

# **Gerenciamento de Infraestruturas com o monitoramento de condições estruturais**

André Pereira  
National Instruments

# Falhas Estruturais Evitáveis

- Infraestrutura antiga
  - ~600.000 pontos nos EUA
    - metade construídas antes de 1964
    - 74.000 são estruturalmente deficientes
  - 85.000 barragens
  - 1.000.000 milhas de redes de água



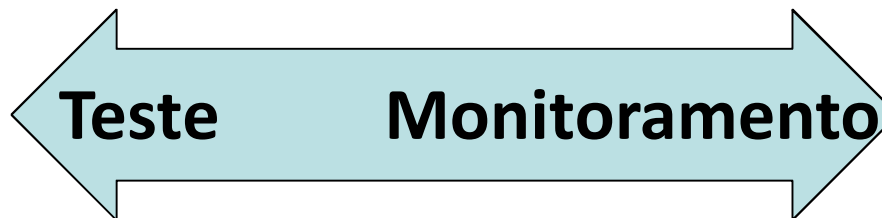
A Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE) estima que custaria \$ 2,2 trilhões de dólares para recuperar a infraestrutura nos EUA

# Monitoramento e Teste Estrutural

- Avaliação da integridade e desempenho estrutural
  - carga, análise de fadiga, vibração, detecção de danos, etc.
- Aumento do conhecimento de estruturas e materiais
  - verificar modelos, pesquisa, etc.



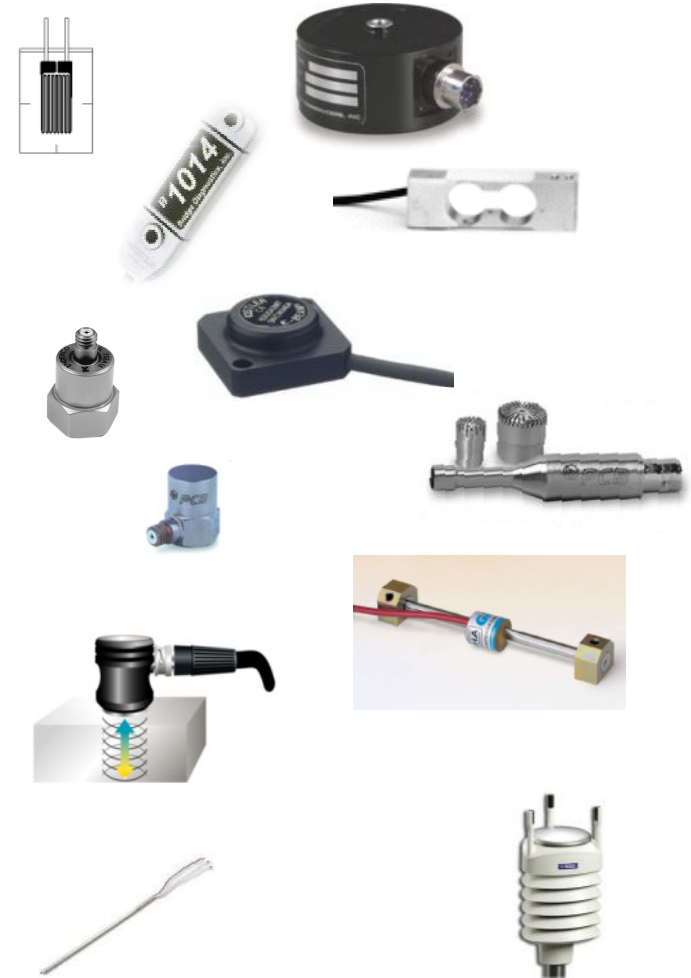
- *Lab. ou campo*
- *Duração Finita*



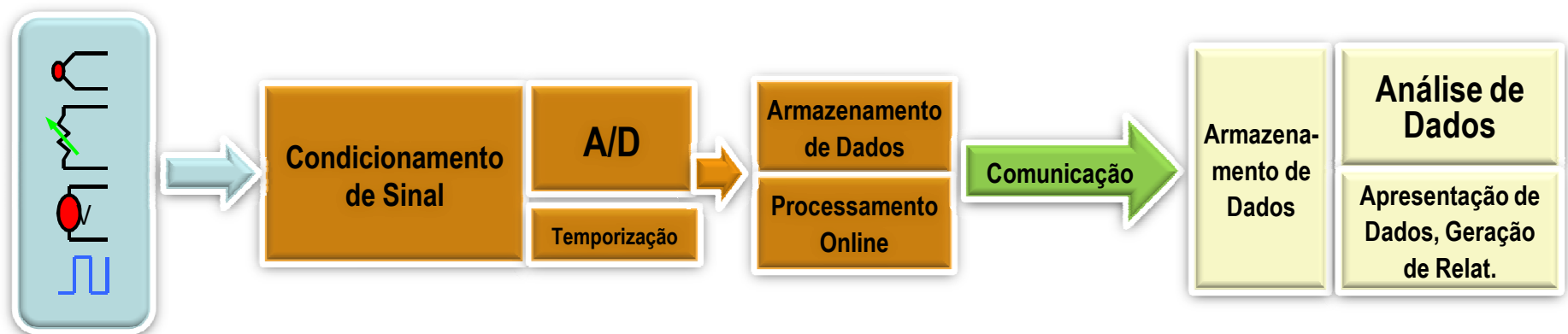
- *Operacional*
- *No campo*
- *Longo prazo*

# Sensores Comuns para Medições Estruturais

MEDIDAÇÃO/TIPO	SENSOR OU TECNOLOGIA
DEFORMAÇÃO e FORÇA	Strain gauges de resistência elétrica e células de carga
	Strain gauges para vibração
	Strain gauges de fibra óptica
VIBRAÇÃO	Acelerômetros piezoelétricos (IEPE)
	Piezoresistência capacitiva (MEMS)
	Acelerômetros de força
DESLOCAMENTO	Potenciômetros; extensão de cabos
	LVDTs
	Receptores GPS de alta resolução
	Inclinômetros de vibração, etc.
Nondestructive Testing (NDT)	Emissões acústicas
	Detecção ultrasônica
	Radar penetrado pela terra, infravermelho, MRI, etc.
	Sensores de corrosão (NDT)
TRÁFEGO	Video
	Weigh-in-Motion (WIM)
AMBIENTAL	Termopares, RTDs, Termistores
	Anemômetro (vento)
	Sensores de humidade



# Sistema de Medição Estrutural



**Sensores**

**Sistema de Aquisição de Dados**

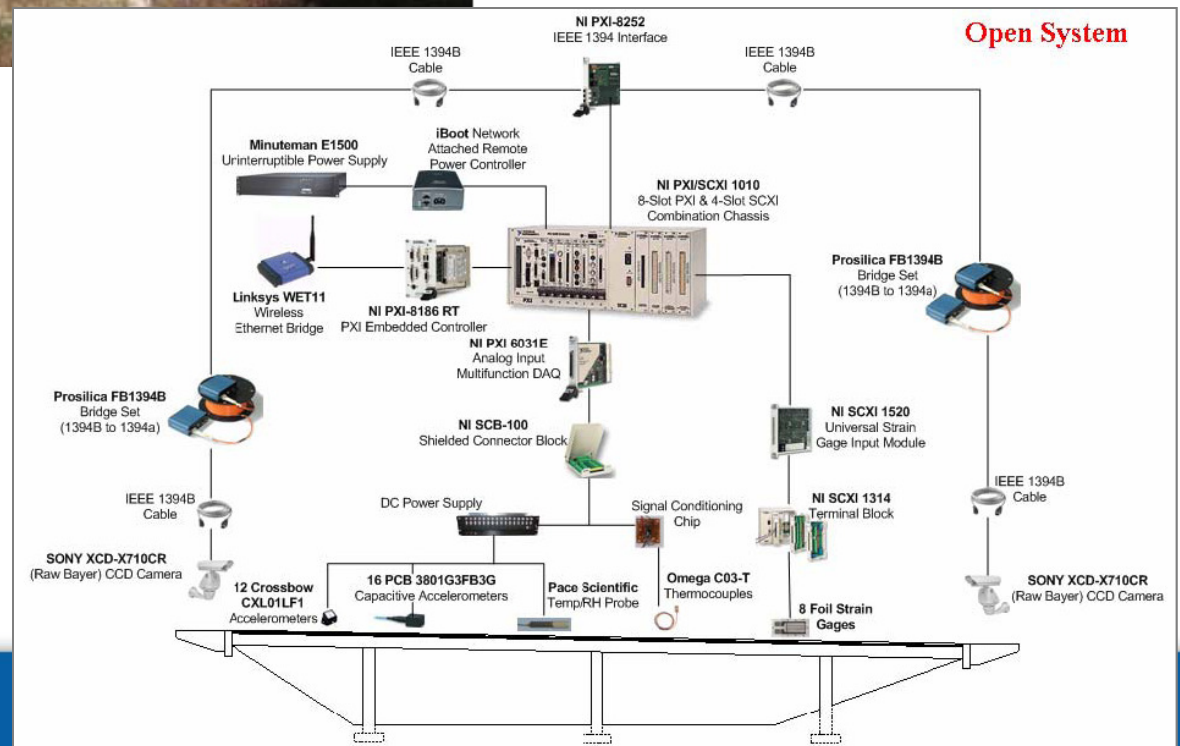
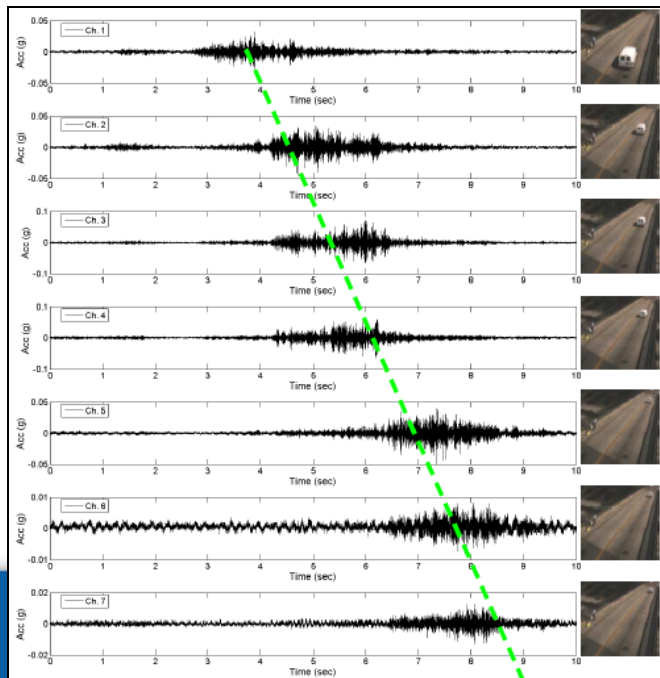
**Barramento/  
Rede**

**Gerenc. de Dados**

## *Tendências*

- Mais opções, utilização mista
- MEMS
- Fibra óptica
- Mais dinâmico
- Menor
- Condicionamento de sinal integrado
- Alta resolução (24-bit)
- Alta velocidade
- Baixo custo
- Opções de software embarcado
- Alta velocidade
- Distribuído, Sem Fio
- Conectividade Web
- Distribuído
- Alto desempenho; computação multicore
- Processamento Inline

# Pesquisa Sobre Pequena Ponte na UCSD





# Teste e Monitoramento Estrutural com Hardware e Software Modular da NI

**Desafio:** Encontrar uma plataforma de hardware e software DAQ que permitisse monitoramento de estruturas longas e curtas de uma faixa de sistemas estruturais durante e depois da construção

**Produtos Usados:** CompactRIO, CompactDAQ, LabVIEW, SignalExpress, e DIAdem

**Benefício Principal:** Solução escalável e modular para grandes estruturas como estádios, pontes e edifícios



**WJE** | ENGINEERS  
ARCHITECTS  
MATERIALS SCIENTISTS  
Wiss, Janney, Elstner Associates, Inc.

*"As plataformas NI CompactDAQ e CompactRIO, os módulos de aquisição de dados e o software LabVIEW satisfazem nossas necessidades nos diferentes ambientes nos quais trabalhamos."*

*- Richard Lindenberg, Wiss, Janey, Elstner Associates*

# Joint Venture R&D Project: Wireless Sensing for Long-Term Bridge Monitoring

- NIST Technology Innovation Program (TIP)
  - \$6.8M, 5 year research project; starting 2009
  - Joint venture of NI, Univ. of Texas, and WJE
- Reliable, rugged wireless sensor networking
  - Continuous strain, fatigue, crack propagation, corrosion
  - Energy harvesting
  - Complete system deployment
    - CompactRIO, NI WSN, LabVIEW
    - Remote data connectivity

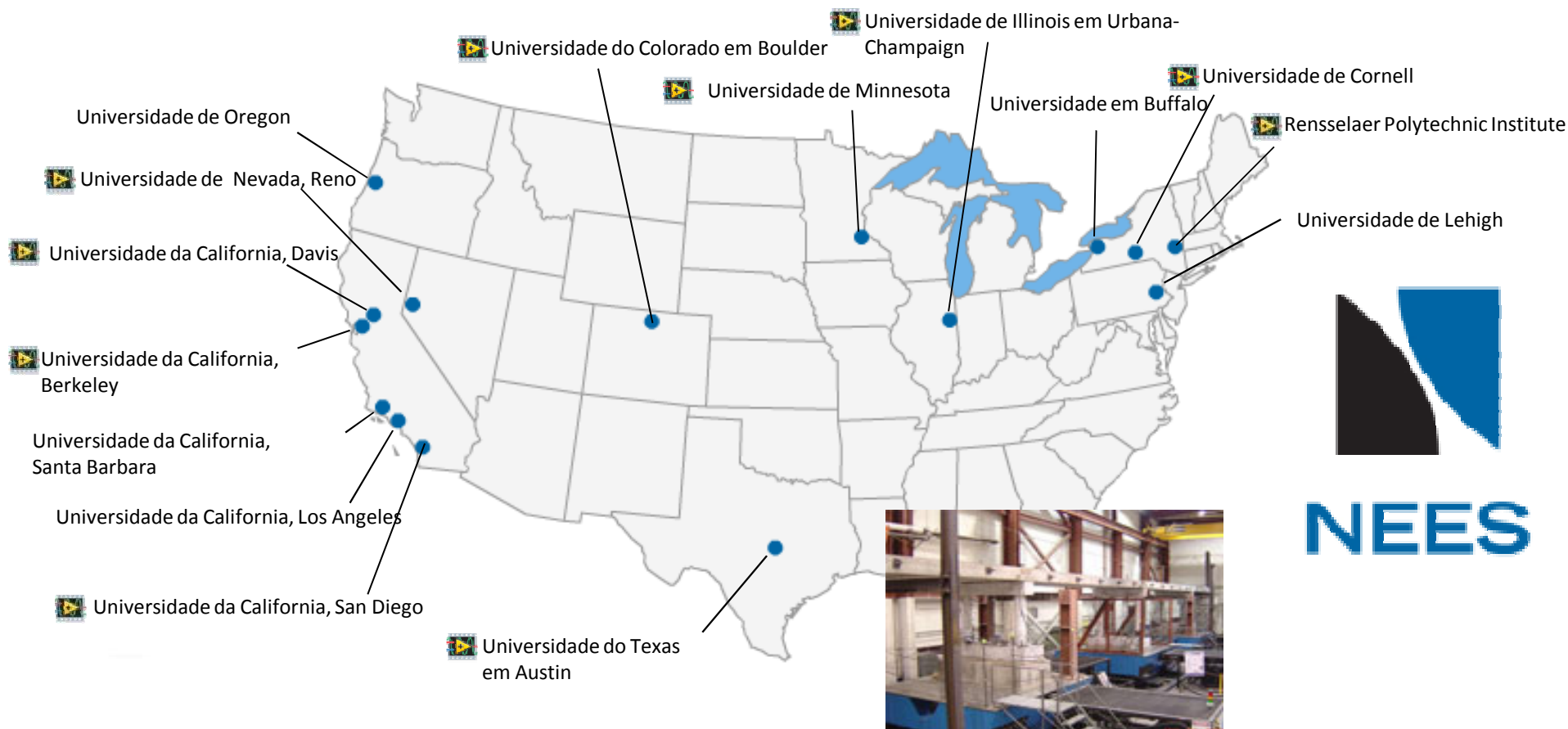
"This project will not only transform the evaluation practices used for highway bridges today, but will dramatically advance the state of the art in wireless sensing technology."

- Sharon L. Wood, Department Chair  
Civil, Architectural and Environmental Engineering, UT



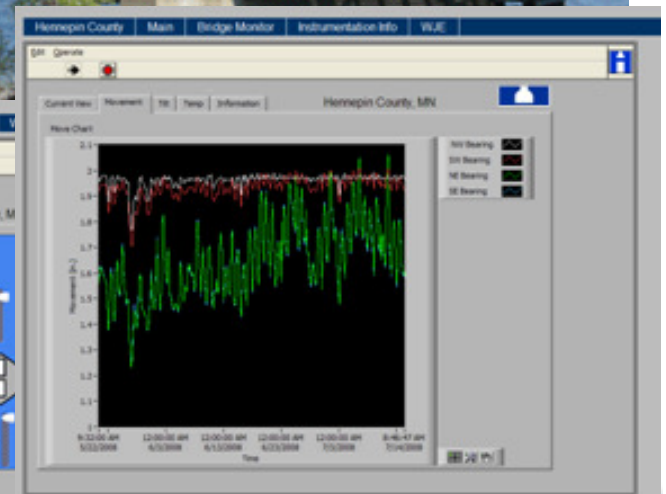


# O NI LabVIEW Ajuda na Pesquisa Avançada de Terromotos com Simulação Compartilhada Nacionalmente



# Monitoramento Remoto – Movimento do Pilar de uma Ponte

- Monitoramento contínuo do movimento e desempenho
- Sistema de monitoramento embarcado CompactRIO
  - Adquire dados de potenciômetros, **tiltmeters** e temperatura
  - Armazenamento de dados
  - Modem de celular EV-DO
  - Acesso de dados por servidor web
- Armazenamento de dados de host remoto e alarme (LabVIEW DSC)



# Monitorando a Saúde Estrutural da Ponte Rion-Antirion Utilizando o NI LabVIEW



Advitam

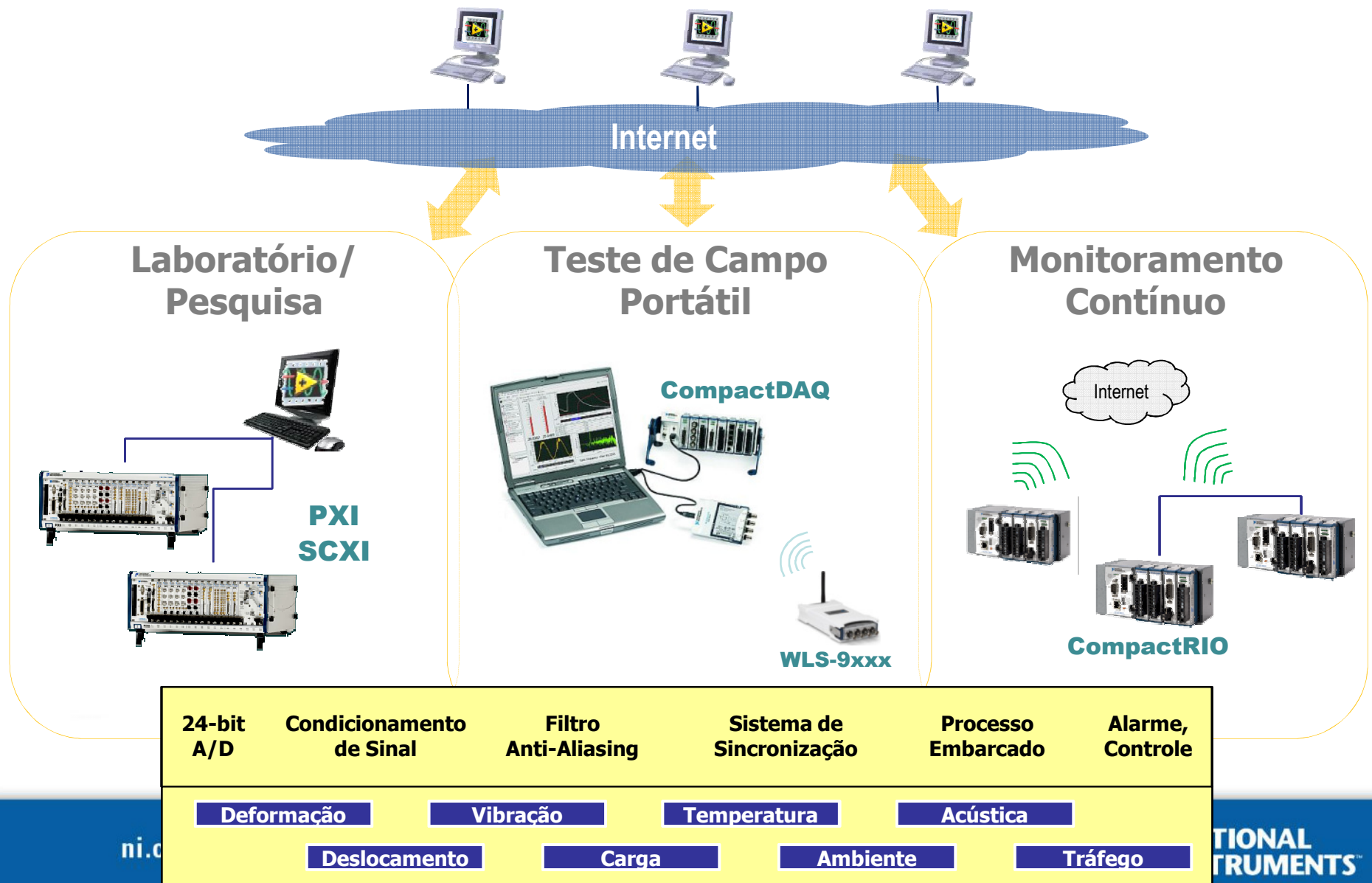
**Aplicação:** Alto número de canais, sistema de monitoramento com diferentes tipos de sensores distribuídos ao longo de 3km de ponte com alta atividade sísmica

**Desafio:** Confiável, monitoramento em tempo real enquanto sujeita a condições rígidas de ambiente

**Benefício Principal:** Fácil sincronização de diferentes tipos de medições dentro do sistema NI; tempo real, sistemas de monitoramento confiáveis com o LabVIEW Real-Time

# ARCHITECTURES FOR STRUCTURAL MONITORING AND TESTING

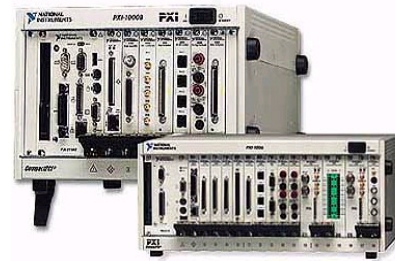
# Arquiteturas de Sistemas de Monitoramento e Teste Estrutural





# Instrumentação Lab/Pesquisa

- PXI – Instrumentação Modular
  - PCI eXtensions for Instrumentation
  - Aberto; suportado por mais de 60 vendedores
  - Controladora PC Embarcada
  - Alto desempenho; o melhor para temporização e sincronização
- SCXI – Condicionamento de Sinal
  - Condicionamento de sinal para módulos de aquisição PXI
  - Expansão econômica de canais de entrada condicionados



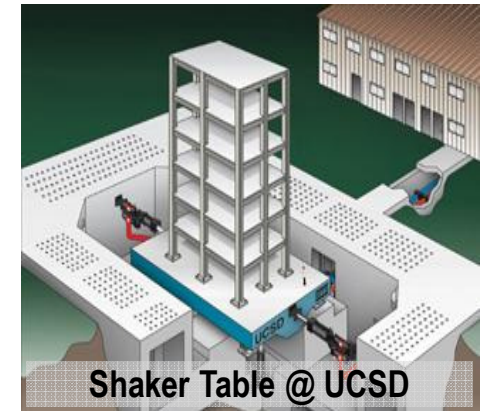
PXI



PXI/SCXI



SCXI



Shaker Table @ UCSD



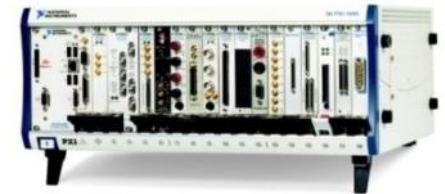
NEES Centrifuge @ UC-Davis

# PXI/SCXI

## *O Melhor Desempenho, Arquitetura para Grande Quantidade de Canais*

- **Escalabilidade Máxima**

- De 4 a 272 canais simultâneos em um único chassi
- Mais de 10.000 canais sincronizados em sistemas distribuídos
  - $< 0,1$  de deslocamento de fase a 1 kHz



PXI

- **Alta velocidade para Transmissão de Dados e Armazenamento**

- Configurações RAID-0 com 3 TB de armazenamento



Combo PXI/SCXI

- **Melhor desempenho para medições e E/S**

- Alta precisão de strain, vibração e áudio
  - A/D & D/A de 24-bit simultâneos
  - Faixa dinâmica de 120 dB
  - Taxa de amostragem de 204,8 kS/s/canal
- Grande faixa de condicionamento de sinal para sensores
- Digitalizadores de até 2 GS/s
- Geradores de Sinal de até 400 MS/s (interpolação)

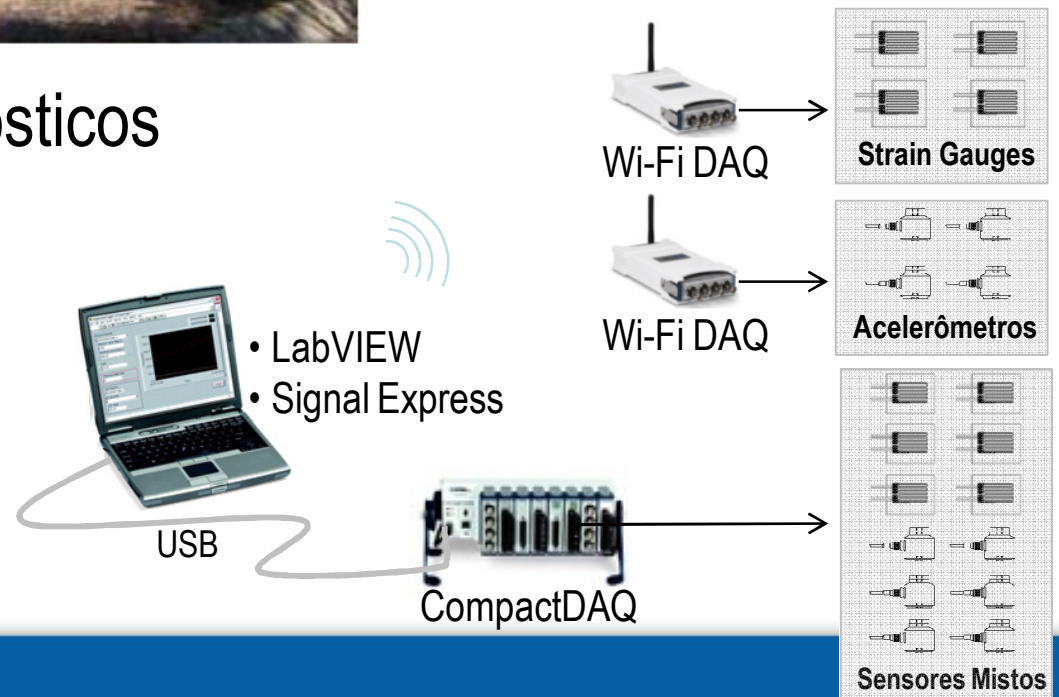
# Aplicação Portátil: Teste em Campo de Pontes



✓ Configuração fácil e rápida

- Teste de pontes e diagnósticos

- Faixa de carga
- Calibração de modelo FE
- Estudos de fadiga
- Análise Dinâmica
  - Formatos de modelos, etc.



# CompactDAQ e Série C

## *Baseada em PC, Sistemas DAQ Portáteis*

- **USB CompactDAQ**

- Fácil de configurar (USB plug-and-play)
- USB: chassis de 1, 4, e 8-slots
- WiFi: chassis de 1 slot
- Ethernet: chassis de 1 slot

- **Módulos de E/S da Série C**

- Mais de 50 módulos E/S da Série C
- Condicionamento de Sinal Integrado
- Alta precisão de strain, vibração, áudio, etc.
- E/S Analógica de até ~250kS/s (D/A de até 100 kS/S)





# Mais de 60 Módulos da Série C da NI e de Terceiros



- **Entrada Analógica**

- Até 250 kS/s, de amostragem simultânea
- Opções de 4, 8, 16 e 32 canais
- Condicionamento de sinal integrado para sensores
  - Strain gages, acelerômetros, termopares, RTDs, 4-20mA, etc.
  - Até  $\pm 60$  V
- 12, 16 e 24 bits de resolução
- Isolação canal-a-canal disponível

- **Saída Analógica**

- Até 100 kS/s de atualização simultânea
- Até 16 canais por módulo
- 10 V,  $\pm 20$  mA
- Isolação

- **E/S Digital**

- Até 10 MHz de temporização
- Contador/temporizador, PWM
- Opções de 8 e 32 canais
- Níveis lógicos de 5V/TTL, 12/24/48 V

- **Comunicações (cRIO)**

- Módulos CAN de 2 portas
- RS-232, RS-485
- Cartão de Memória SD
- Driver de motor servo CC com escovas

- **Módulos de Terceiros (cRIO)**

- LIN, Profibus, WLAN, MIL-1553, ARINC-429, GPS, GPRS, ZigBee, e mais



# Monitoramento Contínuo Embarcado e Remoto

## Software

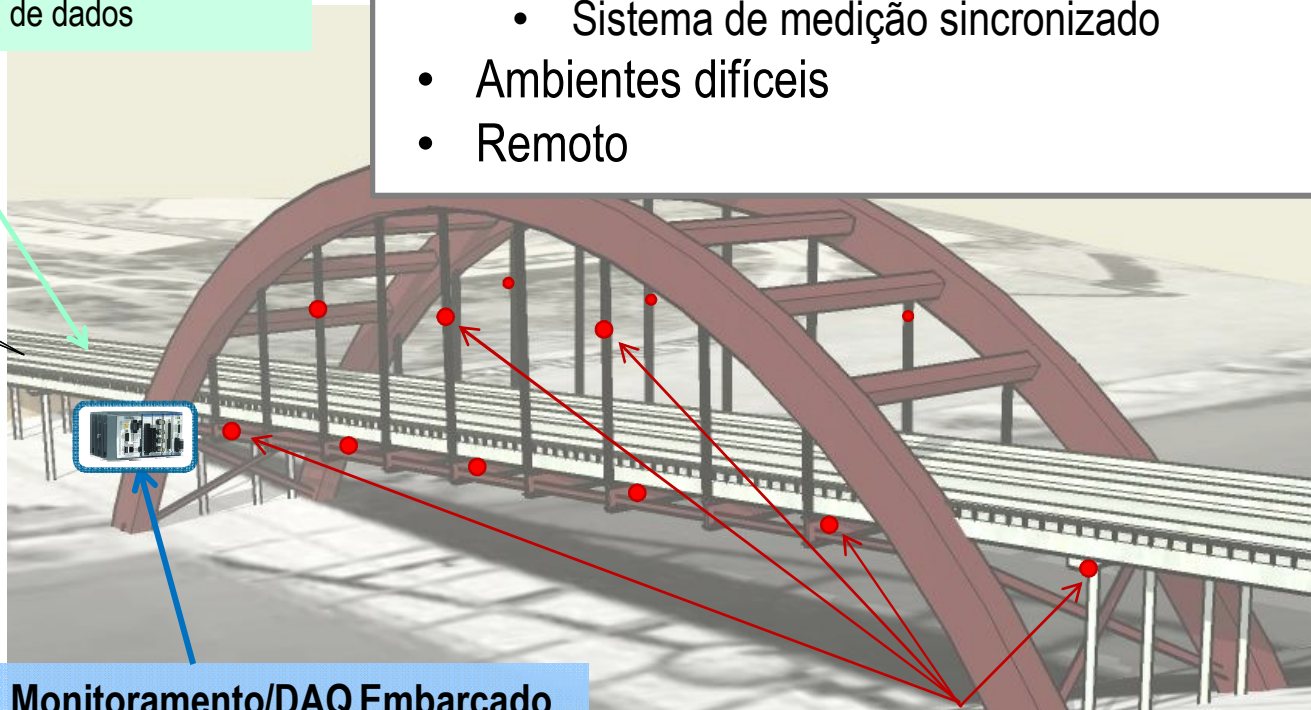
- Armazenamento de Dados
- Análise de dados e decisão
- Gerenciamento de dados



Data Center

## Desafios

- Grandes estruturas
  - Distribuídas, sensores espaçados, cabeamento longo
  - Sistema de medição sincronizado
- Ambientes difíceis
- Remoto



## Sistema de Monitoramento/DAQ Embarcado

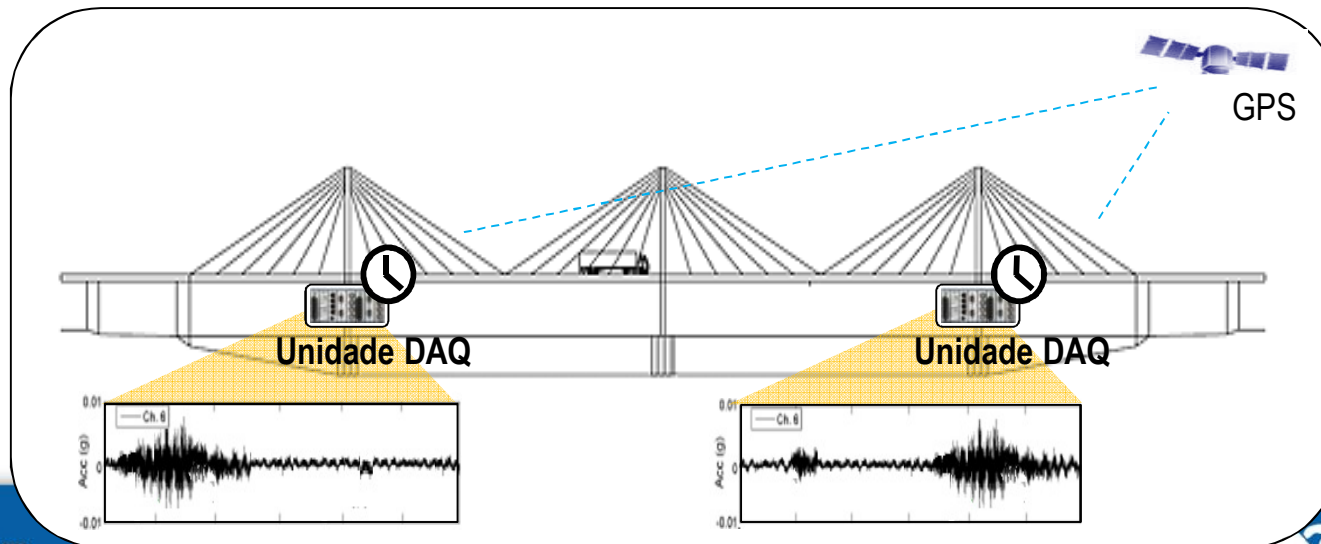
- Robusto, confiável
- Processamento e armazenamento de dados local
- Comunicação remota com o data center

## Sensores

- Strain, vibração, deslocamento, etc.

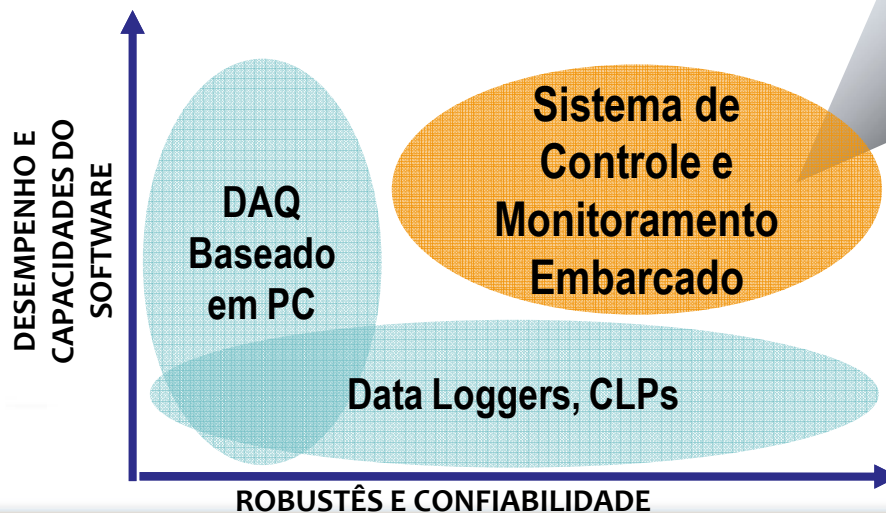
# Tecnologias Chave de Habilitação

- Tecnologias da web e internet
- Rede sem fio
  - Alta velocidade para dados dinâmicos (p.e. vibração)
  - Baixa potência para monitoramento a longo prazo
- Sincronização de tempo de medições distribuídas

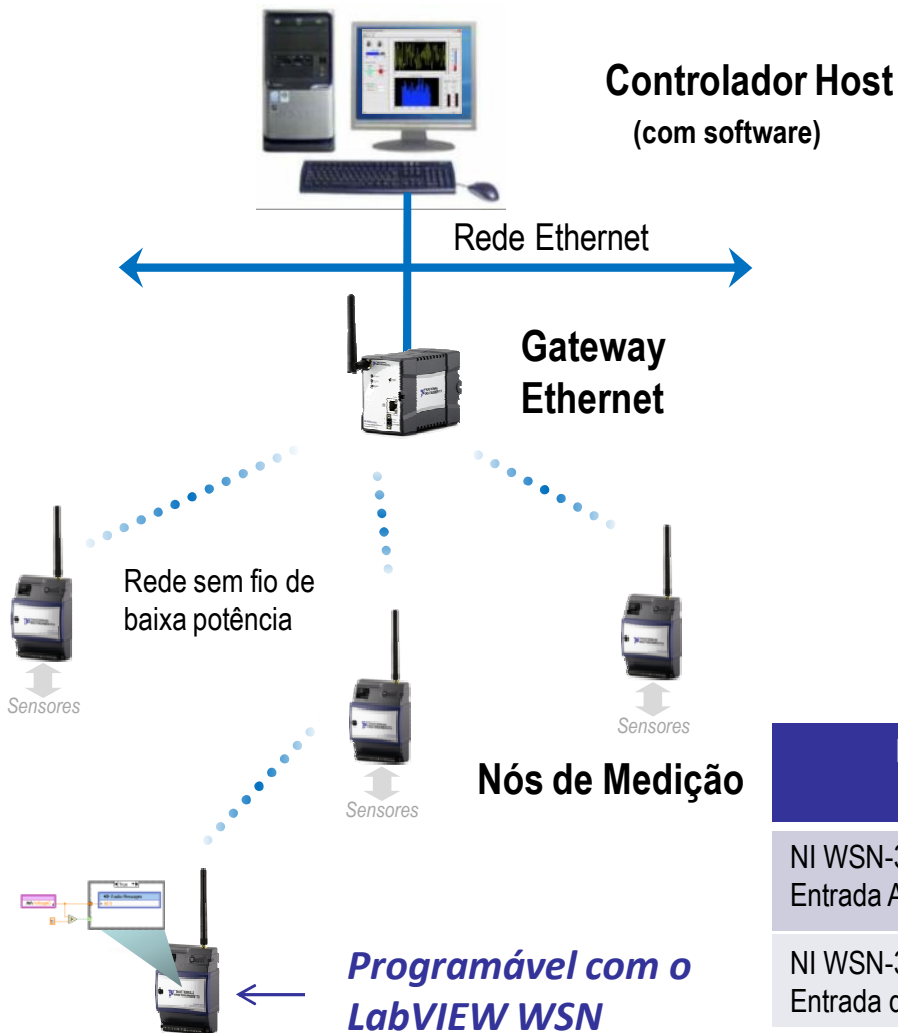


# Controle e Monitoramento Embarcados com o CompactRIO

- **Sistema Embarcado Inteligente**
  - Processador de Tempo Real
  - FPGA Reconfigurável
- **Robusto, Confiável**
- **Conectividade Remota**
  - Ethernet, TCP/IP, modems sem fio



# NI Wireless Sensor Networks (WSN)



## Características do NI WSN

- Rádio de 2.4 GHz IEEE 802.15.4
  - Faixa de alcance sem obstáculos de até 300 m
  - Com obstáculos de até 90 m
- Pilhas AA padrão (4)
  - Tempo de vida de 3 anos da bateria (a uma taxa de 1 atualização por minuto)
  - Entrada opcional de alimentação de 9-30 VDC
- Faixas industriais
  - Temperatura de operação de -40 a 70 °C
  - Choques de até 50 g<sub>rms</sub>; 5 g de vibração

Nó	Entradas Analógicas	E/S Digital	Res. A/D	Características
NI WSN-3202 Entrada Analógica	4	4	16 bits	Faixas de Entrada: $\pm 10$ V to $\pm 0.5$ V Alimentação do sensor: 20 mA @ 12V
NI WSN-3212 Entrada de Termopar	4	4	24 bits	Tipos de TC J, K, R, S, T, N, B, E

# EXAMPLE SHM DEPLOYMENTS



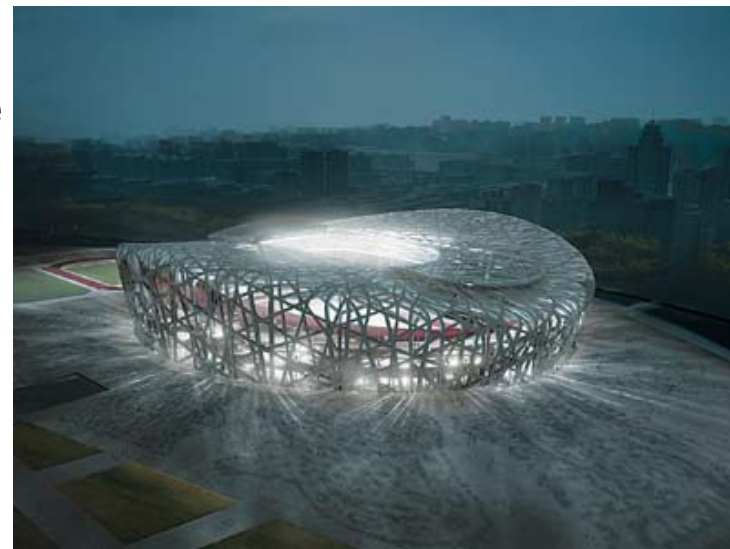
# Monitoramento da Saúde Estrutural dos Locais das Olimpíadas de Beijing de 2008

**Aplicação:** LabVIEW e CompactRIO para monitoramento da saúde estrutural (Structural Health Monitoring – SHM) para determinar a estabilidade, confiabilidade e tempo de vida de mega estruturas na China

**Desafio:** Desenvolver um sistema SHM confiável com monitoramento contínuo, envólucro robusto, sincronização com GPS e acesso remoto

**Produtos Usados:** CompactRIO e LabVIEW

**Benefício Principal:** Quantidade personalizada de canais por sistema SHM; temporização e sincronização de GPS;



**CGM**  
ENGINEERING, INC.

*“Utilizando hardware e software da National Instruments, nós projetamos, prototipamos e desenvolvemos um sistema SHM com grande quantidade de canais e sincronização GPS em menos de um ano.”*

*- Engenheiro Chris McDonald, CGM*

# Monitoramento Sincronizado da Ponte Donghai



## Requisitos da Ponte

- 20 milhas de comprimento, operando em rigorosas condições
- Monitoramento de vibração com baixa manutenção
- Software de alto nível para gerenciar, analisar e registrar a escala inteira

## Solução

- 14 sistemas PXI sincronizados utilizando GPS
- Operação 24x7 contínua por 2 anos

# I/O TECHNOLOGIES FOR NON-DESTRUCTIVE TEST (NDT)

# Teste Ultrassônico Não Destrutivo

## Tendências do Mercado

- Medições Personalizadas
- Automação e melhoria na velocidade dos testes
- Grande quantidade de canais

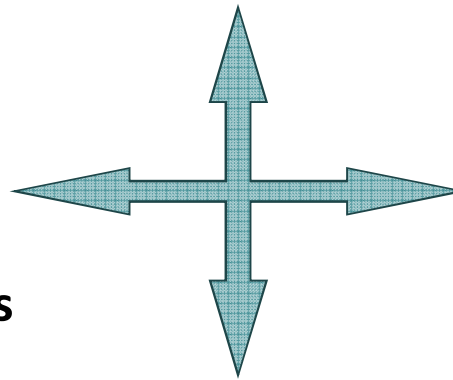
## Benefícios da Plataforma

- LabVIEW para medições personalizadas
- Plataforma **otimizada para testes automatizados**
- **Integração** (controle de movimento, digitalizadores, receptores de pulso, DAQ, etc)
- **Grande quantidade de canais** para diferentes transdutores

# Construindo Sistemas NDT Ultrassônicos Flexíveis



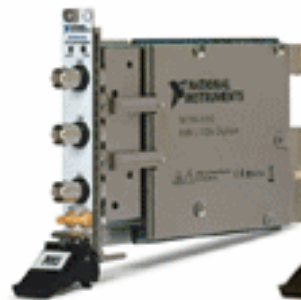
Receptores de Pulso Ultrassônicos



Transdutores Ultrassônicos

**NI Digitizers/  
Oscilloscopes**

**High Speed, High Density,  
High Resolution**



**NI 5152 NEW!**  
2 GS/s Real-Time, 20 GS/s ETS



**NI 5105 NEW!**  
8 Channels, 60 MS/s



**NI 5922**  
Up to 24 bits



# Linha de Digitalizadores da NI

	Modelo	Resolução (bits)	Taxa de Amostragem	Largura de Banda (MHz)	Canais
Alta Velocidade	NI 5154	8	2/1 GS/s	1000	1/2
	NI 5153	8	2/1 GS/s	500	1/2
	NI 5152	8	2/1 GS/s	300	1/2
Alta Resolução	NI 5124	12	200 MS/s	150	2
	NI 5122	14	100 MS/s	100	2
	NI 5142 DDC	14	100 MS/s	100	2
	NI 5105	12	60 MS/s	60	8
	NI 5922	16 – 24	15 MS/s	6	2
Baixo Custo	NI 5114	8	250 MS/s	125	2
	USB 5132/3	8	50/100 MS/s	50	2

# Solução de Usuário – Universidade de Kitasato

- Criado o sistema OCT mais rápido do mundo (**medical imaging**) utilizando hardware PXI e LabVIEW
- 256 canais simultâneos a 60 MS/s em 3 chassis sincronizados dentro de dezenas de picosegundos



# Soluções de clientes (*disponível online*)

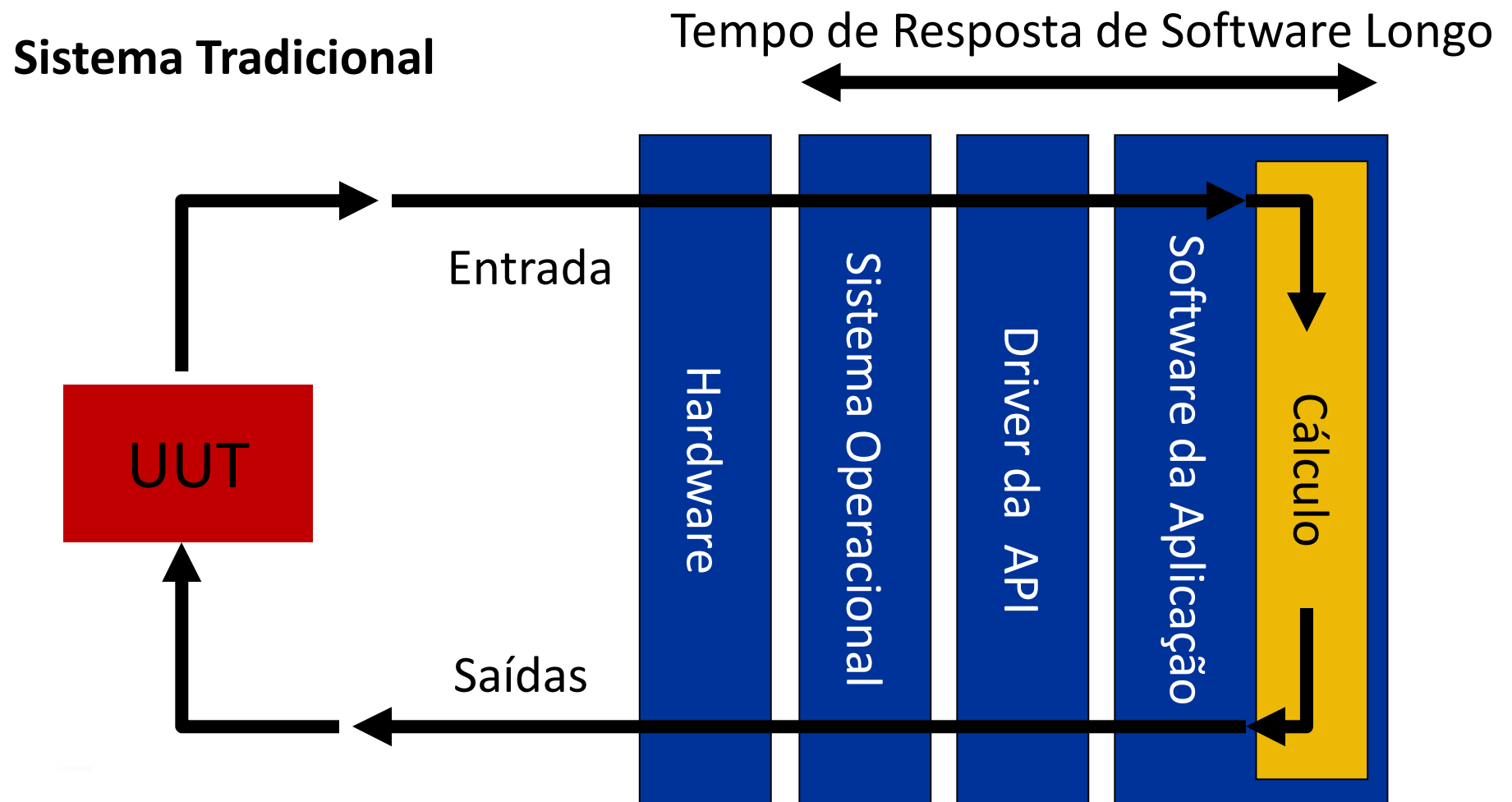
- Diagnostic Sonar acquires and processes Ultrasonic Phased Array image data with NI PXI and LabVIEW
- Building an Ultrasonic, Nondestructive Test System for the U.S. Army Using NI Modular Instruments and LabVIEW (gun barrel testing)
- Creating a Test System for a New Generation Ultrasound Machine with LabVIEW and PXI
- Using NI LabVIEW State Diagram Toolkit to Create Integrated Motion Control and Data Acquisition for Ultrasound Critical-Angle Reflectometry

# Qual é o futuro?

- **Medições baseadas em Hardware Field Programmable Gate Array (FPGA) utilizando LabVIEW**
- As medições ocorrem muito mais rapidamente
  - **Transfere apenas resultados e cálculos em tempo real**



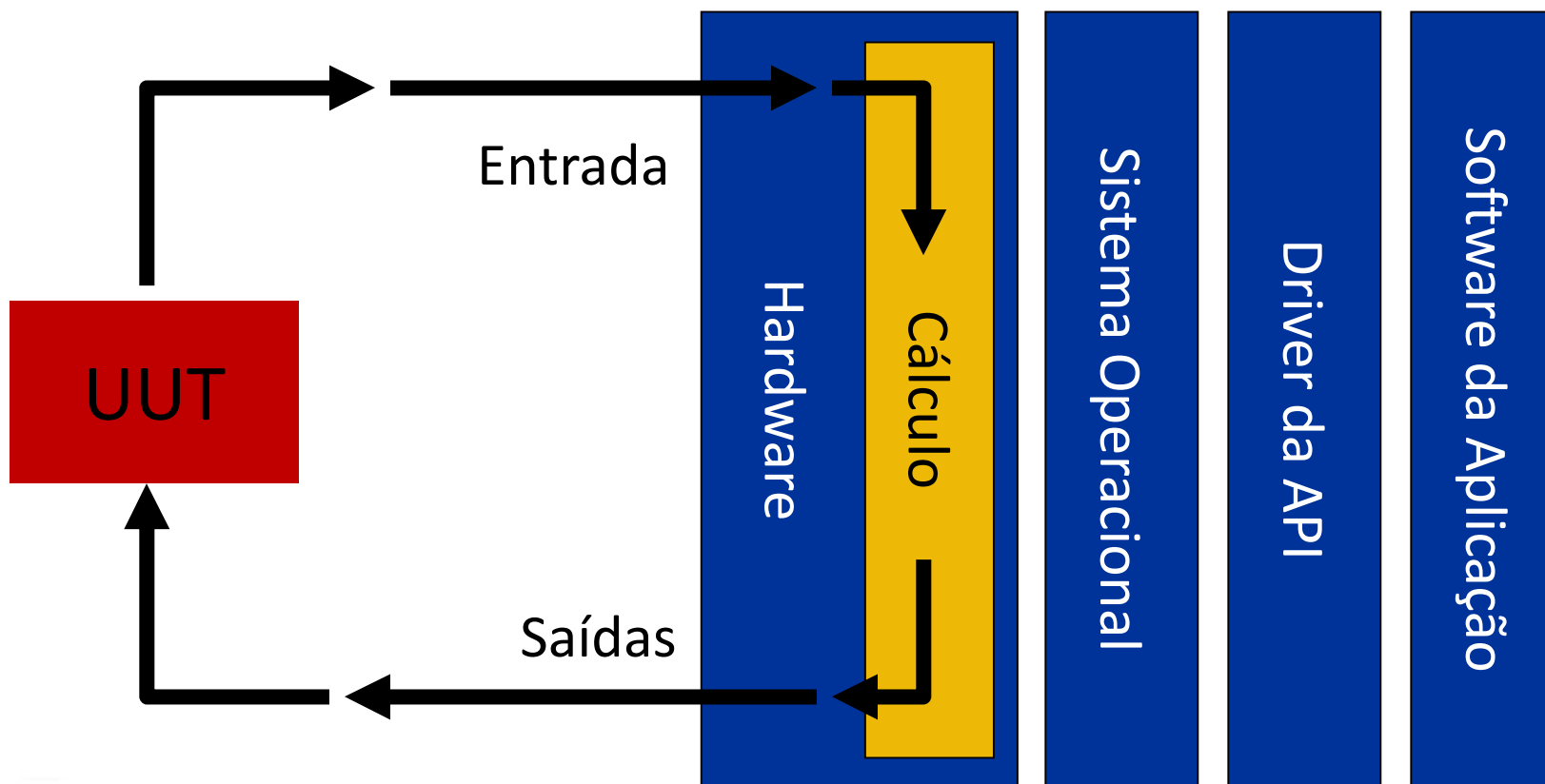
# Tomada de Decisão no Software



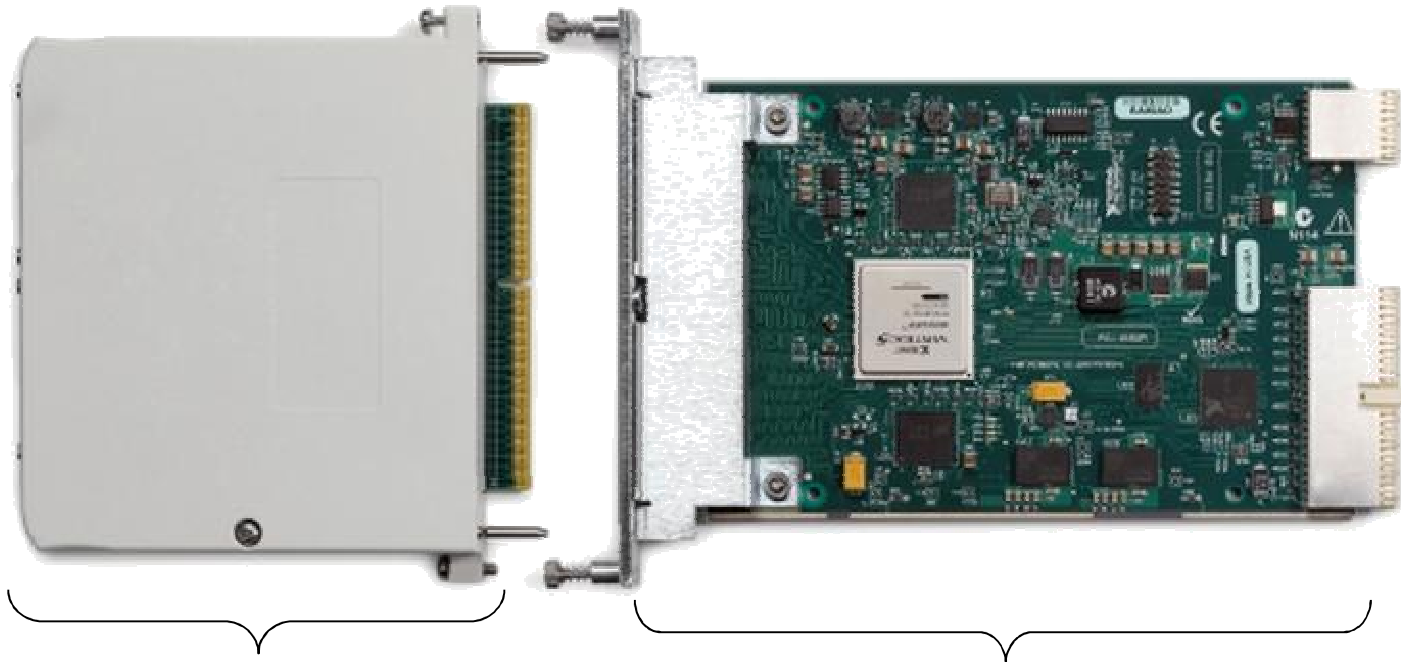


# Tomada de Decisão no Hardware

Sistema FPGA do LabVIEW ↔ Resposta Rápida do Hardware



# NI FlexRIO



## Módulo Adaptador Flex RIO

- E/S Intercambiável
- Personalizável pelos usuários
- Kit de Desenvolvimento de Módulo

## Módulo FPGA FlexRIO

- Até 132 canais
- Até 1 Gb/s por par
- Até 128 MB de DRAM DDR2

# SOFTWARE AND DATA ANALYSIS

# Software: Ferramentas para Análise de Dados

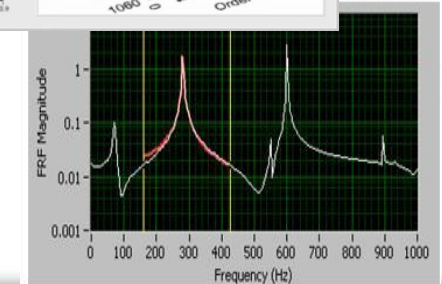
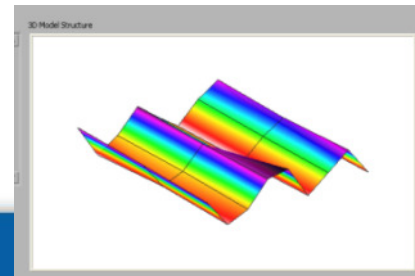
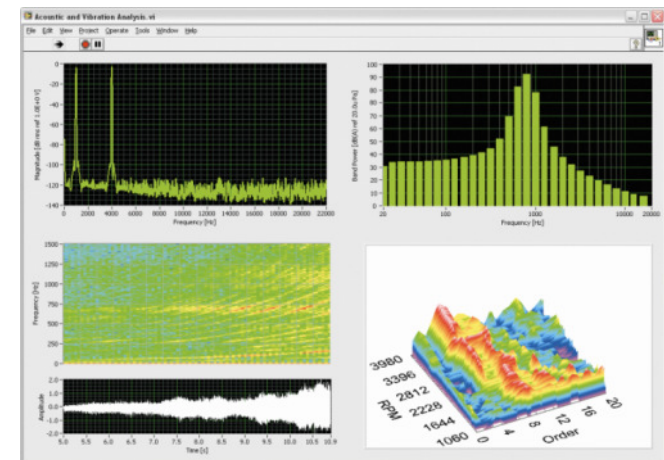
000010110111001010000010101110  
110101000010101111010101110011  
001011100110101111010101010000  
101011001101011101010101010101  
101010001101010101010101010111  
0011010111110101010100001010110

**DADOS**



**Informação**

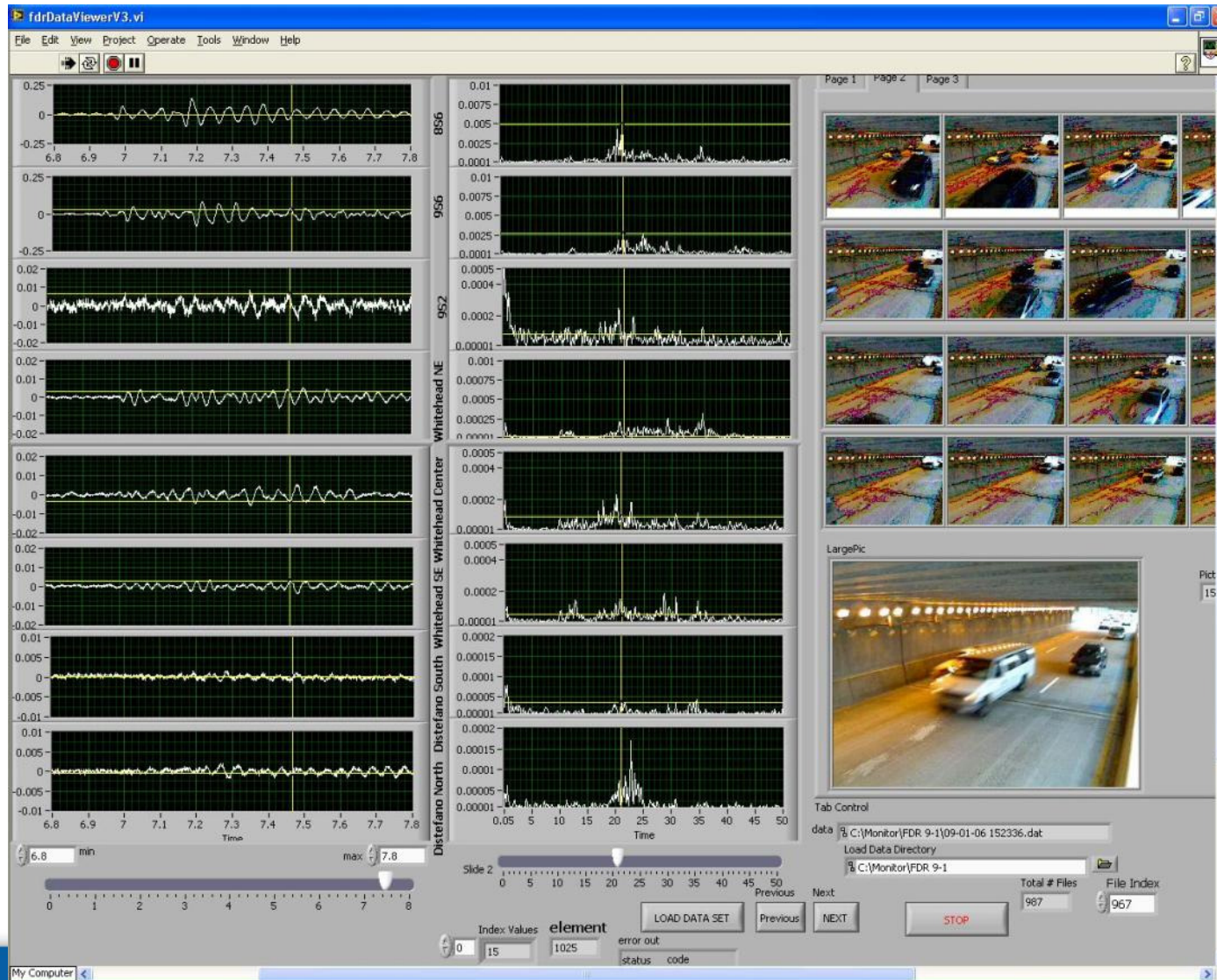
- Processamento de Sinal
- Análises de Séries no Tempo
- Análise Modal
- Análise Espectral
- Tempo-Frequência
- Identificação de Sistema







# Combinando Visão e Dados de Sensores



# Resources

- [www.ni.com/shm](http://www.ni.com/shm)
  - E-kits with white papers and videos
  - Case studies
  - Getting started LabVIEW programs for cRIO

