

# 1. Introdução

## 1.1.Objetivo

O objetivo desta dissertação é desenvolver um sistema de controle por aprendizado acelerado e Neuro-Fuzzy baseado em técnicas de inteligência computacional para sistemas servo-hidráulicos de alta frequência. Também é avaliado o desempenho do aprendizado dos modelos propostos. Estes sistemas são implementados em uma máquina para ensaios de fadiga, e avaliado seu desempenho.

## 1.2.Considerações Iniciais

Os avanços tecnológicos e as inovações industriais fazem uso de sistemas hidráulicos e pneumáticos em muitas aplicações como, por exemplo, indústrias automatizadas, exploração de minérios, maquinaria pesada, ensaios de materiais, indústria aeroespacial e marítima.

Estes sistemas têm muitas vantagens como alta durabilidade e capacidade para produzir forças a altas velocidades. Infelizmente estes sistemas têm características não lineares [1], as quais surgem da compressibilidade do fluido hidráulico, atrito no cilindro hidráulico, etc.

As máquinas para ensaios de materiais são desenvolvidas com sistemas servo-hidráulicos para poderem gerar forças e torques relativamente altos, assim como altas frequências de trabalho. O propósito de fazer estes ensaios é fornecer ao projetista e pessoal de manutenção as características do material para prever a vida útil de um equipamento ou estrutura.

O estudo da fadiga é importante porque a maioria das falhas dos elementos de máquinas em serviço se deve à fadiga. E a ruptura por fadiga ocorre sem nenhum aviso prévio.

Uma máquina para ensaios de fadiga é um equipamento capaz de submeter corpos de prova a esforços cíclicos, a fim de poder prever o comportamento dos mesmos tanto em condições críticas quanto em situações normais de trabalho.

É necessário desenvolver um controle eficiente para que o sistema possa atingir frequências típicas de trabalho, que para o caso dos ensaios em metais é de até cem vezes por segundo. Além disso, o controlador tem que ser capaz de superar as variações não lineares da dinâmica do sistema.

Devido à não linearidade do sistema, o melhor desempenho não é atingido com um controle clássico, isto devido a que toda a informação do processo não é conhecida *a priori*. Uma alternativa de projeto ótimo é baseada em um controlador que seja capaz de fazer a identificação e controle de sistemas dinâmicos não lineares.

Neste trabalho foi desenvolvida a otimização da metodologia de controle de uma máquina servo-hidráulica utilizando técnicas de inteligência artificial tais como: Redes neurais, Lógica fuzzy e sistemas híbridos Neuro-Fuzzy. Foi implementado um controle por aprendizado acelerado e um controle por aprendizado Neuro-Fuzzy, e as simulações computacionais do sistema para carregamentos de amplitude constante e variável. Finalmente, a verificação experimental foi feita nas máquinas servo-hidráulicas do Laboratório de Fadiga da PUC-Rio.

### **1.3.Motivação**

Os ensaios de materiais são realizados com o propósito de obter informação sobre os limites de tensão e de tempo de uso de uma peça ou elemento de máquina, com a finalidade de desenvolver novos tipos de materiais, processos de fabricação, ou tratamento de materiais para definir suas aplicações industriais.

Os ensaios de fadiga são um tipo de ensaio de importância fundamental nas indústrias para prever possíveis falhas, fazer um programa de manutenção, e aos fabricantes determinar os materiais adequados que possam suportar os esforços repetitivos requeridos pela tarefa do mecanismo. O ensaio de fadiga consiste em

aplicar a uma peça ou corpo de prova apropriado esforços cíclicos repetitivos, dependendo do tipo de ensaio a ser realizado; por exemplo, os ensaios de iniciação e de propagação de trincas.

Os aparelhos de ensaio de fadiga são constituídos por um sistema de aplicação de cargas, que permite alterar a intensidade e o sentido do esforço, e por um contador de número de ciclos. A Figura 1.1 apresenta um ensaio de iniciação de trincas por fadiga, o qual fornece dados quantitativos das características do material antes da ruptura.

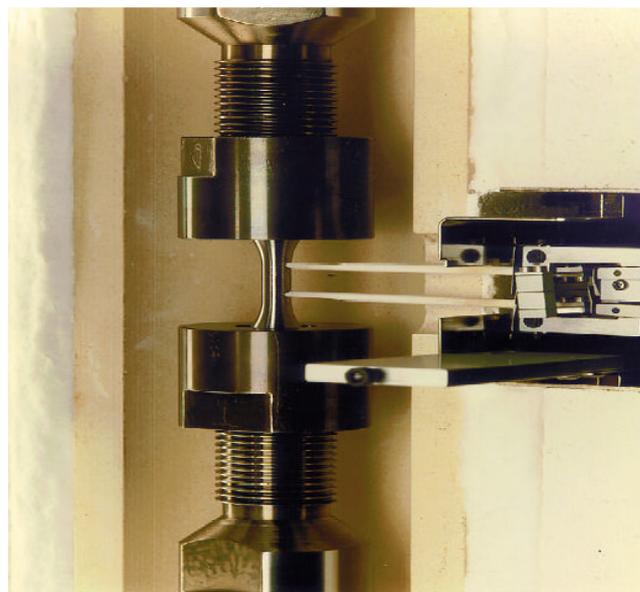


Figura 1.1. Ensaio de Fadiga.

Os ensaios de fadiga são quase independentes da frequência de trabalho, exceto em polímeros, onde a altas frequências o material é aquecido, tendo influência na resistência útil do material; mas se o corpo de prova puder ser resfriado, nesse caso a frequência não afetaria os resultados. Para um tipo de material dado e submetido a tensões alternadas, a resistência útil à fadiga basicamente só depende do número de ciclos aplicados ao material de prova, é por este motivo que os aparelhos de ensaios de materiais trabalham a altas frequências, procurando uma redução do tempo e custo dos ensaios, sem que isto interfira nos resultados.

As técnicas de inteligência artificial tais como: Redes Neurais, Lógica Fuzzy e sistemas híbridos Neuro-Fuzzy têm a capacidade de modelar uma grande

classe de plantas de dinâmica não linear com um arbitrário grau de precisão; isto permite projetar um esquema de controle ótimo aplicado a sistemas servo-hidráulicos, sem a necessidade de ter conhecimento de todo o modelo da planta.

#### 1.4.Revisão Bibliográfica

O controle de sistemas servo-hidráulicos apresenta muitos trabalhos de pesquisa aplicados a manipuladores industriais que desempenham tarefas repetitivas. Um esquema de controle por redes neurais não requer a computação da dinâmica não-linear dos manipuladores, somente utiliza sinais medidos localmente para fazer a aprendizagem do comportamento do sistema através da atualização dos pesos da rede que minimizem o erro entre a saída desejada e real.

Nos últimos anos, sistemas baseados em redes neurais e fuzzy foram encontrando um caminho em aplicações em controle e muitas outras áreas da engenharia. Os resultados obtidos capturaram a atenção de engenheiros que trabalham com sistemas reais. Isto é devido principalmente aos resultados obtidos e freqüentemente à facilidade de implementação quando se desenvolvem sistemas de controle baseados em redes neurais e fuzzy [2].

Outro trabalho [3] apresentou o uso de um controlador por aprendizado, utilizando técnicas Neuro-Fuzzy no projeto de um controle de trajetória, modelando o atuador eletro-hidráulico.

Outra aplicação utiliza um controle híbrido adaptativo Neuro-Fuzzy por modelo de referência (“*Adaptive Neuro-Fuzzy Model Reference Controller*”, *ANFMRC*) [4], e foi desenvolvido para melhorar o desempenho do controle em um sistema pneumático, este controle híbrido é combinado com um controle “*bang-bang*” aplicado quando o erro é alto, e um *ANFMRC* aplicado quando o erro é pequeno.

Na teses de dissertação de Alva [5], foi desenvolvido um controle por aprendizado, restringindo a servo-válvula a trabalhar sempre em seus limites extremos de operação “*bang-bang*”. Nesse caso, os pontos de reversão da válvula sempre devem ficar entre o vale e pico de um carregamento (ou entre pico e vale),

e este parâmetro depende da amplitude e do menor valor da carga solicitada. Para que a servo-válvula trabalhe em seus limites de funcionamento, uma lei de aprendizado obtém os instantes ótimos para as reversões. E depois é armazenada em tabelas específicas para cada tipo de carregamento, e atualizada continuamente.

As principais máquinas para testes de materiais possuem sistemas servo-hidráulicos. As principais marcas que encontramos no mercado são a INSTRON e a MTS, com alguns modelos capazes de trabalhar com células de carga desde 5 kN a 500 kN, a uma frequência máxima teórica de 500 Hz (para amplitudes muito pequenas). Elas podem executar testes de tração, compressão, flexão e de fadiga. Têm a habilidade de testar os mais diversos materiais, incluindo polímeros, metais e compósitos. Todas as máquinas vêm equipadas com um controlador que usa um controle de malha fechada como se mostra na Figura 1.2.

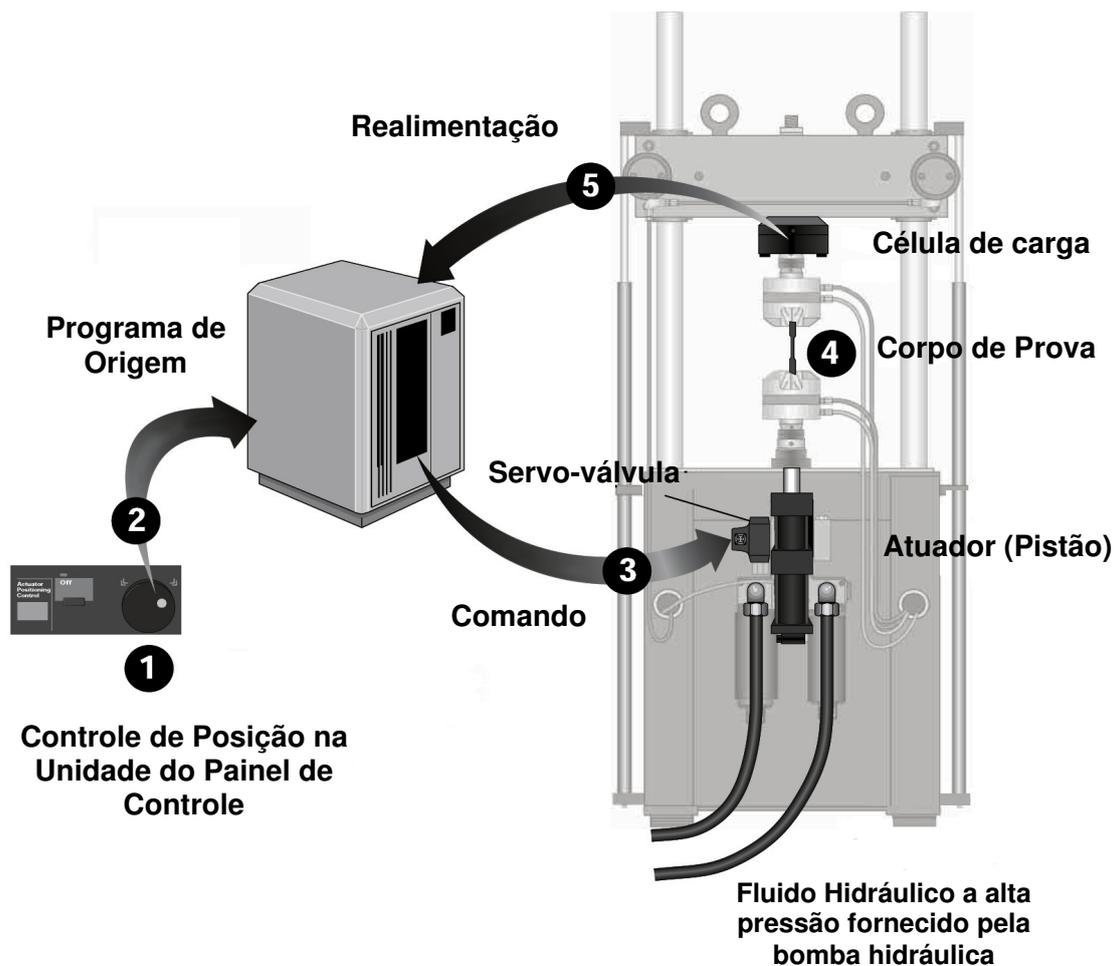


Figura 1.2. Etapas do sistema de controle das Máquinas de Ensaio do Laboratório de Fadiga da PUC-Rio [6].

## 1.5. Roteiro da Dissertação

Esta dissertação foi dividida em oito capítulos. A seguir estão listados os tópicos principais de cada capítulo.

- Capítulo 1: Introdução, onde se faz o resumo da pesquisa bibliográfica na qual se sustenta parte do estudo feito.
- Capítulo 2: São apresentados os conceitos básicos dos sistemas fuzzy.
- Capítulo 3: Apresentam-se os conceitos básicos das Redes neurais.
- Capítulo 4: Apresenta-se uma descrição geral dos sistemas híbridos Neuro-Fuzzy. É feita a modelagem do sistema servo-hidráulico.
- Capítulo 5: É apresentado o resumo da modelagem dos sistemas servo-hidráulico, e é feita a simulação do controle por aprendizado acelerado.
- Capítulo 6: Apresenta-se a simulação do controle por aprendizado Neuro-Fuzzy, e compara-se o desempenho do aprendizado dos modelos propostos.
- Capítulo 7: São feitos os experimentos em laboratório com a máquina servo-hidráulica, e a apresentação dos resultados.
- Capítulo 8: São apresentadas as conclusões sobre as vantagens do sistema de controle por aprendizado proposto.