



# Desenvolvimento de PMUs e Dispositivos Eletrônicos Inteligentes

“Uma abordagem com Instrumentação Virtual”



**Roberto Piacentini**

*Gerente Sênior de Desenvolvimento de Negócios Estratégicos*

*Segmento de Energia – Global*

*+1 (512) 683-8692*

*Roberto.Piacentini@ni.com*

# Nossos desafios

- **Acesso a eletricidade**
  - *Envelhecimento da infraestrutura*
  - *Aumento do consumo doméstico de energia*
- **Baixa confiabilidade e manutenção reativa**
  - *Equipamentos existentes desenvolvidos para lâmpadas incandescentes e maquinário pesado (não para computadores, lâmpadas fluorescentes ou veículos elétricos)*
- **Falta de infraestrutura para integração de energias renováveis**
  - *Capacidade de armazenamento em larga escala junto à rede*
- **Smart Grid é um termo abrangente definindo múltiplos esforços para modernizar o sistema de energia**
  - *Concessionárias de energia elétrica estão aprendendo ao mesmo tempo em que novos projetos são implementados, por isso a flexibilidade é fundamental*
- **Tecnologia, padrões e segurança estão evoluindo constantemente**
  - *Instrumentos são desenvolvidos para funções, padrões e cyber-segurança de um ponto específico/fixo no tempo (risco de obsolescência)*

# Definição – Dispositivo Eletrônico Inteligente

- Referente a sistemas de proteção e automação para a indústria de Eletricidade. É um dispositivo que realiza funções de proteção, controle avançado com inteligência local, e pode monitorar processos e se comunicar diretamente com sistemas SCADA.

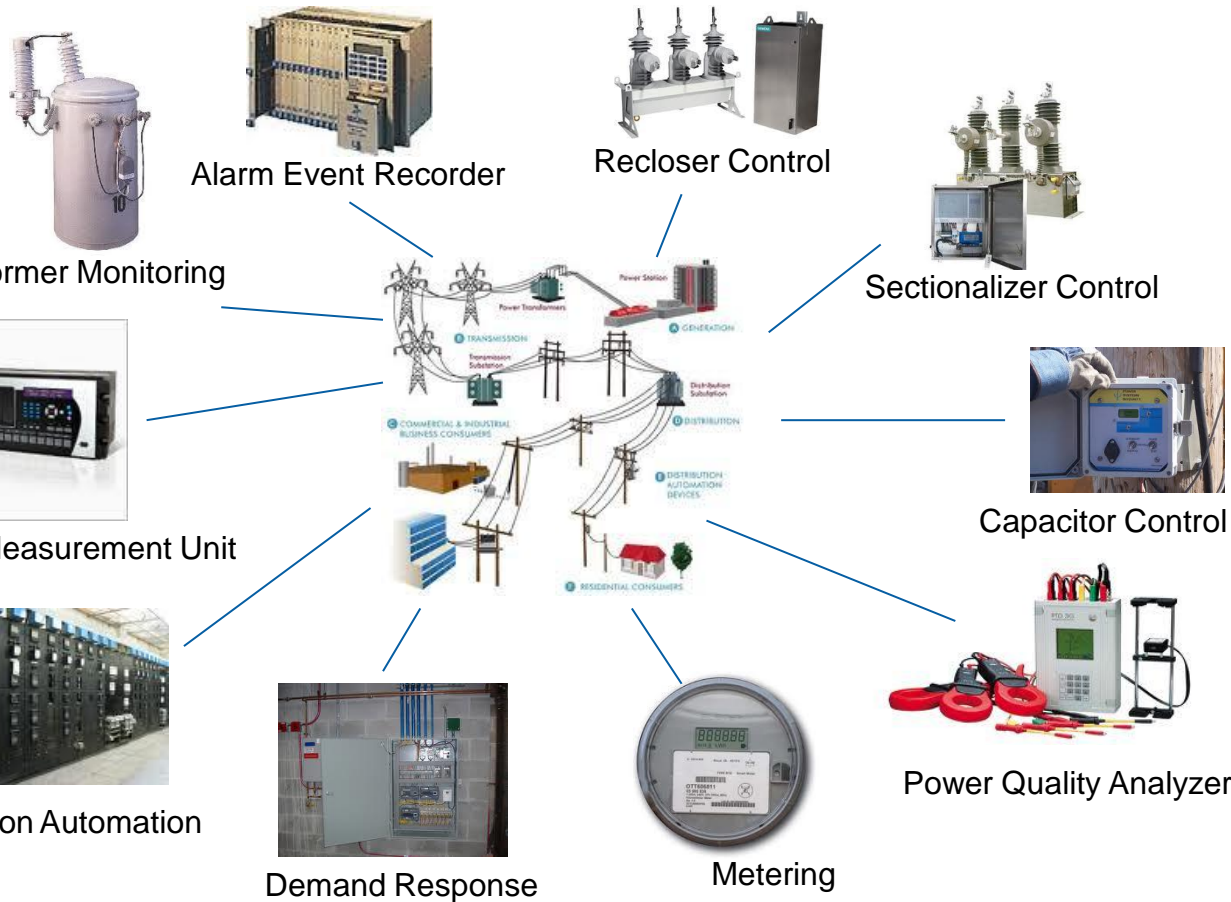
# Convergência



# Como aplicar convergência em projetos de Smart Grid?

## Desafios:

- Centenas de dispositivos
- Múltiplos Protocolos
- Múltiplos Barramentos
- Obsolescência
- Funcionalidade Pré-definida
- Vários Fornecedores



# Desenvolvendo Instrumentação para Smart Grid

## Computers



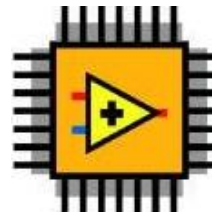
Poder de Processamento

Código Fonte Aberto

E/S Expansível

Programável

**Definido por Software**  
**(Sistema Aberto)**



Medições Precisas

Poder de processamento embarcado

Confiável e Robusto

E/S Expansível e baseado em padrões

Código fonte aberto e programável

**Definido por Software**  
**(Sistema Aberto)**

## T&D Instrumentation



Medições

Embarcado

Confiável e Robusto

Baseado em padrões

**Definido pelo fabricante**  
**(Sistema Fechado)**

# Preenchendo o "GAP": FPGA

Programação gráfica

Bancada de teste no desktop

Compilação

Síntese

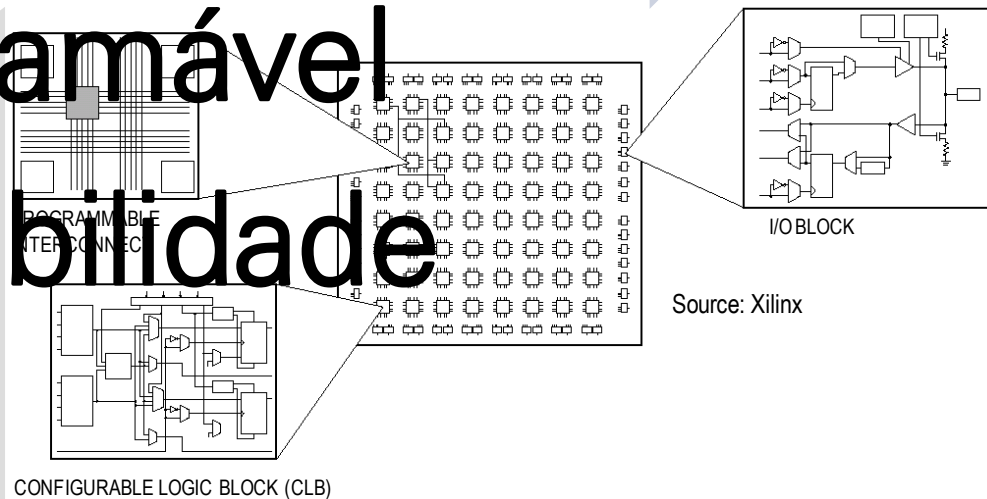
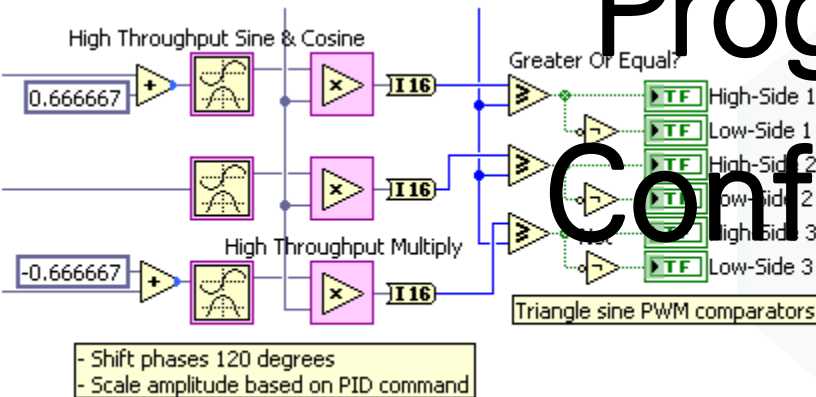
Posicionamento e roteamento

Implementação

## Desempenho

## Programável

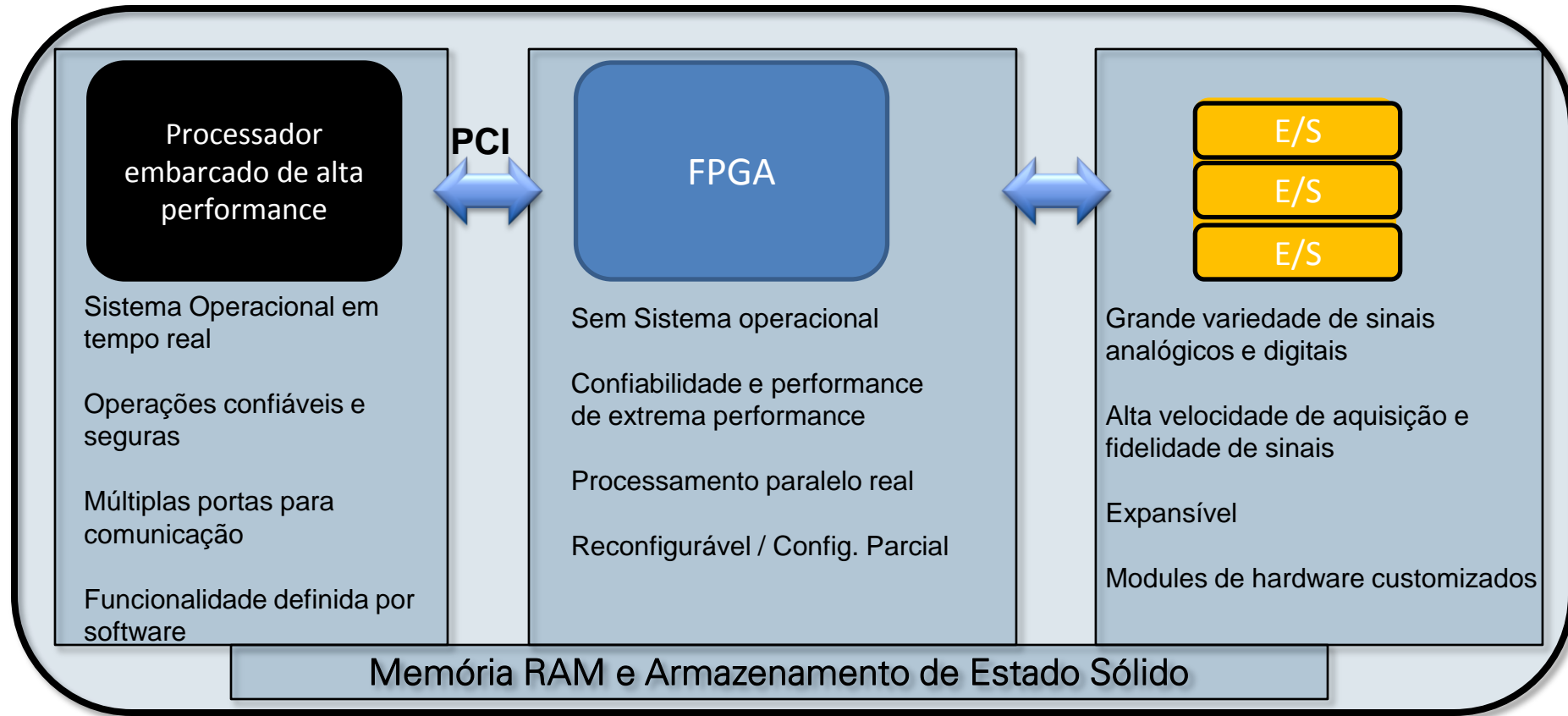
## Confiabilidade



**LabVIEW FPGA**

**Hardware reconfigurável**

# Plataforma ideal para desenvolvimento de dispositivos eletrônicos inteligentes



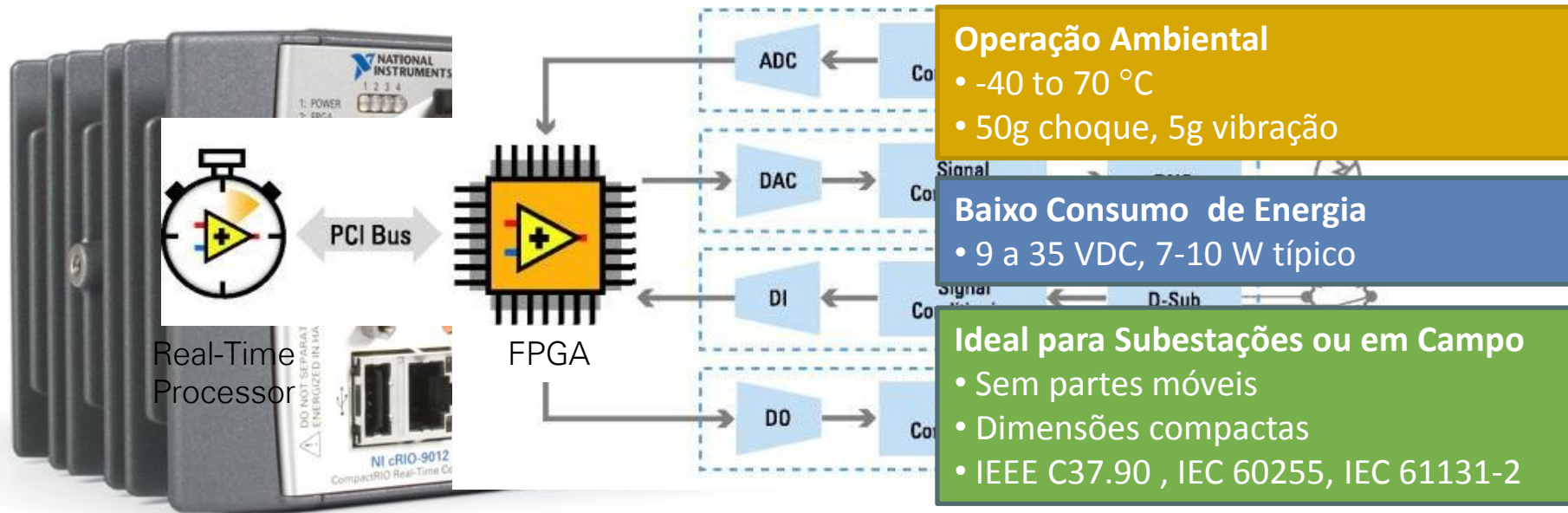
**Temperatura de Operação -40 C to +70 C | 50 g choque**

**Nenhum componente móvel | Dimensões Compactas**

**Certificações IEEE C37.90 | Upgrades remotos seguros**



# NI CompactRIO FPGA-based Platform



- **FPGA reconfigurável** para controle, trigger e temporização de E/S customizável e de alta velocidade
- **Módulos de E/S** com condicionamento de sinais integrado para conexão a sensores e atuadores
- **Processador de tempo real** para medição, análise, conectividade e controle confiáveis

Plataforma baseada em FPGA fornece instrumentação flexível que se adapta a mudanças de requisitos e permite algoritmos customizados

# Grande Variedade de Sinais Analógicos e Digitais

Mais de 100 Módulos de E/S C Series



- **Entrada Analógica**

- Até 1MS/s, amostragem simultânea
- 4, 8, 16, e 32-canaís
- Condicionamento embarcado de sinais para sensores
  - Strain gages, acelerômetros, Termopar, RTDs
- Até  $\pm 300$  VRMS,  $\pm 5$  ARMS
- 12, 16 e 24-bits de resolução
- Isolação canal-a-canal

- **Saída Analógica**

- Até 100 kS/s atualização simultânea
- Até 16-canaís por modulo
- 10 V,  $\pm 20$  mA
- Isolação

- **E/S Digital**

- até to 10 MHz
- Contadores/Temporizadores, PWM
- 8 e 32-canaís
- 5V/TTL, 12/24/48/60/250 V

- **Especialidades**

- Modules CAN com 2 portas
- Brushed DC servo motor drive

- **Customizados e Parceiros**

- LIN, Profibus, WLAN, MIL-1553, ARINC-429, GPS

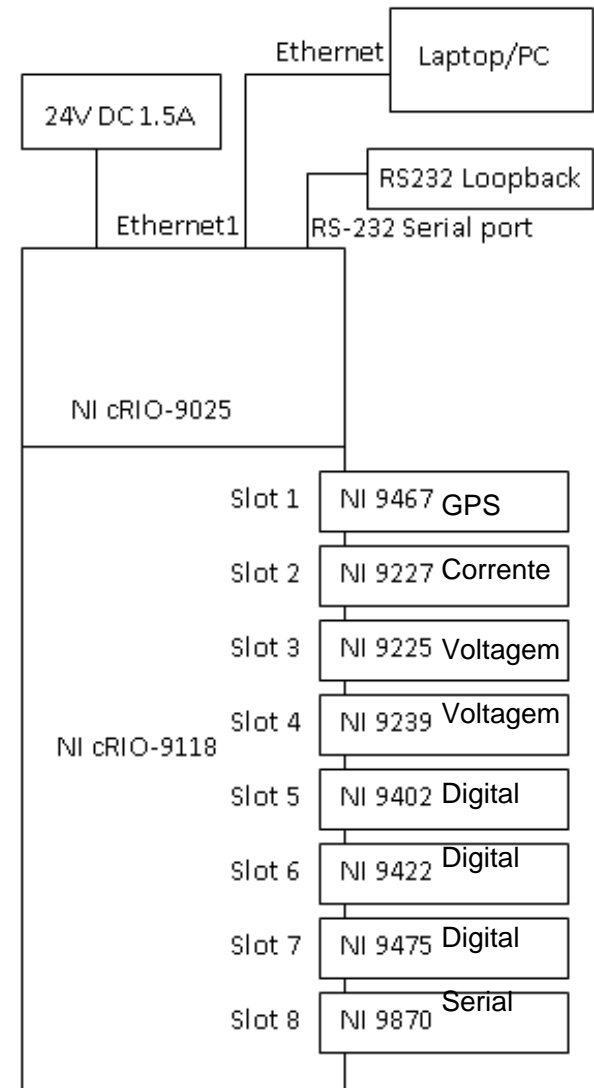
# Certificação KEMA

- **Certificados**

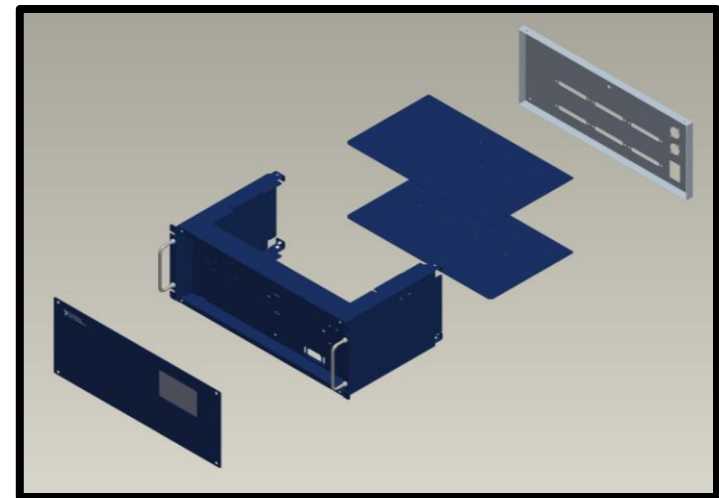
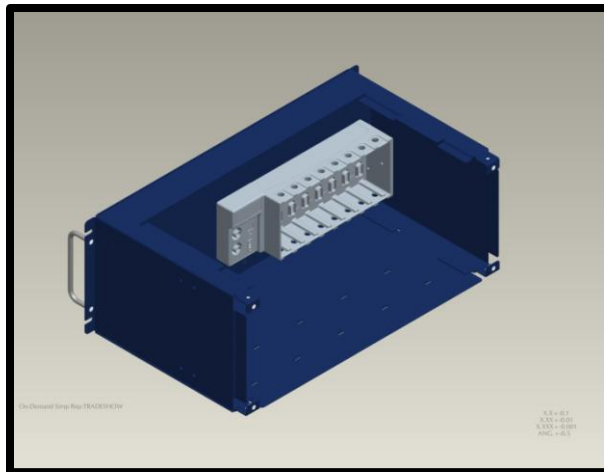
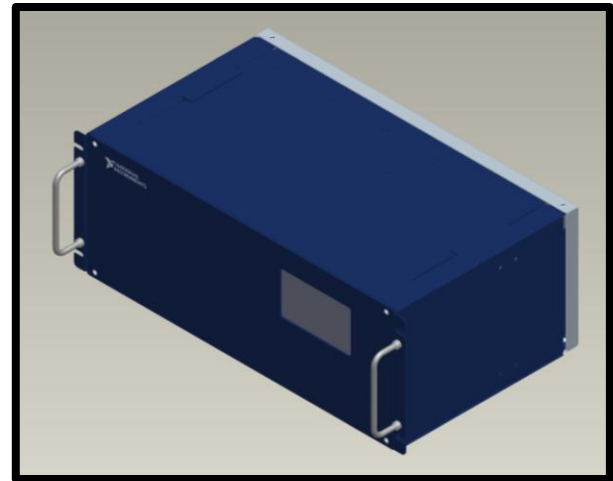
- *IEC 61850*
- *IEC 60870*
- *IEC 60255*
- *IEC 61131-2*

- **Reporte de Testes:**

- *IEEE C37.90*



# Kit para Montagem em Racks de Subestação



# Instalações Externas

**SIEMENS**



 **DUKE  
ENERGY®**



**KEPCO**

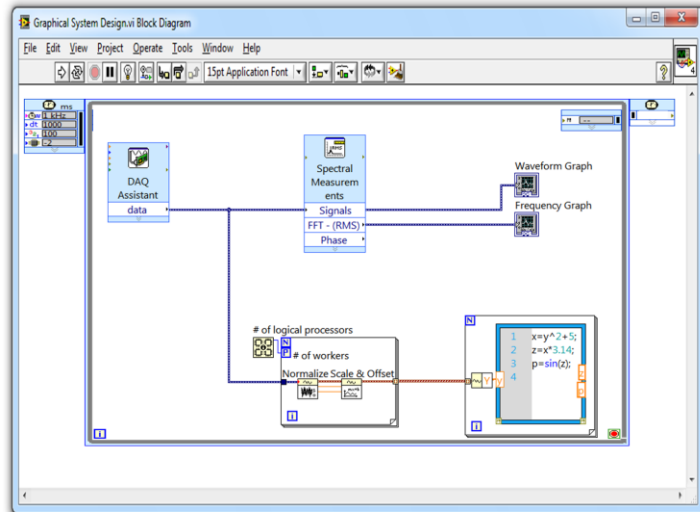




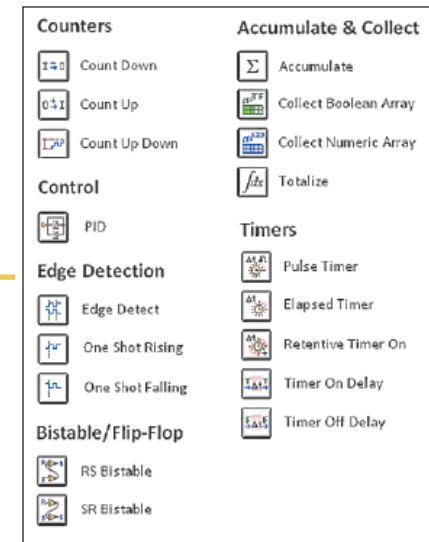
# LabVIEW Graphical System Design

Vários modelos de computação em uma única ferramenta

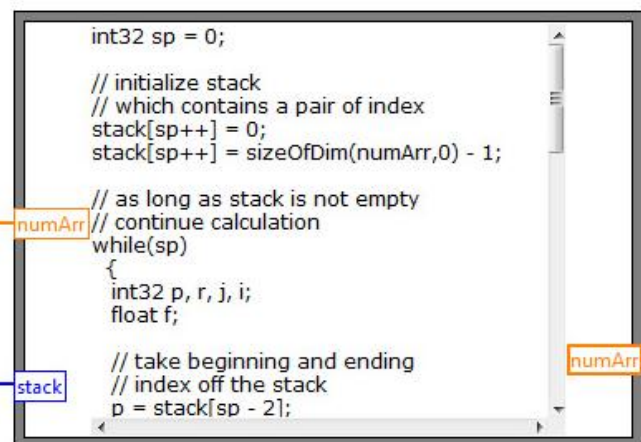
## Fluxo de dados gráfico



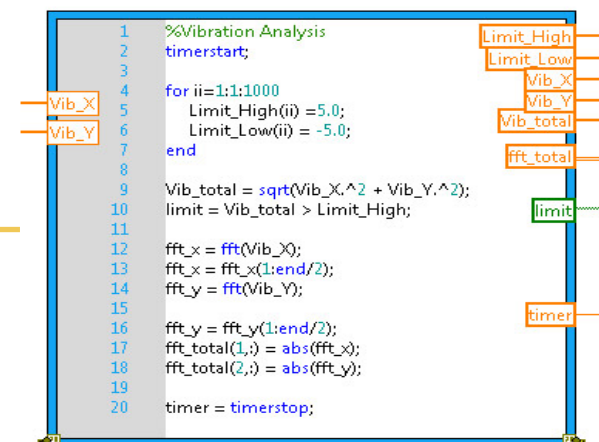
## Bloco Funcional IEC 61131-3



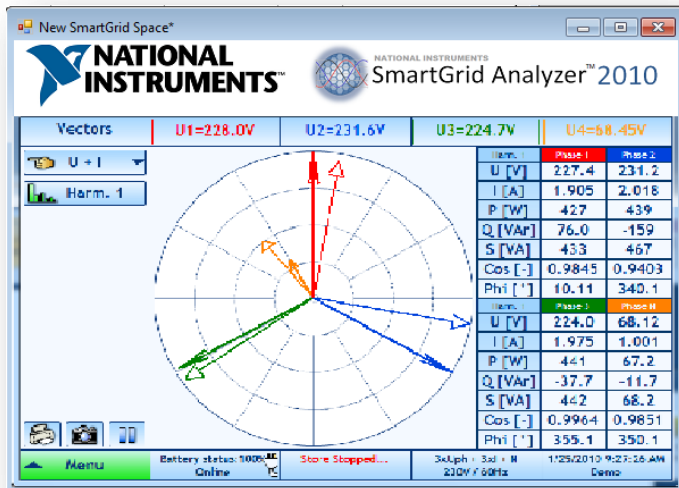
## Formula Node (Estilo C)



## MathScript Node

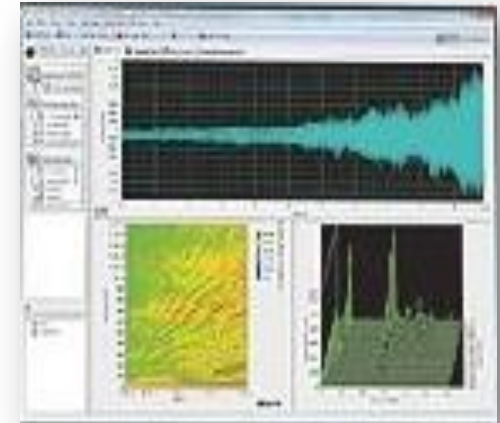


# Bibliotecas para Análise de Dados e Comunicação



## Qualidade de Energia

- *Potência Ativa e Reativa*
- *Harmônicas*
- *Inter harmônicas*
- *Sag, Swell, Transientes*
- *Sincrofasores*



## Comunicação

- *DNP 3, Modbus, OPC*
- *IEC 61850*
- *IEC 60870-5*
- *Ethernet/IP*

Graphic	Signal Characteristic	Analysis Methods	Machine Example
	Narrow frequency band lasting for a long time	Frequency Analysis Fourier Transform Power Spectrum	Unbalance in a single speed machine
	Narrow frequency band with harmonics lasting for a long time	Quefrency Cepstrum	Damaged bearing in a machine with roller element bearings
	Time varying frequency band	Time-frequency analysis Order analysis	Unbalance in a variable speed pump
	Wide frequency band signal lasting for a short time	Wavelet analysis AR Modeling	Low speed machine with compressor valve impacts
	Narrow frequency band signal lasting for a short time	Wavelet Analysis	Electrical motor driven machine with rub and knock noise.

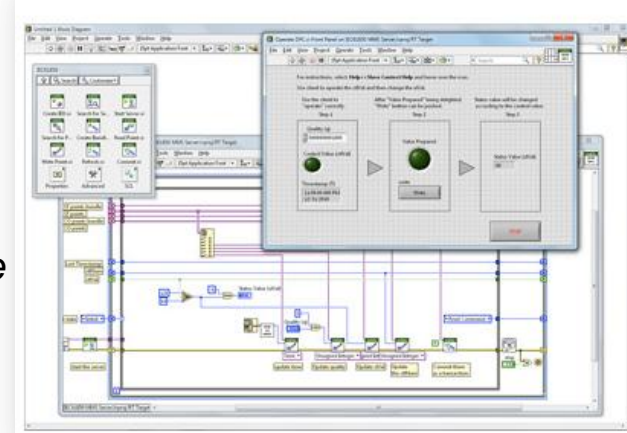
## Vibração

- *Mapa de Cores*
- *Orbit, Polar, Bode*
- *Shaft Centerline*
- *Cascata*
- *Análise de Envelope*

## Prognostico

- *“Machine Learning”*
- *Predição de Estado*

## IEC 61850



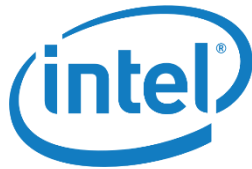
# Electrical Power Measurement Suite - 2012

Voltagem e Corrente	Potência e Energia	Qualidade de Energia
Three Phase RMS (V and I)	Power per Phase	Voltage Sag (dip)
THD	Three Phase or Total	Voltage Swell
Harmonic (up to 64 <sup>th</sup> )	Once per sec and once per cycle	Impulsive Transient (V + I)
Interharmonics (	<i>Power Quality Analyzer – IEC 61000</i> <i>Flicker Meter - EN 50160 / IEC 61000-5-15</i> <i>PMU – IEEE C37.118</i>	
Voltage Unbalance		
Frequency Oscillation		
Flicker	Active Power Harmonic	Overcurrent
DC Portion	Apparent Power Total	Phasor Imbalance
	Apparent Power Harmonic	Three Phase Voltage Harmonic
	Reactive Power	Four Current Harmonic
	Reactive Power Harmonic	Harmonic per sec and per cycle
	Energy Active Total	Synchrophasor IEEE-C37.118
	Energy Apparent Total and +/-	
	Energy Reactive Total and L/C	



# Análise de Dados – A Concessionária Inteligente

- A National Instruments estabeleceu parcerias com líderes da indústria integrando ferramentas de ponto-a-ponto, desde sensores e middleware, a sala de controle e análises off-line.



# Plataforma NI para Desenvolvimento de Dispositivos Eletrônicos Inteligentes

Convergência de Hardware e Software em uma única plataforma

## Software

### CONUNIDADE

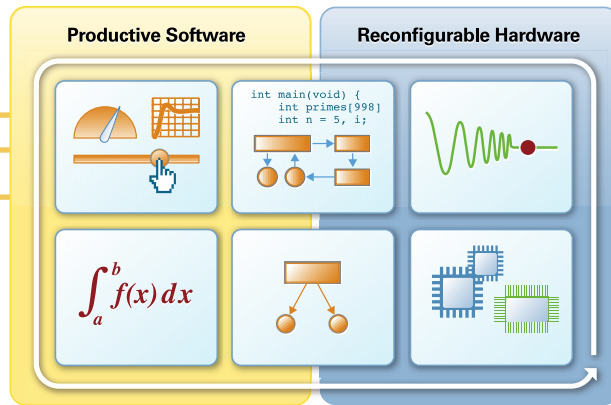
140,000+ membros online  
250+ grupos de usuários

### CONECTIVIDADE

LabVIEW Graphical System Design  
100+ Bibliotecas de Análise e Com.  
9000+ drivers de instrumentos  
8000+ exemplos de programas  
1000+ drivers de movimento  
1000+ “smart sensors”  
1000+ Dispositivos PAC de terceiros

### COLABORAÇÃO

280+ add-ons de terceiros  
400+ Soluções de parceiros  
1000+ Revendedores de valor agregado  
35+ Cursos de Treinamento



## Hardware

### Processador

Intel, Microsoft, Freescale, Wind River  
Multi-core e tecnologia real-time

### FPGA

Xilinx Virtex & Spartan  
Hardware reconfigurável

### Propriedade Intelectual

Controle & processamento de sinais & drivers E/S  
Embarcada e gráfica

### E/S

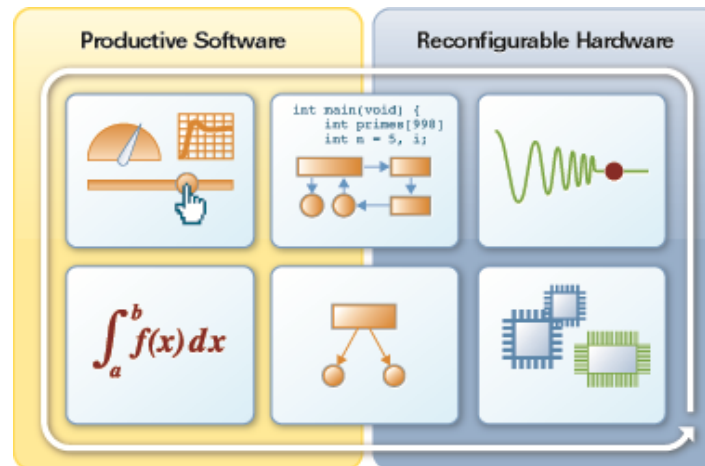
100+ Módulos C Series para E/S analógica, Digital, Comunicação, e módulos de terceiros

### BUS

Enet, USB, wireless, IEC 61850, DNP 3, IEC 60870, Enet determinístico, Arquitetura aberta

## ECOSISTEMA TECNOLÓGICO

# Pense na Plataforma.



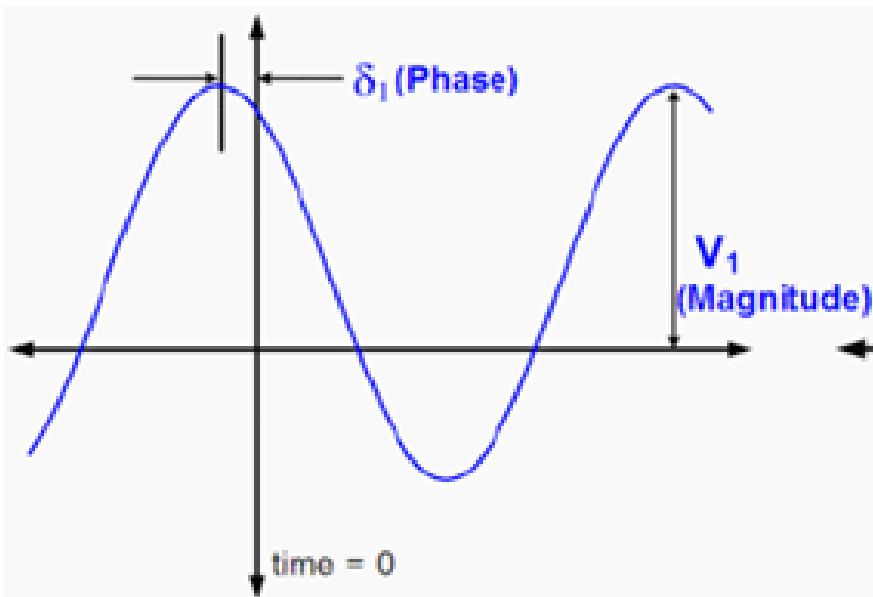
## Obtenha Vantagens Em Diversos Vetores Simultaneamente.

Unidade de Medida de Fasores (PMU)

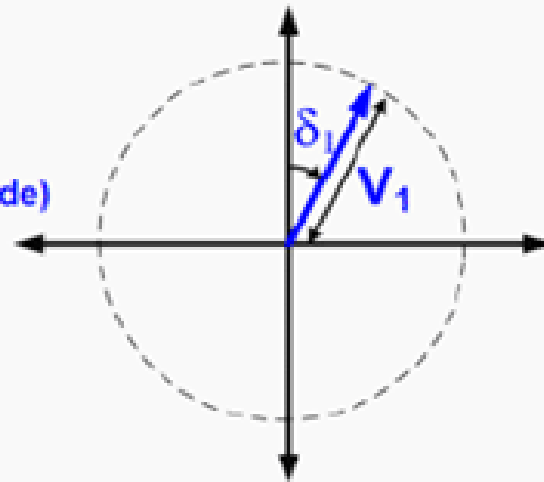
# UMA ABORDAGEM UTILIZANDO INSTRUMENTAÇÃO VIRTUAL

# O que é um Fasor?

Forma de onda senoidal



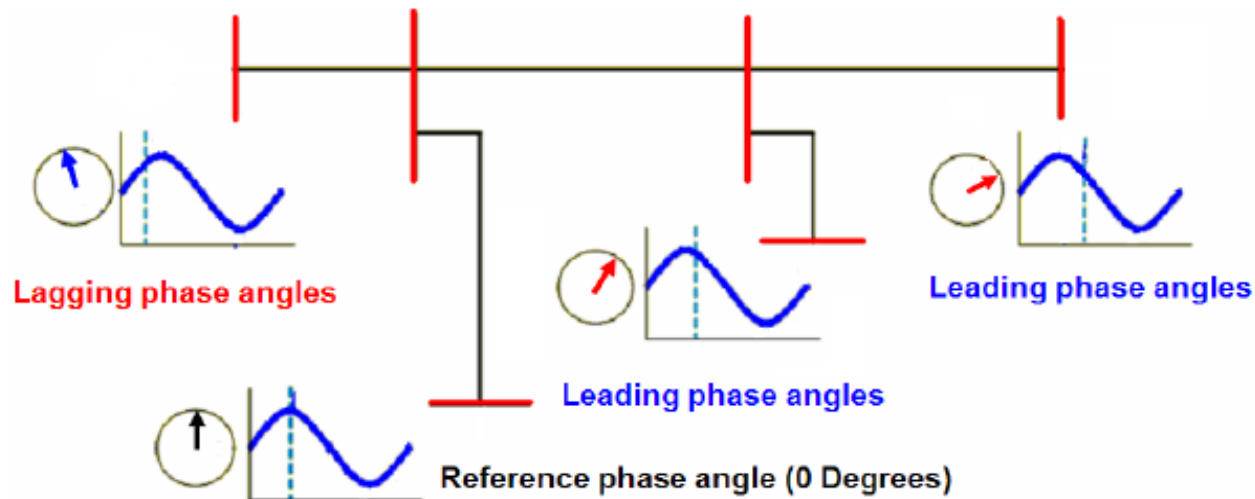
Representação do fasor



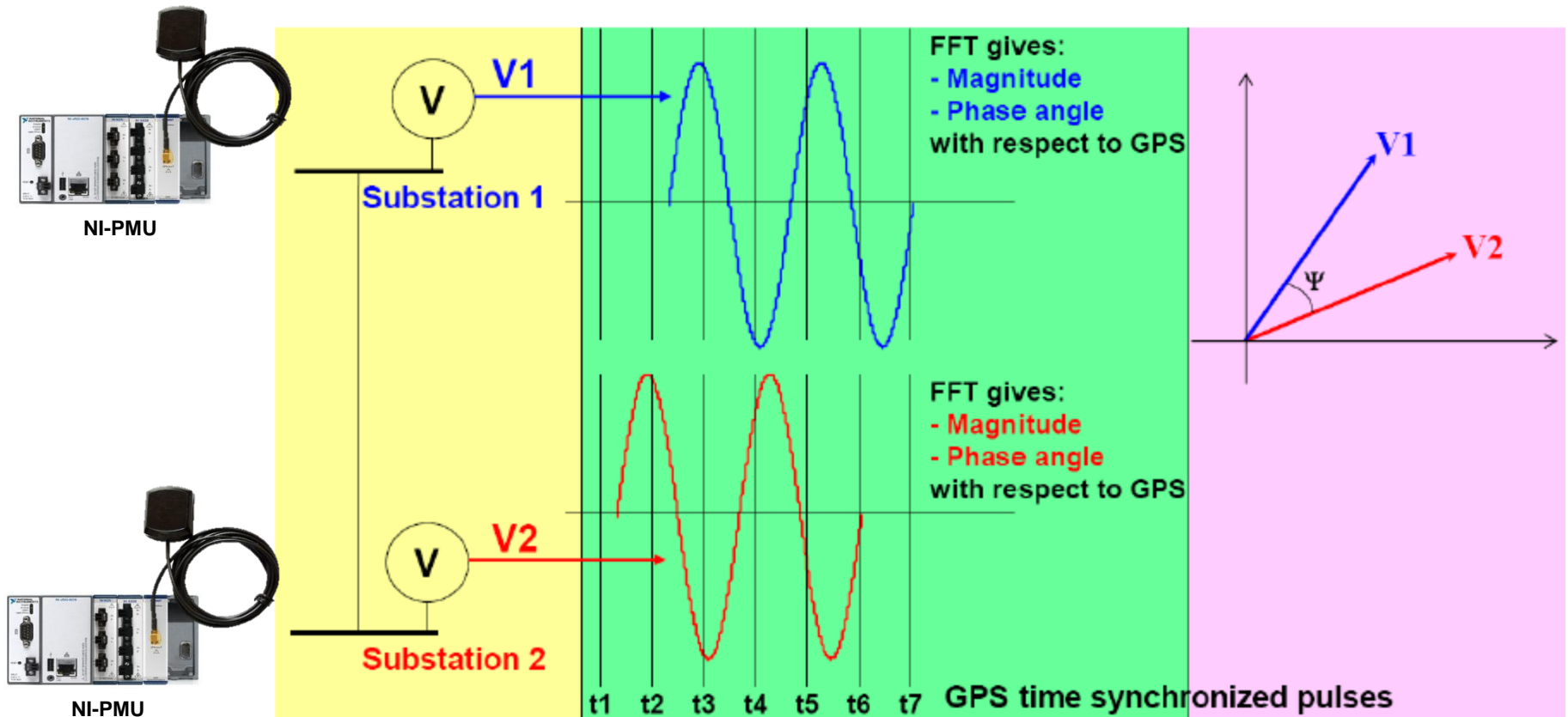
Fonte: CERTS, Phasor Technology Overview

# O que a tecnologia de PMU nos oferece?

- Snapshots instantâneos de ângulo de fase e magnitude
- Análise em tempo real da “saúde” da rede:
  - *Fluxo de Potência*
  - *Diferenças em Ângulos de Fases*

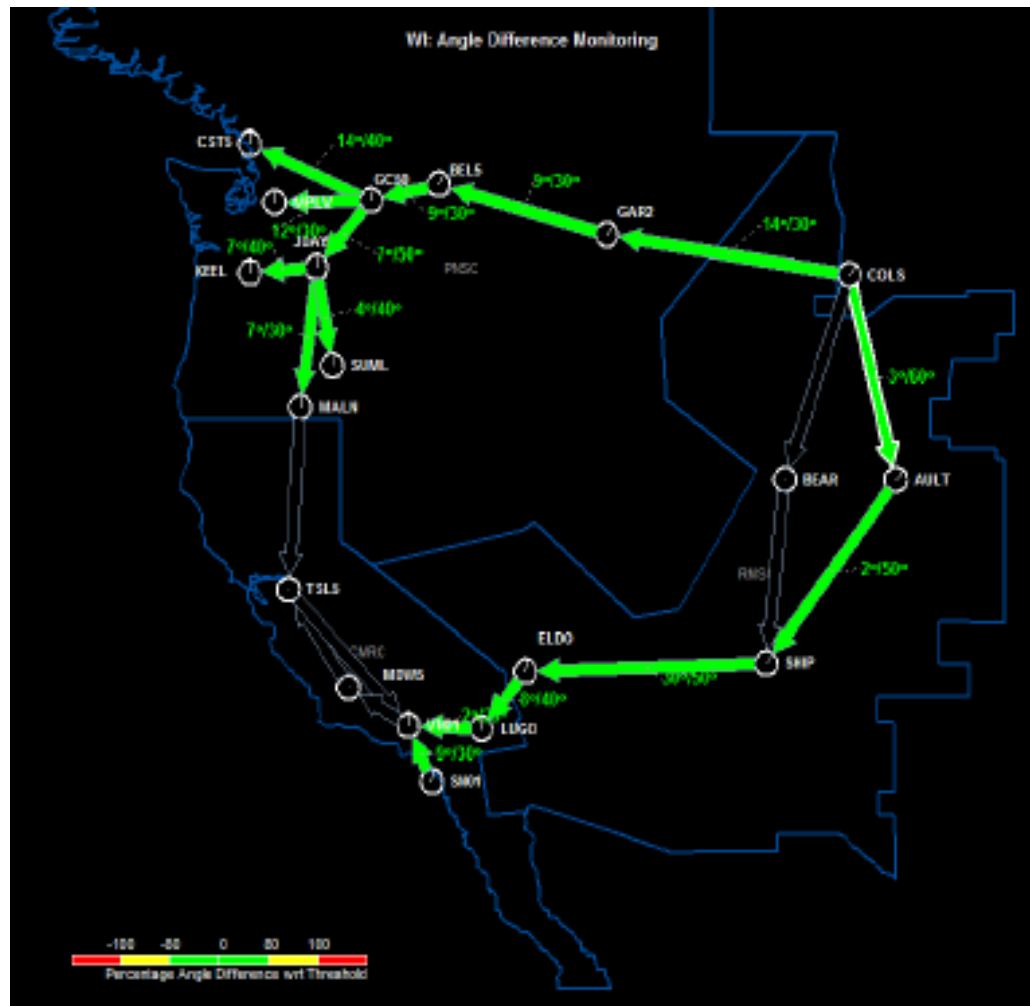


# O que os dados nos mostram?



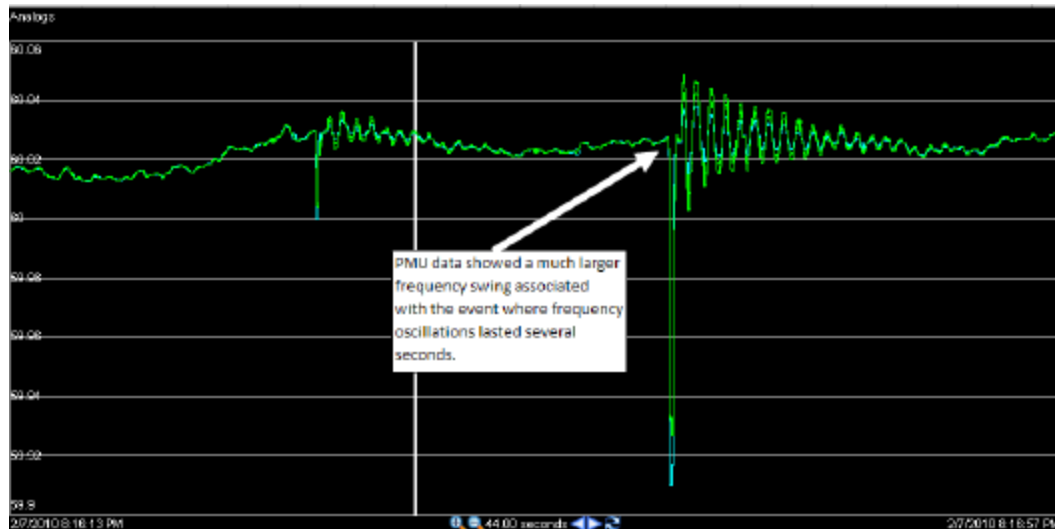
Source: NERC RAPIR TF Draft Report

# Visualização de dados





# SCADA vs. Sincrofasor

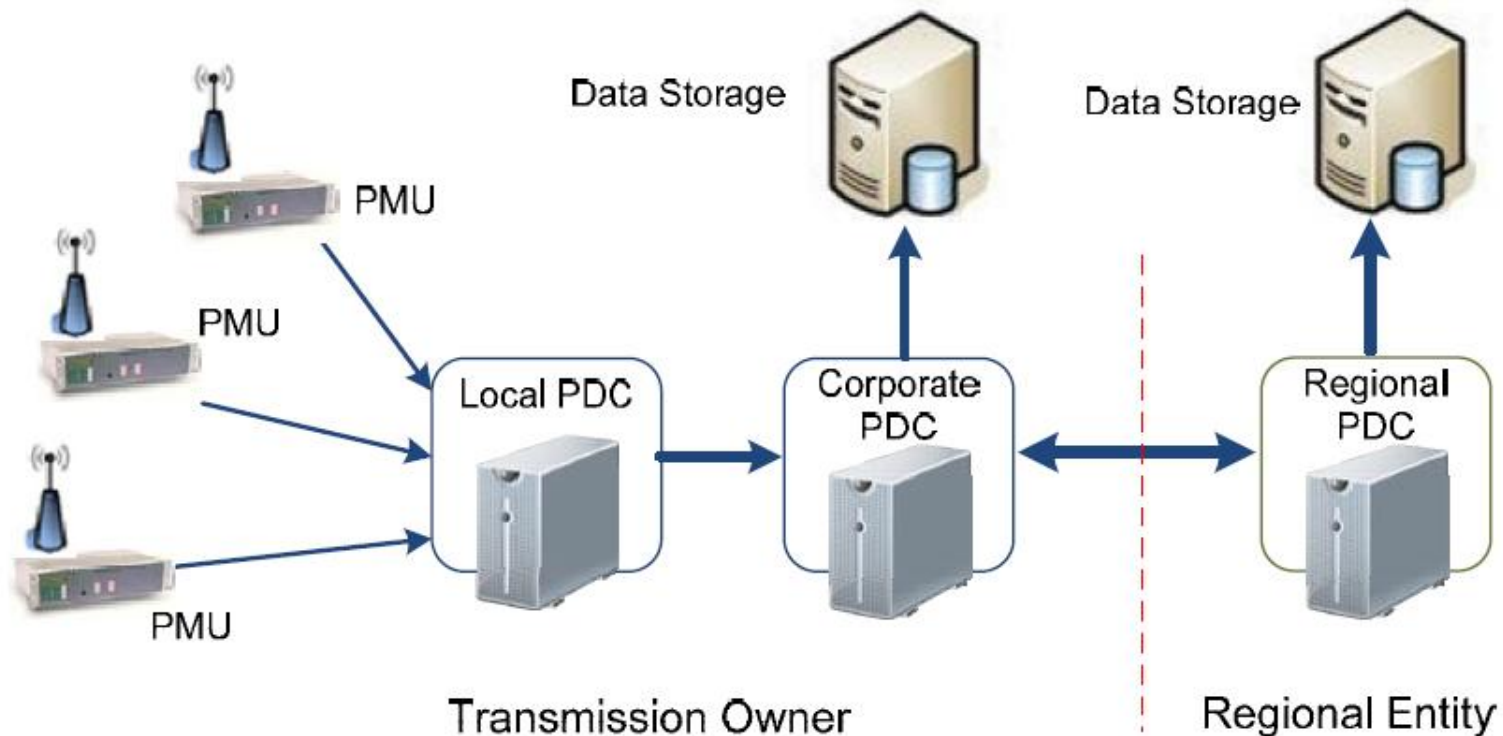


# BLOCOS FUNDAMENTAIS PARA A TECNOLOGIA DE PMUS

# Padrão C37.118

- Padrão definido pelo IEEE para PMU que inclui:
  - *Medições*
  - *Métodos para quantificar as medições*
  - *Requerimentos para teste e certificação*
  - *Formatação dos dados para transmissão, e protocolo de comunicação*
- Disponível em duas versões:
  - *C37.118 2005*
    - *Atualmente o mais comum*
    - *Define a performance das medições de fasores apenas para o modo "steady-state"*
  - *C37.118 2011*
    - *Introduzido recentemente. (Ainda não muito utilizado)*
    - *Define a performance em estados dinâmicos e "steady-state"*
    - *Define classes P e M de performance de PMUs*

# Arquitetura Típica de uma Rede de PMUs



Source: IEEE C37.118/2011 standard

# Requerimentos para Largura de Banda de Dados

Taxa de Report *	10	25	50	60
2 Fasores	7.6 <sup>+</sup>	19.2	49.6	59.5
12 Fasores, 2 Analógico, 2 Digital	10.5	26.4	52.8	63.3

\* S/s

+ kbps

- 12 Fasores gerados por dois sistemas trifásicos
- ~ 28M Bytes por hora
- ~ 700M Bytes por dia para apenas um PMU

(Largura de banda necessária computada para “streams” UDP.)

# PMU baseado em tecnologia NI CompactRIO

## Controladora de 800 Mhz

### Prioridade Normal

- IEEE C37.118 Com.
- Gerenciamento de dados
- Web Server



Comunicação  
Inter-Thread

### Prioridade Crítica

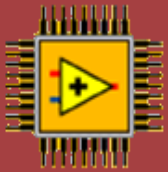
- Cálculo do Fator



Interface  
FPGA

## FPGA

- Aquisição de dados
- "Timestamping"
- Filtros
- Algoritmos customizados



# Instrumentação Virtual: Exemplo para PMU

The image displays the LabVIEW environment for a project titled "Synchrophasor Measurement.lvproj". The left pane shows the project structure with files: "Synchrophasor Measurement.vi", "Synchrophasor Measurement and Communication (TCP).vi", and "Synchrophasor Measurement and Communication (UDP).vi". The right pane shows the front panel of the "NI FPGA PMU" with indicators for "period detector settings", "synchronization error [ns]", and "FIFO1 timed out?".

Below the project files, a diagram illustrates the logic for checking GPS status and synchronizing time. The logic is divided into two main sections:

1. Checks the GPS status of NI 9467 and waits until the GPS status is normal.
2. Synchronizes the time from NI GPS with the time from timekeeper.

The diagram shows a sequence of steps: a "GPS Receiver" block outputs "GPS Status" (Normal, Invalid, or Timed Out). A "Wait for PPS" block outputs "Timeout" or "Timed Out". A "Wait for Data Update" block outputs "Timeout" or "Timed Out". A "GPS Status" block outputs "GPS Status" (Normal, Invalid, or Timed Out). A "PPS Timestamp (TAI)" block outputs "time from NI GPS [ns]". A "time from timekeeper [ns]" block outputs "time from timekeeper [ns]". A comparison block (F) compares the two time values. If the difference is within a specified range, the "GPS locked?" indicator is set to True. If not, the "synchronization error [ns]" indicator is set to the difference.

The bottom pane shows the "Dependencies" section with the same project files as the top left pane.

# Unidade de Medida de Fasores Avançada NI

- **Sincrofasores com Multicanais**

- *8-Slots para expansão E/S*
- *Taxa de Mensagens até 240/seg*
- *IEEE C37.118*
- *“Stand-alone” ou com funções de controle*
- *GPS Incorporado ou Externo (IRIG-B)*

- **Funções Avançadas**

- *Híbrido: PMU e Qualidade de Energia no mesmo equipamento*
- *Arquitetura de Software Flexível e Aberta*
- *“Data Logging” e gravação de eventos*
  - *Até 833/1000 Amostras/Ciclo*
  - *24-bits ADC com funções de filtro*
  - *Multiprotocolo TCP/IP, DNP3, Modbus*
- *Ethernet Dupla e Porta Serial*
- *Armazenamento de dados integrado e expansível*
- *Design Robusto(-40 a 70 C)*
- *Upgrade remoto de Software via HTTPS (SSL)*

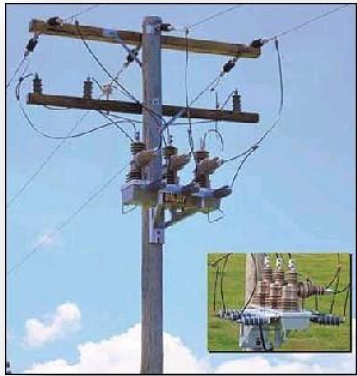




# OUTROS EXEMPLOS DE DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS INTELIGENTES

# Rede Inteligente

## Advanced IED & Smart Switch



- Análises avançadas para automação das redes de distribuição
- Funções avançadas de esquemas de chaveamento
- Qualidade de Energia e Monitoração embarcada
- Comunicação sem fio para configuração e transferência de arquivos
- Atualização remota para configuração e upgrades de software

### Chave para Distribuição

- 38kV
- Tecnologia de Interrupção a vácuo
- Sensores integrados para voltagem e corrente

### Análises (NI Smart Grid Analyzer)

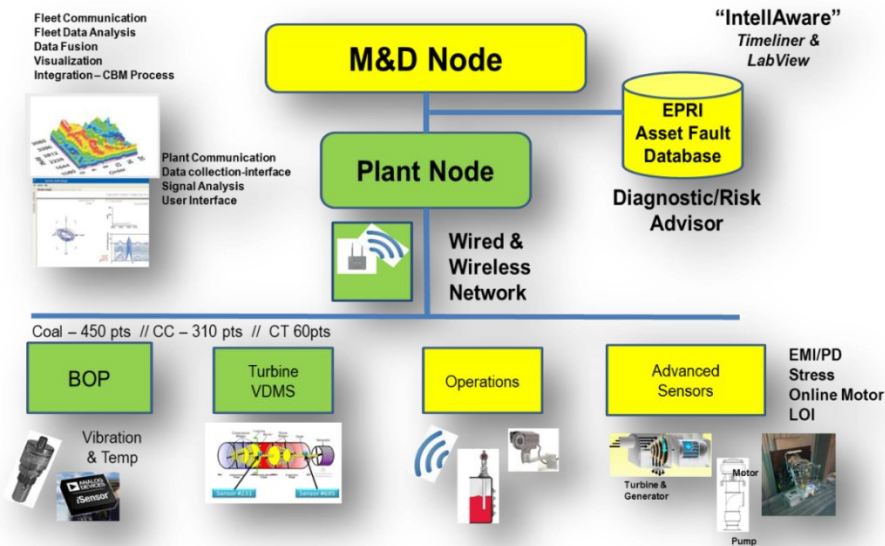
- 833 Amostras/Ciclo, Resolução 24bits
- Análises embarcadas avançadas
- Armazenamento de dados, 1000+ eventos capturados
- Upgrade Remoto
- Multiprotocolo de Comunicação



### Promove

- Sensores Distribuídos
- Autocorreção de falhas ("Self Healing")
- Automação para Distribuição
- Localização e antecipação de falhas

# Monitoramento em Plantas de Geração

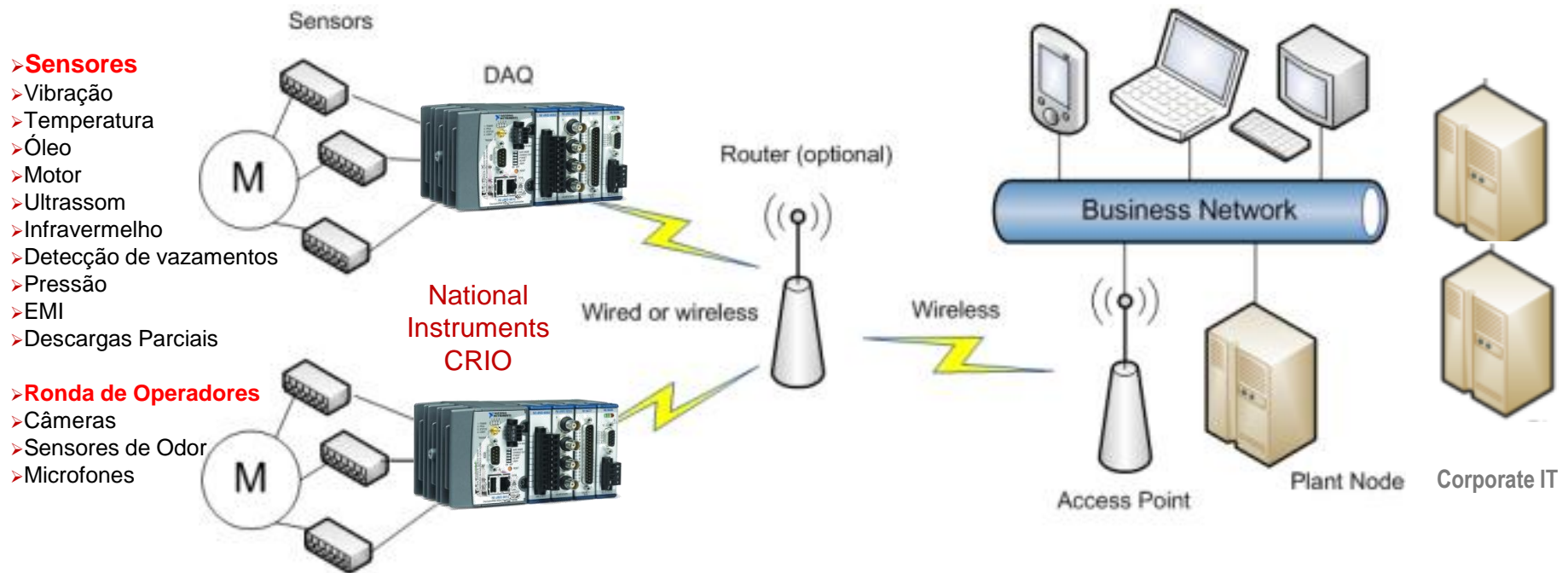


- **Desafio:**
  - Utilizar tecnologia para solucionar demanda crescente por confiabilidade e otimização da força de trabalho
- **Aplicação:**
  - *Monitoramento de assets em plantas de geração*
- **Vantagens da Plataforma NI:**
  - *Variedade de aquisição de sinais, temperatura de operação ampla, densidade de canais por Sistema, Sistema Aberto para Analises*



# Solução para Duke Energy

## Solução 3-Tier para "Big Analog Data"



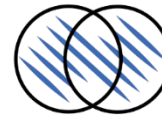
### Instrumentação Expandida – 10,000+ Equipamentos // 25,000+ Sensores

Maior quantidade de equipamentos monitorados utilizando redes sem fio e sensores de baixo custo por uma fração do custo de instrumentação convencional.

### Nova Rede de Monitoração e diagnóstico:

Link com ou sem fio para plantas remotas

# Intelligent Node



Prolucid  
LocalGrid  
Technologies



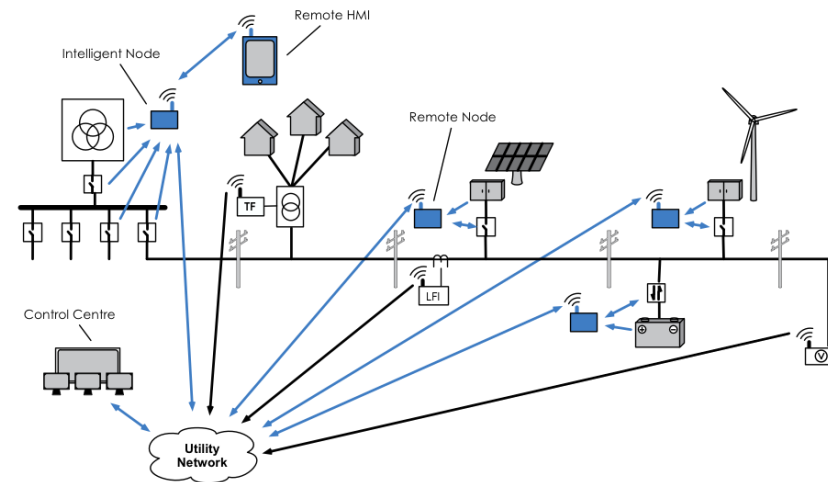
- **Monitoramento Distribuído da Rede de Fornecimento de Energia**

- *Favorece um melhor entendimento dos pontos onde a rede está sob maior stress para minimizar falhas*



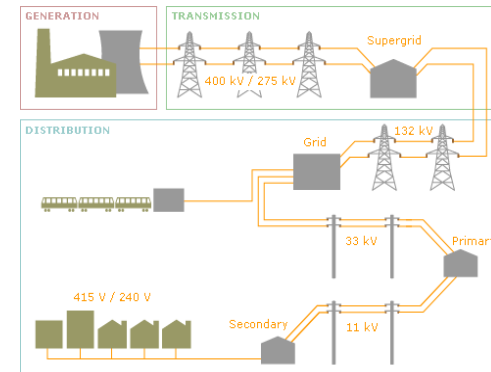
- **Controle de Geração**

- *Monitora as linhas de fornecimento convencionais, e de geração distribuída – aplica controles autônomos para melhorar o desempenho e otimizar a rede de distribuição*



# Vantagens da Tecnologia NI para desenvolvimento de dispositivos eletrônicos inteligentes

- “Time-to-market” reduzido
- Reuso de software
- Economias de escala
- Alta velocidade e fidelidade das medições
- Processamento distribuído
- Dimensões compactas
- Flexível e reconfigurável
- Upgrade de Software simplificado
- Funcionalidade definida pelo usuário





# OBRIGADO!



**Roberto Piacentini**

*Gerente Sênior de Desenvolvimento de  
Negócios Estratégicos*

*Segmento de Energia – Global*

*+1 (512) 683-8692*

*Roberto.Piacentini@ni.com*