utilizando o Simulink do Matlab tem a proposta de ajudar a entender o funcionamento da planta, e posteriormente a obter uma resposta rápida e estável.

O primeiro passo é definir as variáveis de entrada e saída do controle, no caso do sistema Fuzzy no Membership function editor foi estabelecer as funções de pertinência das variáveis de entrada e posteriormente as funções de pertinência das variáveis de saída.

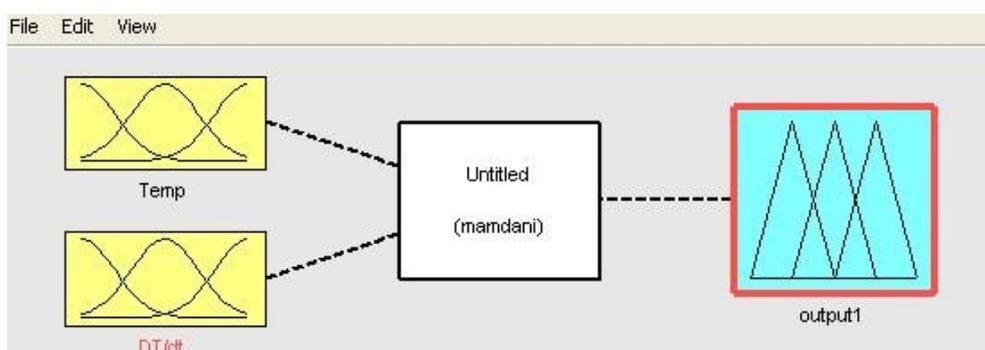


Figura 92 - Simulação Fuzzy

4 – Roteiro experimental:

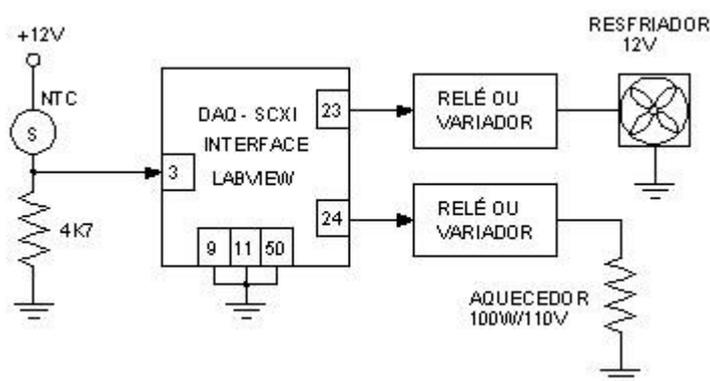


Figura 93 - Esquemático de ligações

- a) Inicialmente faça um levantamento do funcionamento da planta como mostra a figura 93, com um gráfico de resposta de funcionamento dos sensores e atuadores do sistema, com o setpoint em 40 °C.

- b) Inicialmente faça um controle On-Off com relés na saída e verifique os resultados obtidos.
- c) Utilizando a mesma plataforma programe um controlador PID na planta e verifique os resultados obtidos.
- d) Utilizando a mesma plataforma programe um sistema Fuzzy e verifique os resultados obtidos.

5 - Elaboração do Relatório

- a) Inicie o relatório com uma fundamentação teórica sobre o assunto.
- b) Compare os resultados os resultados obtidos na simulação com os calculados usando a fundamentação teórica.
- c) Mostre qual controle foi mais rápido e eficaz para o caso investigado.

6 - Referencias

MATHWORKS. *Fuzzy Logic Toolbox*, 2006.

NATIONAL INSTRUMENTS, Labview - user manual. 2003.

OGATA, K. Engenharia de Controle Moderno. Prentice Hall. 4a edição, 2003.

APÊNDICE 6 - Roteiro controle de velocidade

Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Eletrônica

Roteiro de projeto e montagem para experimentos de automação

Objetivo: Controle de Velocidade utilizando Motores CA

1- Introdução:

Em substituição aos controladores de velocidade de motores de corrente contínua (CC), com métodos mais baratos que os acionamentos tradicionais utilizados em motores de corrente alternada (CA), com a inserção no mercado industrial de novos equipamentos de controle de velocidade eletrônicos tais como o conversor de frequência, equipamento que tem a capacidade de controlar a frequência de saída, conforme ilustrado na figura 94.

Existem inúmeros processos industriais que utilizam motores de indução trifásicos (MIT), não apenas de acionamento mecânico, mas principalmente de um acionamento que possa ter sua velocidade controlada e ajustada a um custo menor do que o controle de um motor CC.

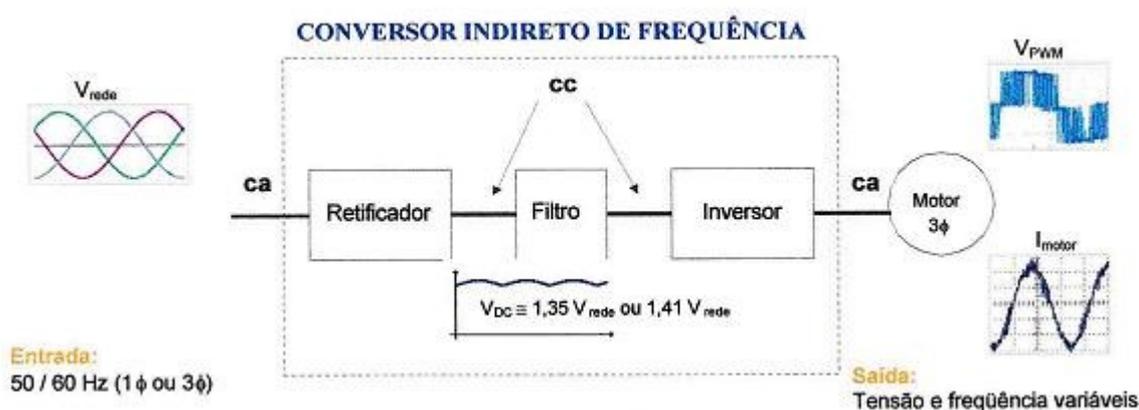


Figura 94 - Diagrama de bloco

Um controlador de velocidade tem como objetivo manter a velocidade da planta em um determinado modelo estável a partir de um ponto de referência (set-point), que pode ser fixo ou variável. Este controle de malha fechada (realimentação)

se efetiva utilizando um elemento sensor de velocidade chamado de encoder acoplado ao eixo do motor para leitura do sinal analógico de entrada e um conversor de frequência ligado ao motor como elemento de saída.

O sistema é representado pelo diagrama de blocos, como na figura 95:

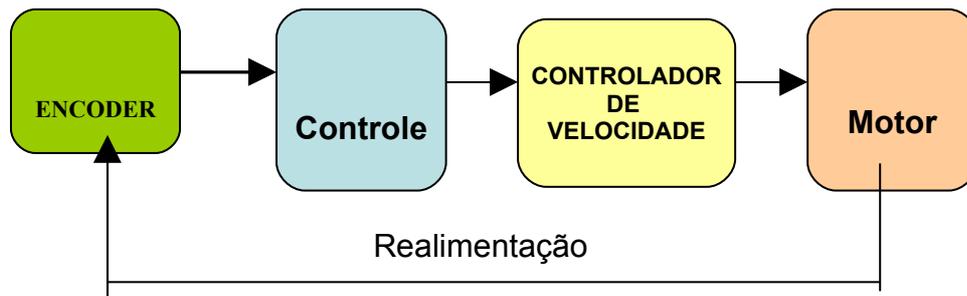


Figura 95 - Esquemático de ligações

2 - Relação de material necessário para realização desta experiência:

- Um microcomputador PC com o Software LabVIEW e Matlab;
- Uma placa de aquisição USB 6008 LabVIEW;
- Conversor de frequência trifásico de 1CV;
- Planta do controle de velocidade composto: motor de indução trifásico 1/2CV acoplado com sensor de velocidade encoder e Conectores, ilustrado na figura 96.



Figura 96 - Aferição do encoder

3 - Simulação

A simulação do controle utilizando o Simulink do Matlab tem a proposta de ajudar a entender o funcionamento da planta, e posteriormente a obter uma resposta rápida e estável.

O primeiro passo é definir as variáveis de entrada e saída do controle, no caso do sistema Fuzzy no Membership function editor foi estabelecer as funções de pertinência das variáveis de entrada e posteriormente as funções de pertinência das variáveis de saída.

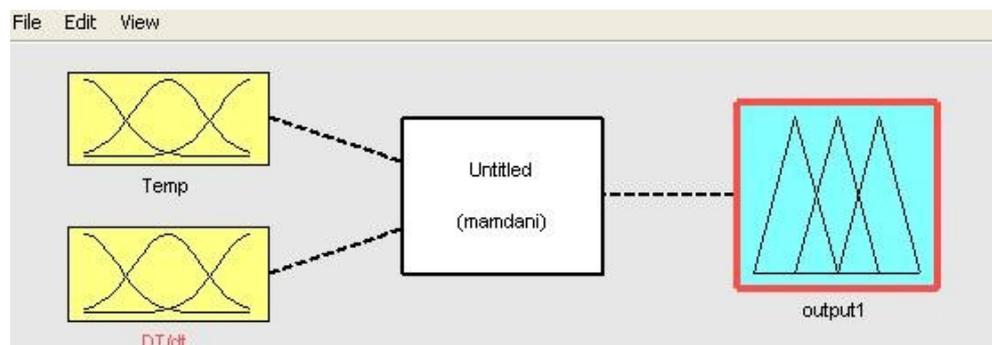


Figura 97 - Simulação FUZZY

4 – Roteiro experimental:

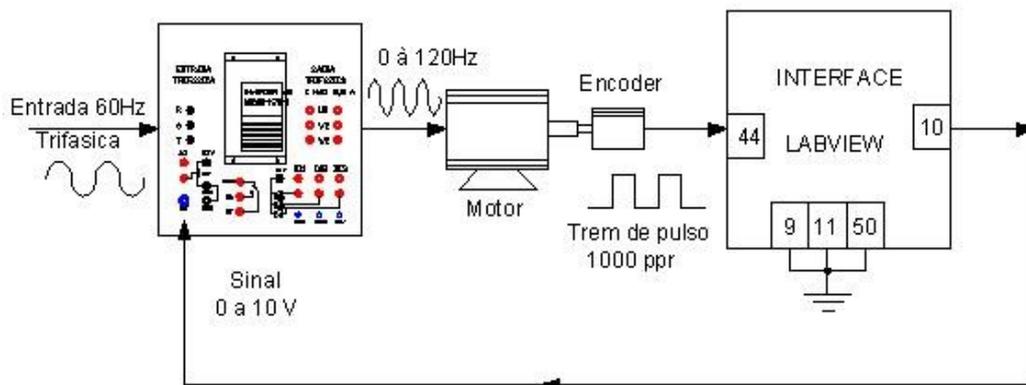


Figura 98 - Diagrama ligação

- Inicialmente faça um levantamento do funcionamento da planta como na figura 98, com um gráfico de resposta de funcionamento dos sensores e atuadores do sistema, com o setpoint em 1000 rpm.
- Inicialmente faça um controlador PID na planta e verifique os resultados obtidos.
- Utilizando a mesma plataforma programe um sistema Fuzzy e verifique os resultados obtidos.

5 - Elaboração do Relatório

- Inicie o relatório com uma fundamentação teórica sobre o assunto.
- Compare os resultados os resultados obtidos na simulação com os calculados usando a fundamentação teórica.
- Mostre qual controle foi mais rápido e eficaz para o caso investigado.

6 - Referencias

MATHWORKS. *Fuzzy Logic Toolbox*, 2006.

NATIONAL INSTRUMENTS, *Labview - user manual*. 2003.

OGATA, K. *Engenharia de Controle Moderno*. Prentice Hall. 4a edição, 2003.