

# 1 Introdução

## 1.1. Objetivo

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de controle por aprendizado para sistemas servo-hidráulicos de alta frequência. Este sistema é aplicado a uma máquina de ensaios de fadiga, e avalia-se seu desempenho.

## 1.2. Considerações Iniciais

Os sistemas hidráulicos são muito usados nos atuais sistemas industriais, por exemplo, nas plantas automatizadas, em robótica, simuladores de movimento, plantas de processamento de metal, exploração de minérios, prensas, sistemas de teste de fadiga de materiais, maquinaria pesada, etc. Em geral eles são usados onde se requerem forças e torques relativamente altos, alta velocidade de resposta para o início, parada e reversão da velocidade, etc.

As máquinas de testes de fadiga se baseiam em sistemas servo-hidráulicos e têm como propósito fazer ensaios nos materiais para prever a vida útil em serviço. A aplicação da carga pode ser repetida milhões de vezes, em frequências típicas de até cem vezes por segundo para metais. Para se atingir estas frequências, relativamente altas para um teste de fadiga, é necessário um sistema de controle eficiente.

No desenho de um sistema de controle ótimo, se toda a informação *a priori* do processo a controlar é conhecida, e pode ser descrita deterministicamente, então o regulador ótimo é projetado por técnicas de otimização determinística. No entanto, se a informação *a priori* é desconhecida ou parcialmente conhecida, em geral um projeto ótimo não pode ser atingido com os métodos clássicos de controle. Uma alternativa é projetar um controlador que seja capaz de estimar a informação desconhecida durante a operação, e uma ação de controle ótima é determinada com base na informação estimada.

Se a informação estimada se aproximasse gradualmente da informação verdadeira conforme passa o tempo, o funcionamento do controlador projetado seria tão bom como aquele do caso onde toda a informação *a priori* requerida era conhecida. O controlador aprenderia a informação desconhecida durante a operação, e a informação aprendida seria usada como uma experiência para futuras decisões de controle. Esse tipo de controle é conhecido como controle por aprendizado.

Neste trabalho se realizará o desenvolvimento de pontos importantes para controlar estes sistemas, tais como a modelagem do sistema de controle de uma máquina servo-hidráulica, a simulação computacional do sistema para valores de amplitude constante e variável, e o desenvolvimento de leis de aprendizado. Finalmente, a verificação experimental será feita nas máquinas servo-hidráulicas do Laboratório de Fadiga da PUC - Rio.

### **1.3.Motivação**

Os ensaios de materiais são realizados com duas finalidades: uma é permitir a obtenção de informações rotineiras do produto (ensaios de controle) no recebimento de materiais dos fornecedores e no controle final do produto acabado. A outra finalidade é desenvolver novas informações sobre os materiais, como no desenvolvimento de novos materiais, de novos processos de fabricação e de novos tratamentos.

Os ensaios mecânicos permitem a determinação de propriedades mecânicas que se referem ao comportamento do material quando sob a ação de esforços. Elas são expressas em função de tensões e/ou deformações. O ensaio de fadiga consiste na aplicação de uma carga cíclica em um corpo de prova apropriado e padronizado segundo o tipo de ensaio a ser realizado, por exemplo, ensaios de iniciação e de propagação de trincas. Este ensaio é extensamente utilizado na indústria automobilística, na indústria aeronáutica, existindo desde ensaios em pequenos componentes até em estruturas completas, como asas e longarinas. O ensaio de fadiga é capaz de fornecer dados quantitativos relativos às

características de um material ou componente a suportar cargas repetitivas e/ou cíclicas por longos períodos, sem se romper. A Figura 1.1 apresenta um ensaio de iniciação de trincas de fadiga.

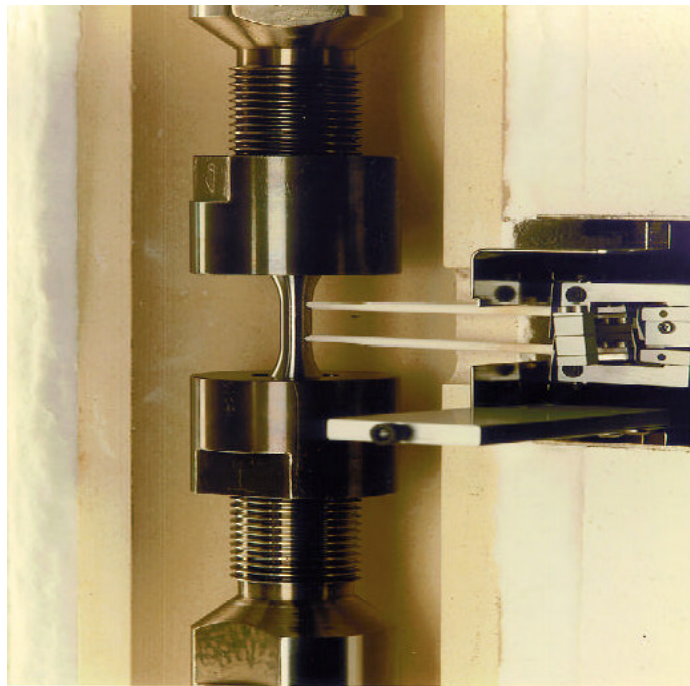


Figura 1.1. Ensaio de Fadiga.

O ensaio de fadiga é quase sempre independente da frequência de trabalho. Uma notável exceção está na fadiga em polímeros, onde altas frequências podem aquecer o corpo de prova e conseqüentemente diminuir sua vida. No entanto, mesmo nesses casos, se o corpo de prova for devidamente resfriado, a frequência não mais interfere nos resultados. Para uma dada resistência do material e magnitudes das tensões alternadas e médias aplicadas, a vida à fadiga depende essencialmente do número de ciclos de carga aplicados ao material testado. Por esse motivo, trabalhar com a máquina de ensaios de materiais a uma frequência mais elevada traz vantagens de redução de tempo e custo dos ensaios, sem interferir nos resultados.

## 1.4.Revisão Bibliográfica

O controle de sistemas servo-hidráulicos apresenta muitos trabalhos de pesquisa aplicados a manipuladores industriais que desempenham tarefas repetitivas. O esquema de controle somente utiliza sinais medidas localmente, não requer a computação da dinâmica não-linear dos manipuladores.

No controle de sistemas servo-hidráulicos usou-se um controlador não-linear baseado em Lyapunov [1], onde a lei adaptativa foi também proposta para eliminar incertezas nos parâmetros hidráulicos. O desempenho do controlador não-linear foi comparado com um controlador PD, do qual pode se concluir que o controlador proposto superou amplamente o controlador PD na simulação e no experimento.

Outro trabalho [2] apresentou o uso de um controlador robusto com rejeição de perturbações para sistemas servo-hidráulicos. O controlador proposto consistia de três partes: o controlador robusto, o controlador auxiliar e o servo-controlador, realizados e projetados independentemente. Estes atributos permitiram ao sistema robusto determinar individualmente as especificações de sensibilidade aos parâmetros e a supressão de distúrbios de força no sistema. Além disso, a simulação e os resultados experimentais mostraram que o controlador tem a habilidade de manter a precisão do sistema na presença de variações muito grandes dos parâmetros da planta e/ou de distúrbios externos na sua entrada.

Um modelo *fuzzy* não-linear [3] baseado em MPC (Modelo Preditivo de Controle), que aproveita as ótimas capacidades de predição dos modelos *sugeno-type*, e um controle baseado em Redes Neurais utilizando realimentação linearizada, foram também desenvolvidos.

As principais máquinas servo-hidráulicas de testes de materiais que se encontram no mercado são das marcas INSTRON e MTS. Elas são capazes de trabalhar com células de carga desde 5 kN a 500 kN, a uma frequência máxima teórica de 500Hz (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.

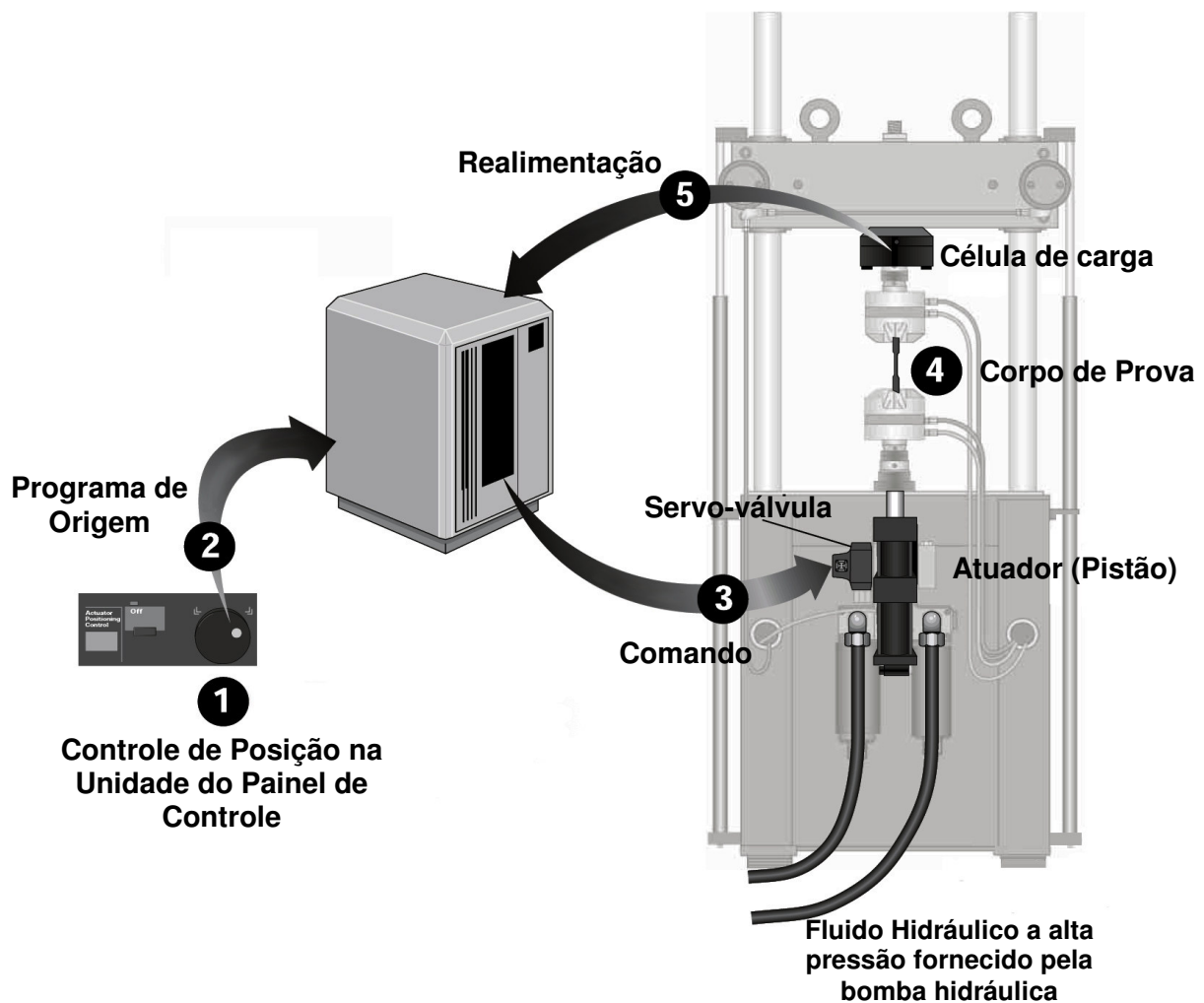


Figura 1.2. Etapas do sistema de controle das Máquinas de Ensaio do Laboratório de Fadiga da PUC-RIO [4].

## 1.5.Roteiro da Dissertação

Esta dissertação foi dividida em sete 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 conceitos básicos das propriedades físicas dos fluidos.
- Capítulo 3: Apresenta a descrição geral dos sistemas servo-hidráulicos.
- Capítulo 4: É feita a modelagem do sistema servo-hidráulico.
- Capítulo 5: É feita a simulação do sistema PID e do sistema de controle por aprendizado proposto.
- Capítulo 6: São feitos os experimentos em laboratório com a máquina servo-hidráulica, e a apresentação dos resultados.
- Capítulo 7: São feitas as conclusões sobre as vantagens do sistema de controle por aprendizado.