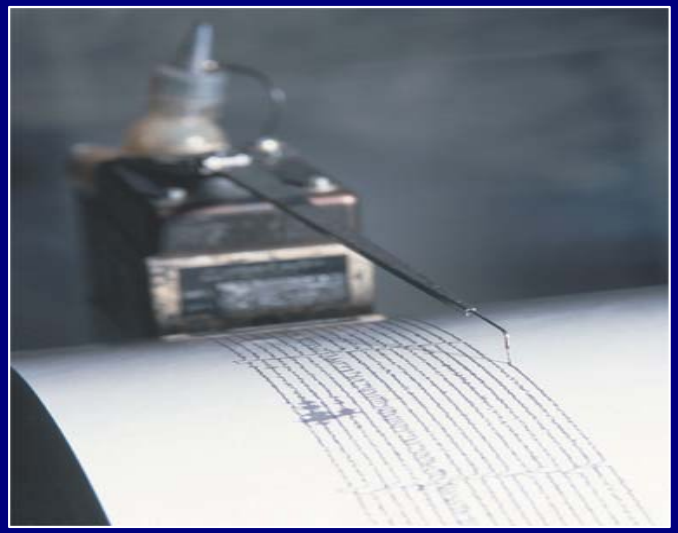


# Cap. I - Introdução

# Conteúdo

**1. Introdução**

**- Dinâmica de Estruturas (não-rotativas e rotativas)**
**- Aplicações: projeto (novos produtos) e análise (isolamento e diagnóstico da condição)**

**2. Mecânica Vibratória**

**- Conceitos Fundamentais**

**- Sistemas de um grau de liberdade**

**- Vibração livre sem amortecimento**
**- Vibração livre com amortecimento**
**- Vibração forçada sem amortecimento**
**- Vibração forçada com amortecimento**

**- Sistemas de dois ou mais graus de liberdade**
**- Sistemas contínuos**

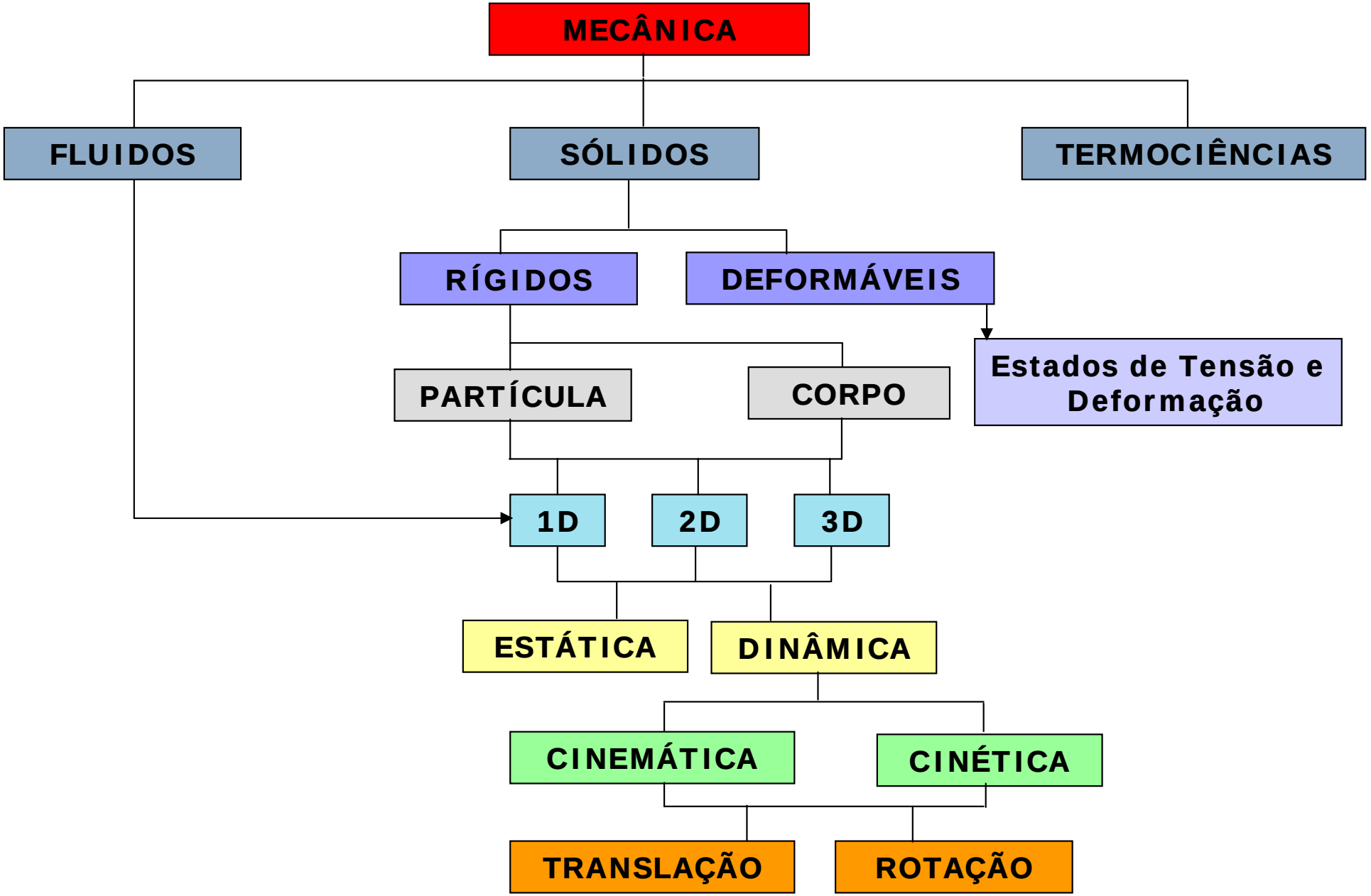
**3. Medição de Grandezas Dinâmicas**

**- Tipos de medição: deslocamento, velocidade e aceleração**
**- Elementos da Cadeia de Medição: sensores, condicionadores e equipamentos de aquisição de sinais**

**4. Processamento e Análise de Sinais Dinâmicos**

**- Domínio do Tempo**
**- Domínio da Freqüência**
**- Domínio do Tempo/Freqüência**
**- Domínio da Estatística**

# Eng. Mecânica – Ciências Fundamentais



# Mecânica Vibratória

- ***Vibração mecânica*** é o movimento de uma partícula ou de um corpo que oscila em relação a uma posição de equilíbrio. A maioria das vibrações em máquinas e estruturas são indesejáveis devido ao **aumento de tensões** e **perdas de energia**.

- O intervalo de tempo necessário para um sistema completar um ciclo completo do movimento é o ***período*** da vibração.

- O número de ciclos por unidade de tempo define a ***freqüência*** da vibração.

- O deslocamento máximo do sistema a partir de uma posição de equilíbrio é a ***amplitude*** da vibração.

- Quando o movimento é mantido somente por forças restauradoras, a vibração é descrita como ***vibração livre***. Quando forças externas são aplicadas ao sistema, o movimento é descrito como ***vibração forçada***.

- Quando a dissipação de energia por atrito é desprezada, o movimento é dito ***não amortecido***. Na realidade, todas as vibrações são amortecidas em algum grau, e portanto, o amortecimento, quando não desprezível, deve ser considerado, passando o movimento a ser ***amortecido***.

# Mecânica Vibratória – Aplicações

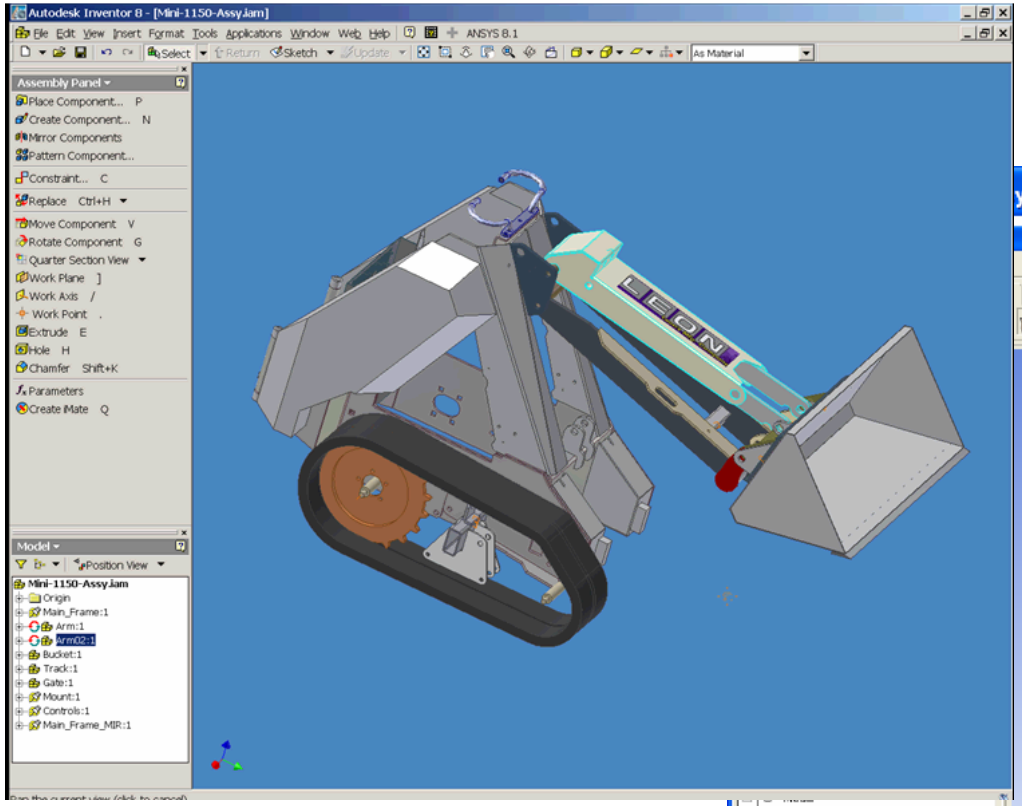
- **Projeto ->** desenvolvimento de um **novo produto**

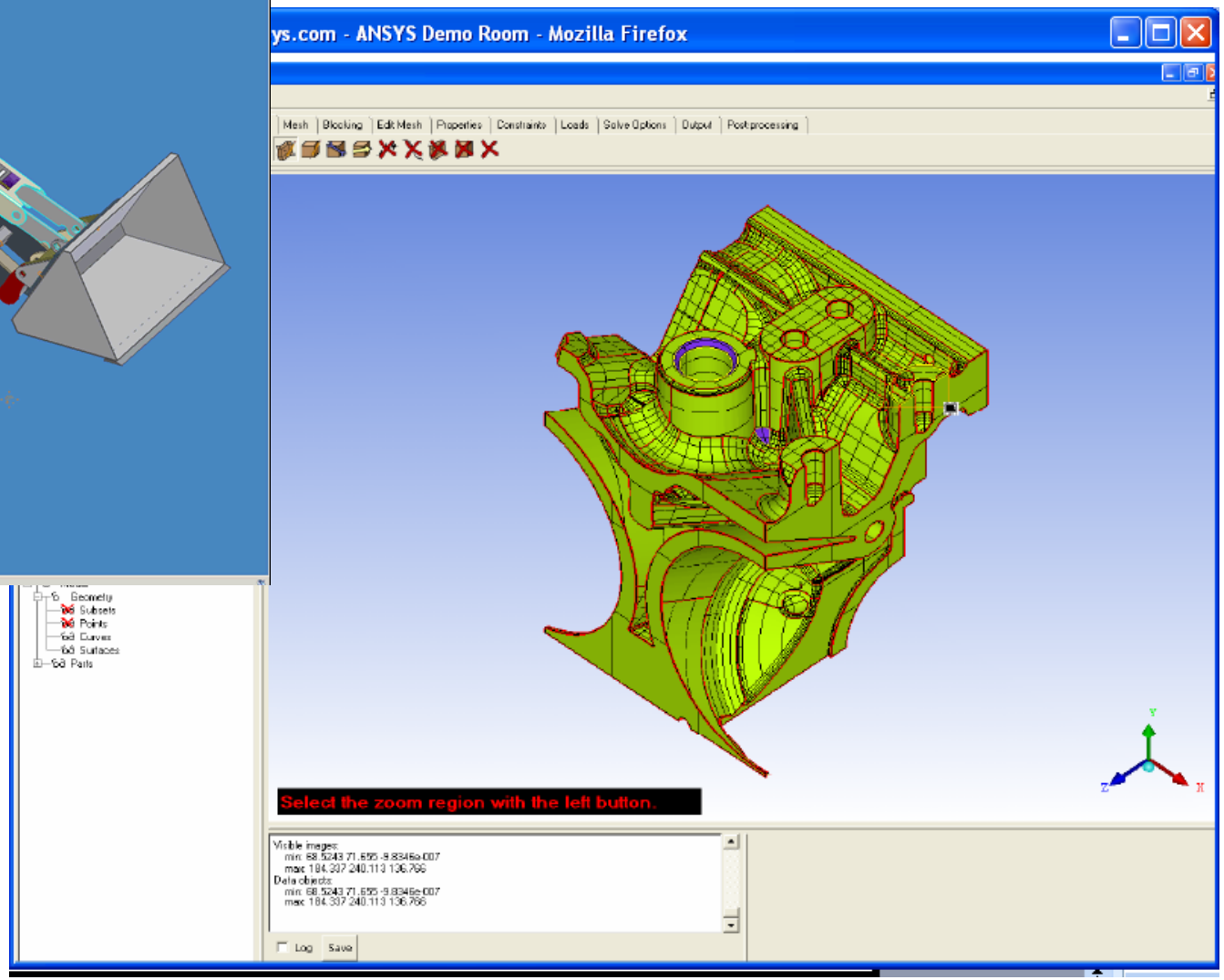
**Processo:**

Concepção do modelo matemático

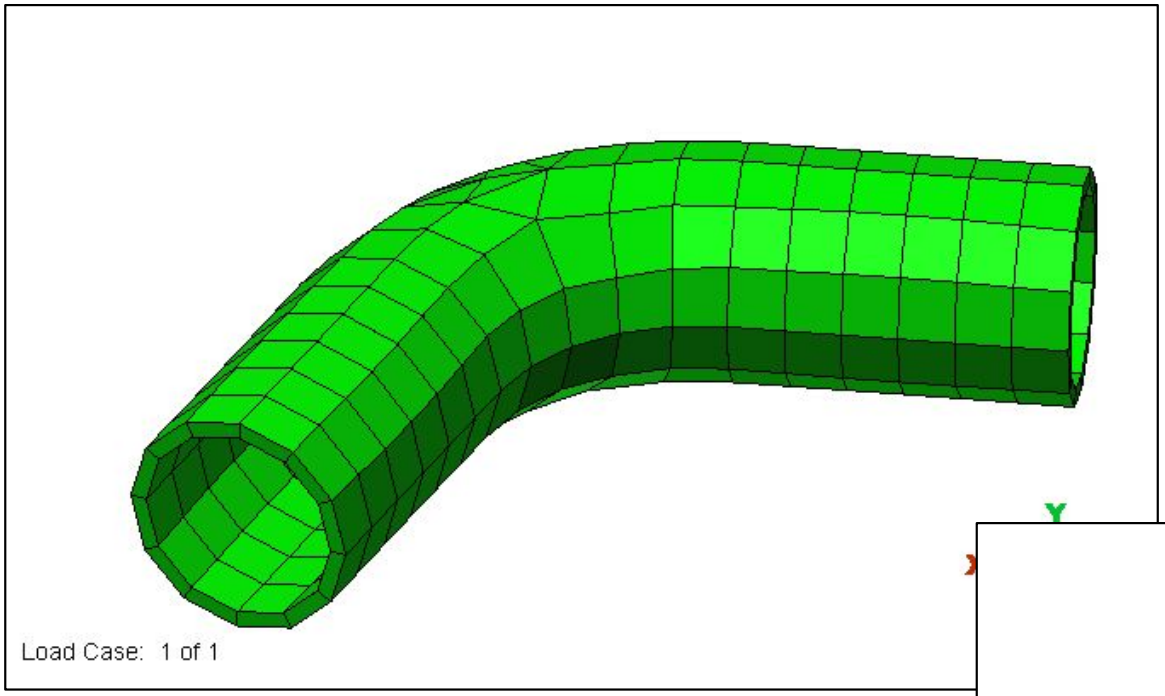
- Simulações computacionais
  - Construção do protótipo físico
    - Testes reais com o protótipo
      - Comparação de resultados (testes X simulação)
        - Ajuste do modelo
          - Novas simulações
            - Ajuste do protótipo
              - Novas comparações
                - Protótipo final
                  - Produção em série

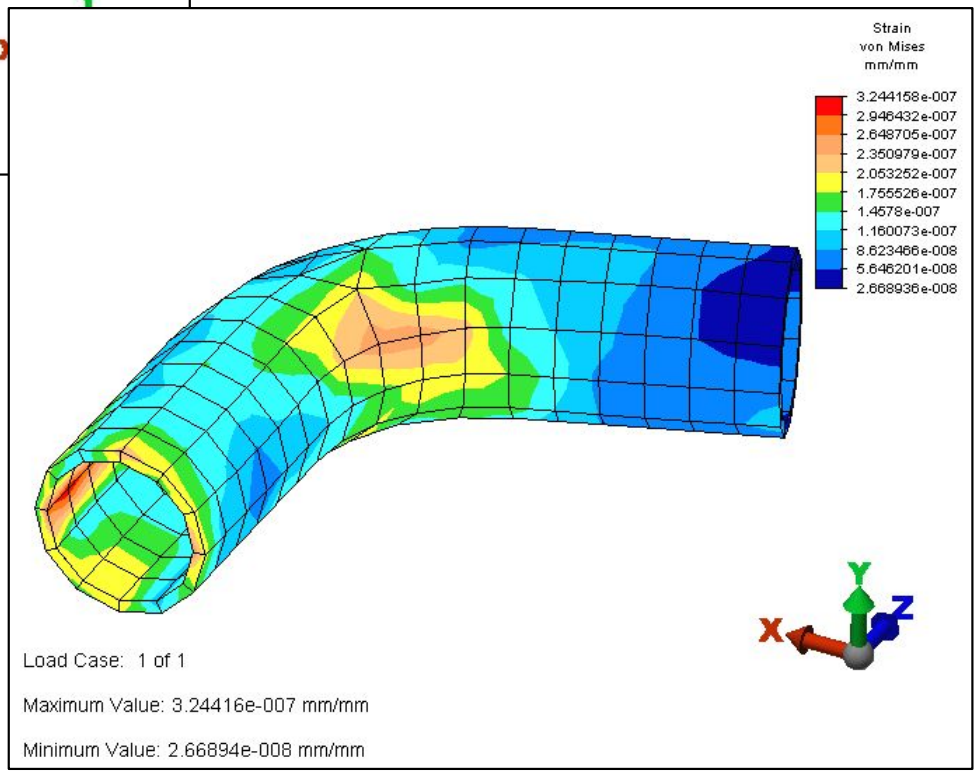
# Aplicações – Projeto: Simulação



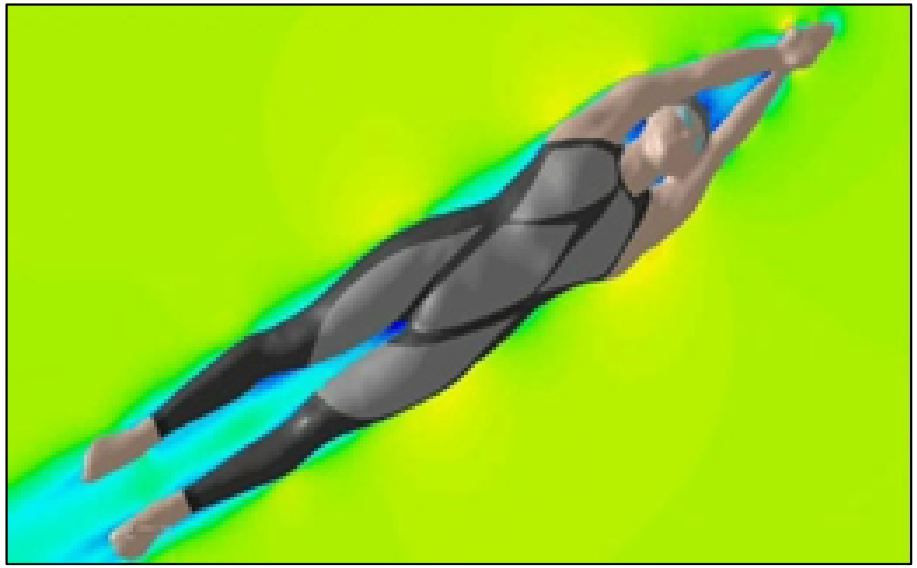



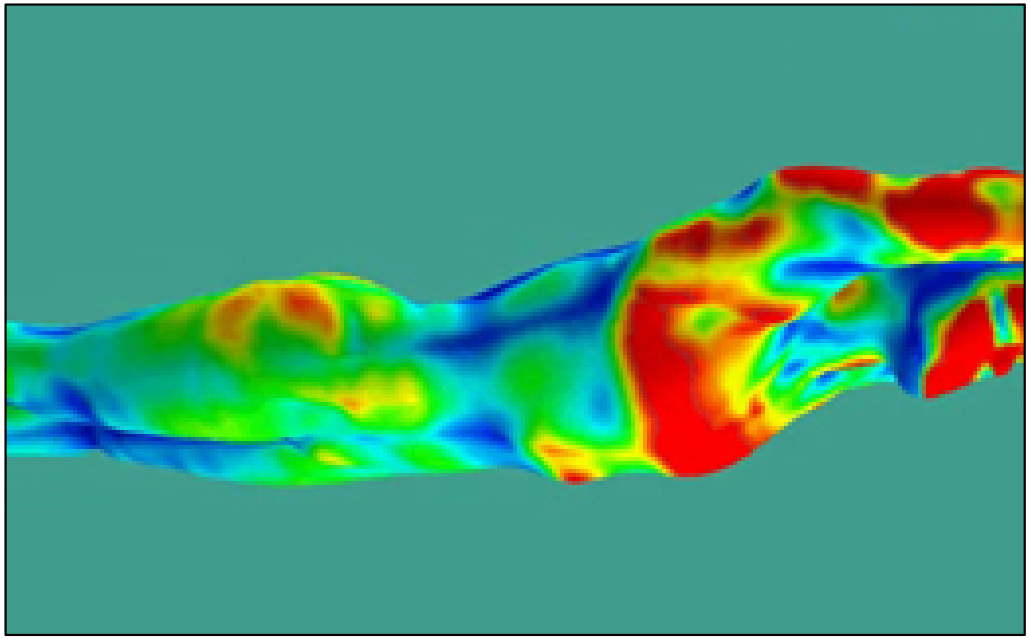
# Aplicações – Projeto: Simulação



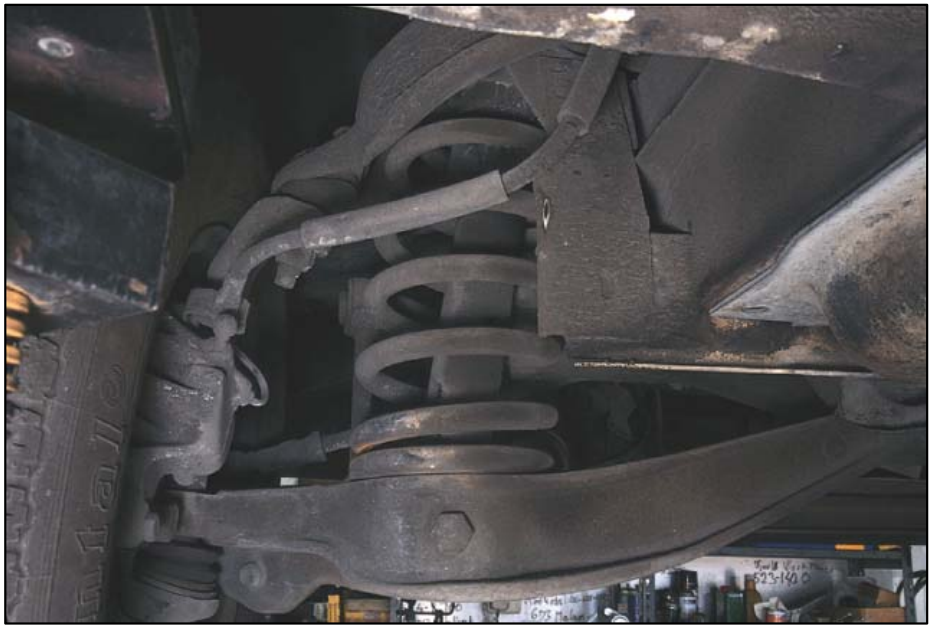
# Aplicações – Projeto: Simulação





# Aplicações – Projeto: Testes com protótipo





# Mecânica Vibratória – Aplicações

- **Análise ->** ajustes em um **produto existente** (isolamento de vibrações e ruído) e diagnóstico da **condição de operação** (eng. de manutenção)

**Processo:**

Identificação do item ou equipamento-alvo

↳ Definição da política de medição

↳ Montagem das cadeias de medição

↳ Medição dos sinais representativos

↳ Análise dos sinais

↳ Diagnóstico da causa ou da condição operacional

↳ Eliminação da causa (isolamento – modificação do projeto)

↳ Definição da política de manutenção (cond. operacional)

↳ Novas medições (contínuas ou não)

↳ Simulação computacional

↳ Comparação: medições X simulações

# Manutenção

*Conjunto de medidas e cuidados técnicos indispensáveis à conservação e ao funcionamento regular e permanente do ativo fixo de uma empresa, do qual fazem parte máquinas e equipamentos*

**OBJETIVOS**

- MAXIMIZAR A DISPONIBILIDADE E A CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS (ATIVOS FÍSICOS)
- GARANTIR A QUALIDADE NA FABRICAÇÃO DO PRODUTO
- MELHORAR DEFICIÊNCIAS DE CONCEPÇÃO (PROJETO)
- REPARAR EM TEMPO MÍNIMO
- REDUZIR CUSTOS
- REDUZIR ESTOQUE DE SOBRESSALENTES

**EVOLUÇÃO**

- CORRETIVA: INTERVENÇÃO NA QUEBRA
- PREVENTIVA: INTERVENÇÃO PROGRAMADA
- PREDITIVA: INTERVENÇÃO BASEADA NA MONITORAÇÃO DA CONDIÇÃO

# Manutenção
## Classificação

-**CORRETIVA:**

- Baseada na **Quebra**
- Aplicável a máquinas de baixo valor unitário e com redundância
- Não leva em conta os estágios anteriores à quebra
- Premissa: total utilização da vida útil dos componentes da máquina

-**PREVENTIVA:**

- Baseada no **Tempo** – intervalos determinados estatísticamente pelo fabricante
- Aplicável a máquinas importantes sem redundância e/ou com escassez de conhecimento dos mecanismos de falhas associados
- Representa risco de parada e de trocas desnecessárias (desperdício de tempo e dinheiro)

-**PREDITIVA:**

- Baseada na **Condição** Operacional a partir da observação da evolução (tendência) de determinados parâmetros, por exemplo: vibração, temperatura, etc.
- Otimiza a intervenção (momento, planejamento da produção e tempo de reparo)
- Implica em capacitação, sensoreamento e gerência dos dados de medições

# Manutenção Preditiva

***Premissa:*** *Detecção do início do processo de falha e acompanhamento de sua evolução durante a operação, de forma a otimizar a intervenção*.

**Monitoração da condição**

- Variáveis de processo (carga, velocidade, potência, grandezas elétricas, etc)
- Variáveis de operação (vibração, temperatura, pressão, descargas parciais, ruído, etc)
- Condições do lubrificante

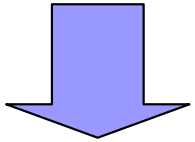
**Conhecimentos fundamentais:**

- Funcionamento do tipo de máquina com que trabalha
- Comportamento dos parâmetros físicos e das variáveis de processo
- Instrumentação empregada para medição, monitoração e análise

# Manutenção Preditiva

**Dificuldades Associadas:**

- Seleção dos pontos de medição e dos sensores adequados
- Uso objetivo dos métodos de análise de sinais
- Definição dos valores de referência para o dano e para os mecanismos de falha dos componentes da máquina
- Gerência dos dados das medições



**Prática mais factível:**

Preditiva => Preventiva:

*Intervalos fixos da Preventiva modificados em função da condição monitorada pela Preditiva.*

# Manutenção Preditiva

**Periodicidade do Monitoramento:**

**Intermitente (critério de seleção do intervalo):**

- Experiência com máquinas semelhantes
- Dados estatísticos do fabricante
- Avaliação de dados de manutenção e de falhas características
- Normas e recomendações (VDI, API, ASME, etc)

**Contínuo (características):**

- Medição permanente (em tempo real) das grandezas relevantes ao acompanhamento da condição
- Alarmes para a Operação
- Curvas de tendência e dados brutos para análise da Engenharia de Manutenção
- Diagnóstico da condição
- Prognóstico da falha e do dano associado

# Máquinas

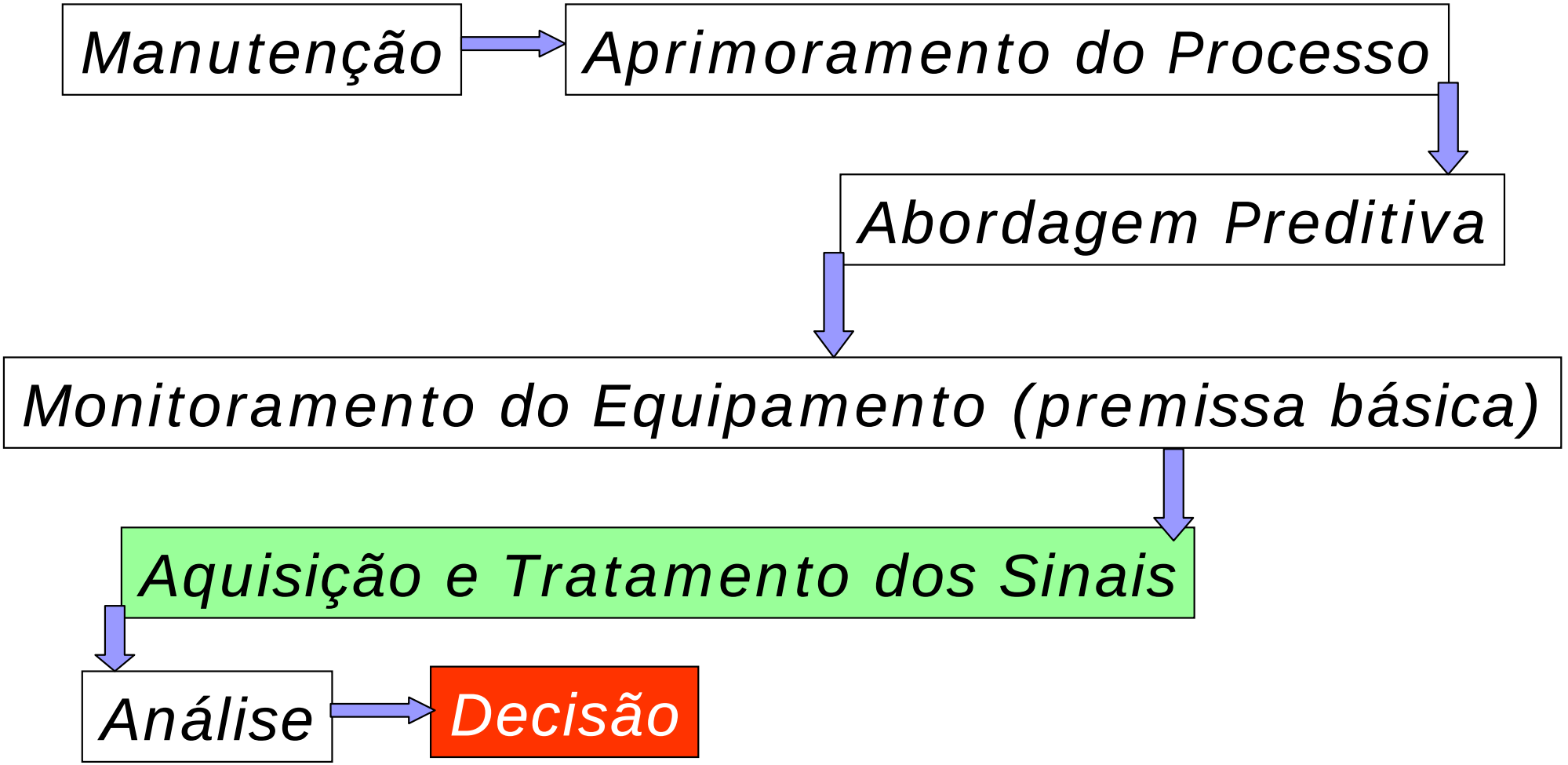
## Classificação Segundo a Participação no Processo Produtivo

- **Máquinas críticas**
  - . Fundamentais ao processo
  - . Operam a altos níveis de potência
  - . Monitoração permanente
  - . Análise sofisticada dos sinas medidos
  - . Retorno do investimento em instrumentação

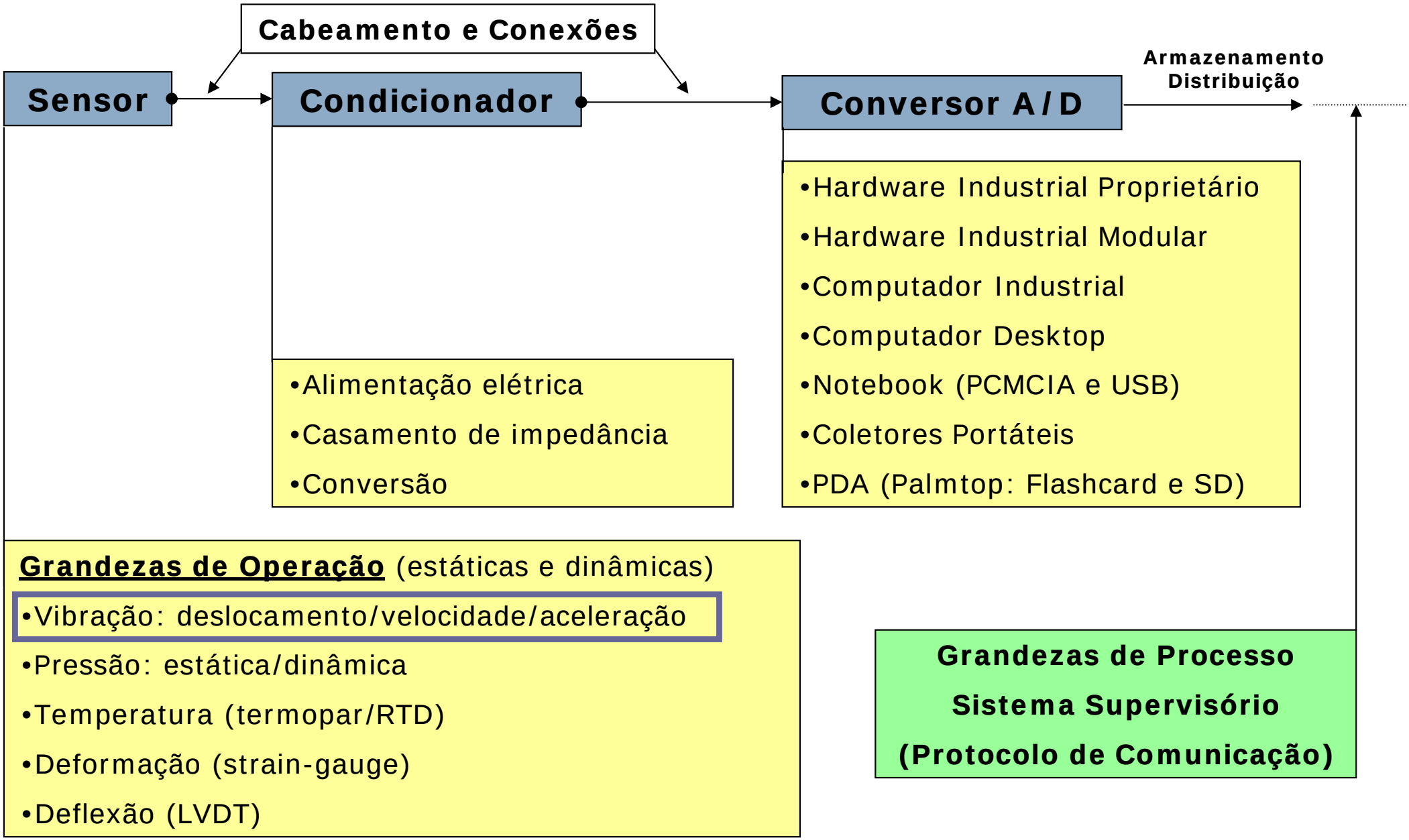
- **Máquinas essenciais**
  - . Operam a níveis médios de potência
  - . Instaladas geralmente em grupos
  - . Permitem substituição
  - . Instrumentação dedicada

- **Máquinas gerais**
  - . Não são fundamentais ao processo
  - . Operam a níveis baixos de potência
  - . Possuem geralmente unidades sobressalentes
  - . Monitoração a partir de medidores portáteis
  - . Análise simples dos sinais

# Manutenção Preditiva
## Contextualização



# Aquisição de Sinais
## Cadeia de Medição



# SINAIS – A Cadeia de Medição





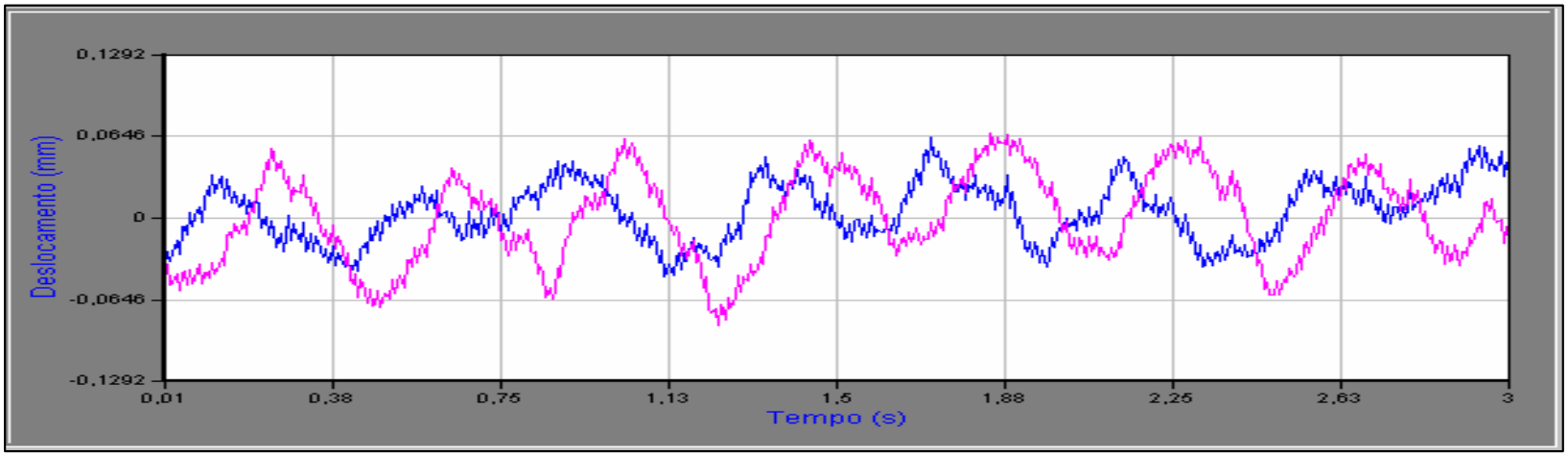


# A Medição de Vibração

## Sinais de vibração

Apresentam a informação quantificada em termos de:

- Amplitude (severidade dos eventos);
- Freqüência (taxa de ocorrência dos eventos);
- Fase ou sincronismo (relação de tempo entre eventos);
- Forma (conteúdo freqüencial)
- Posição (sensores de proximidade apenas);



# SINAIS

## Análise

