

# Aplicações de Unidades de Medição de Fasores no Brasil



Operador Nacional  
do Sistema Elétrico



Unidades de Medição e Comunicação  
São Paulo, 25 de abril de 2007

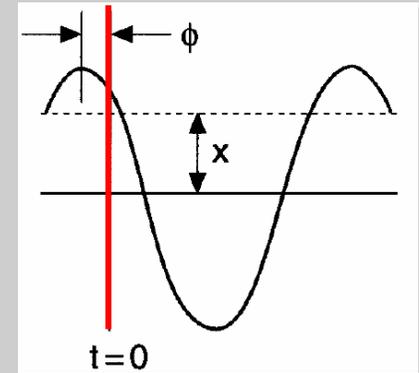
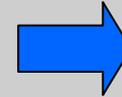
Rui Menezes de Moraes



# Introdução

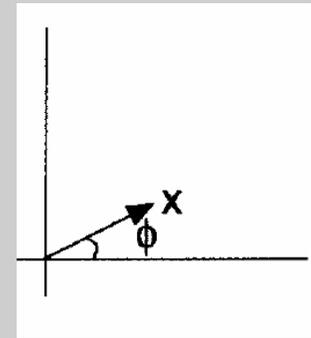
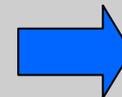
Um grandeza elétrica da forma:

$$x(t) = X_M \cos(\omega.t + \phi)$$



Pode ser representada por um vetor girando na velocidade  $\omega$ , denominado **fasor** definido por:

$$\hat{x} = x_r + j x_i = \frac{X_M}{\sqrt{2}} e^{j\phi}$$



onde  $\phi$  depende do início da escala de tempo ( $t=0$ )



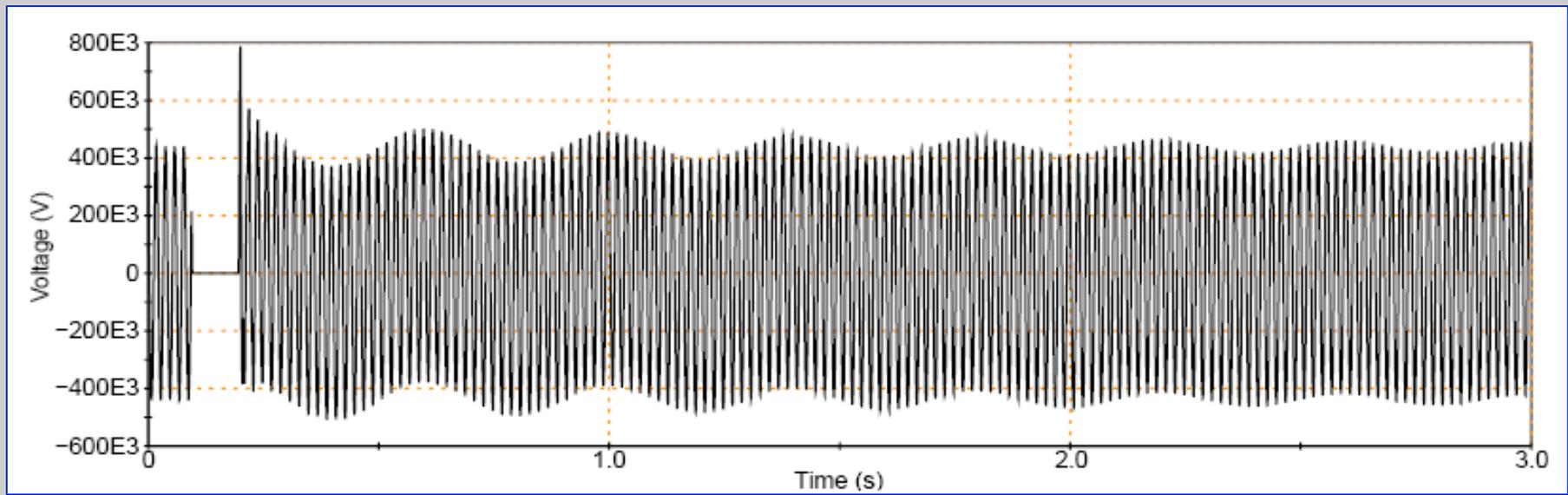
**Charles Proteus Steinmetz (1865-1923)**

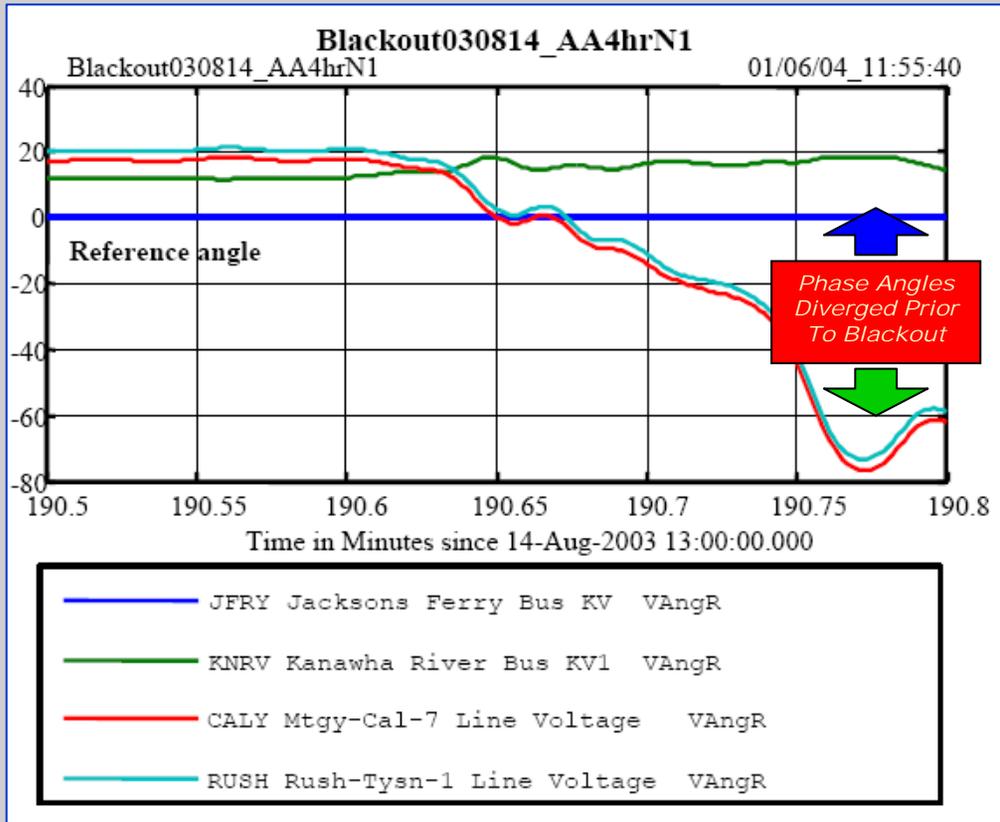
Complex Quantities and their use in Electrical Engineering;  
Proceedings of the International Electrical Congress, Chicago, IL; AIEE Proceedings, 1893; pp.33-74.

Fonte: Mark Adamiak - GE

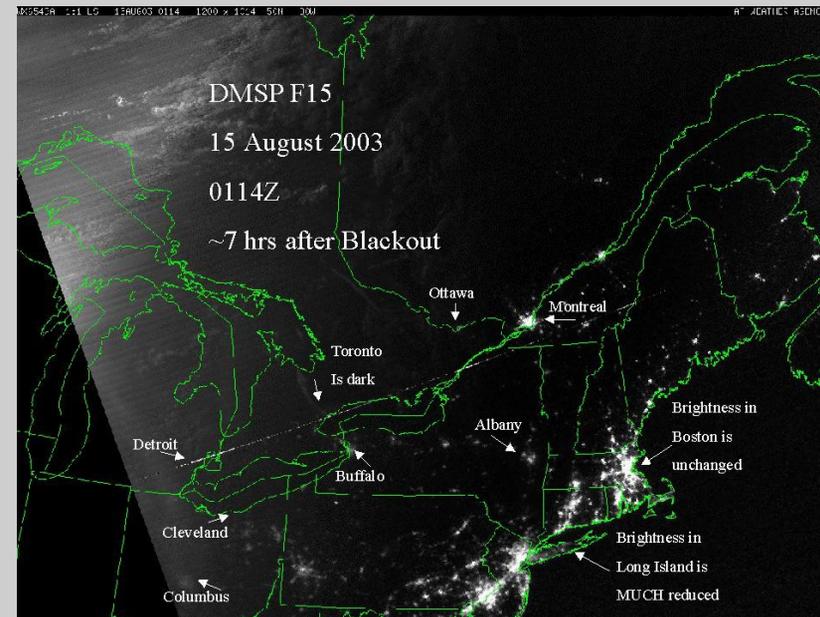
Em distúrbios de grande porte num sistema de transmissão podem ocorrer **fenômenos de longa duração**, tais como:

- ✓ Oscilações eletromecânicas (locais e entre áreas)
- ✓ Variações de frequência
- ✓ Colapsos de tensão





A análise destes fenômenos depende basicamente do registro da **freqüência** e do **módulo e ângulo de fase** das grandezas elétricas durante os distúrbios

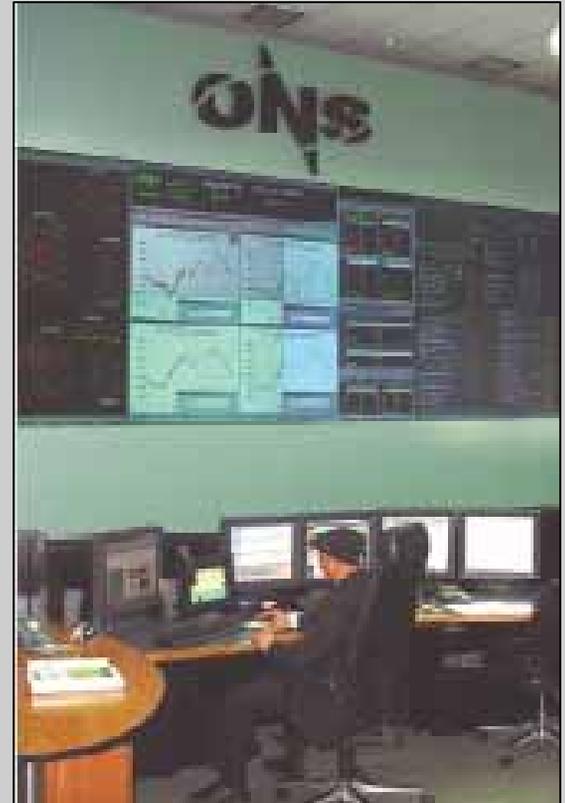


Fonte: D. Novosel & Y. Hu

# Medição de grandezas elétricas

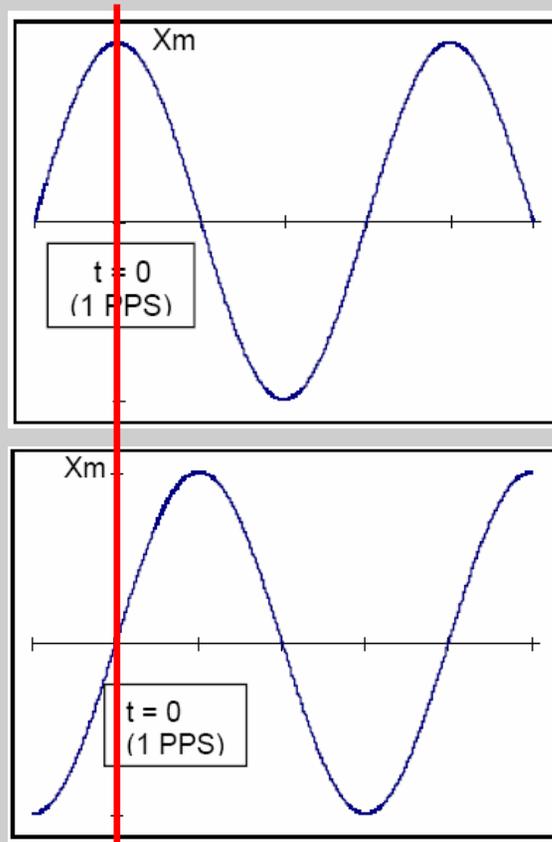
A medição e registro do **módulo** de uma grandeza elétrica é corriqueira e atualmente realizada por transdutores e unidades terminais remotas – RTU convencionais dos Sistemas de Supervisão e Controle - SSC

O mesmo ocorre com a **freqüência**, que pode ser medida e registrada com boa exatidão



# Medição do ângulo de fase

Já a medição do **ângulo de fase** de uma grandeza só tem sentido se relacionada a uma base de tempo comum, de forma que a diferença angular entre grandezas diferentes possa ser obtida

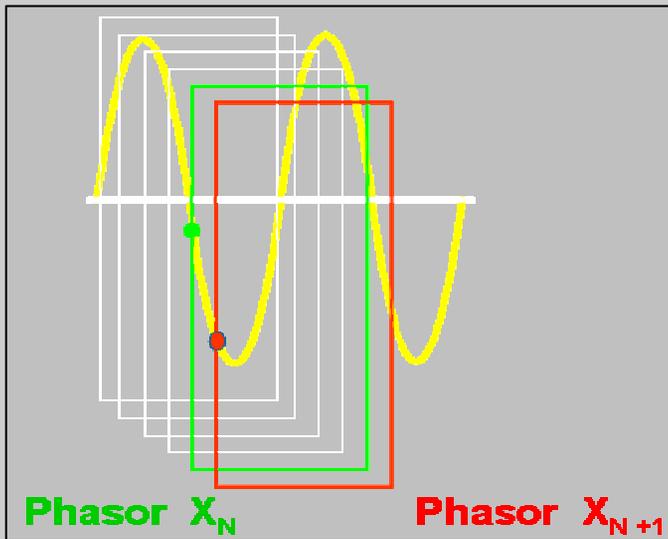


$$\hat{x}_1 = \frac{X_{M1}}{\sqrt{2}} \angle 0^\circ$$

$$\hat{x}_2 = \frac{X_{M2}}{\sqrt{2}} \angle -90^\circ$$

# Medição de fasores

Numa mesma localidade, a **sincronização da base de tempo** para a amostragem das grandezas é simples de ser implementada e a representação fasorial da grandeza pode ser obtida, por exemplo, utilizando a técnica da **Transformada de Fourier**

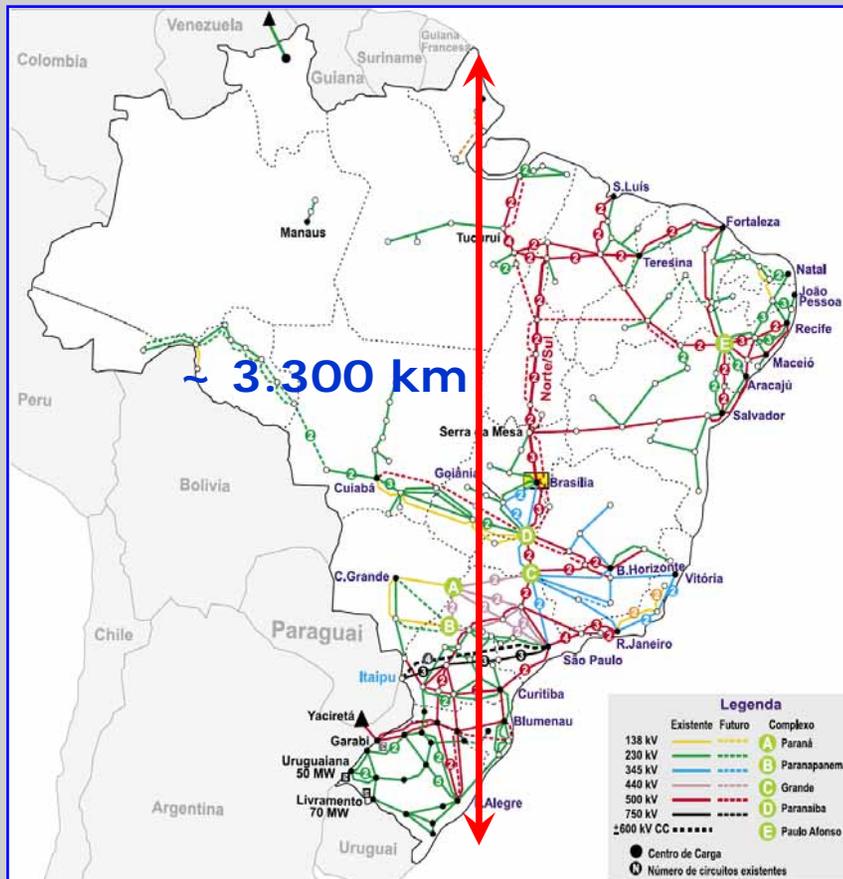


$$x_r = \frac{1}{n} \left[ x_{k-n} + x_k + 2 \sum_{L=1}^{n-1} x_{k-n-L} \cos\left(\frac{2\pi}{n} L\right) \right]$$
$$x_i = \frac{1}{n} \left[ 2 \sum_{L=1}^{n-1} x_{k-n+L} \text{sen}\left(\frac{2\pi}{n} L\right) \right]$$

- $x_i$     – Amostradas da grandeza  
 $n$      – número de amostras por ciclo

# Sincronização em grandes distâncias

No sistema elétrico as subestações estão distantes uma das outras por centenas de quilômetros e para a medição dos fasores em diferentes localidades, é necessária uma referência de tempo comum



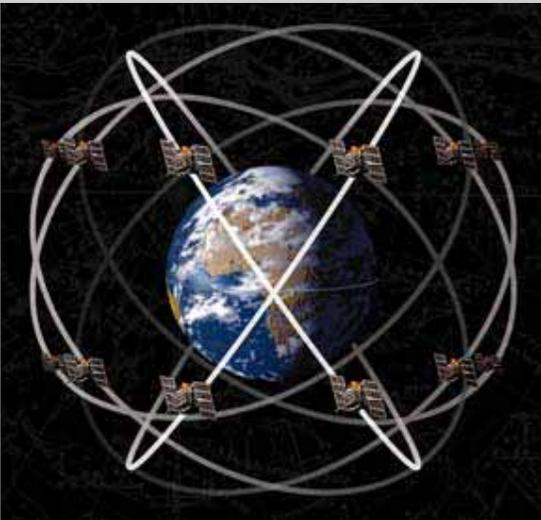
Esta referência de tempo, em qualquer ponto do globo terrestre, é disponibilizada pelos sistemas de navegação por satélites

## GPS em operação:

- ✓ NAVSTAR GPS (EUA)
- ✓ GLONASS (Rússia - 2010)

## GPS planejados:

- ✓ GALILEO (UE - 2012)
- ✓ BEIDOU/COMPASS (China)
- ✓ DORIS (França)
- ✓ INRSS (Índia)

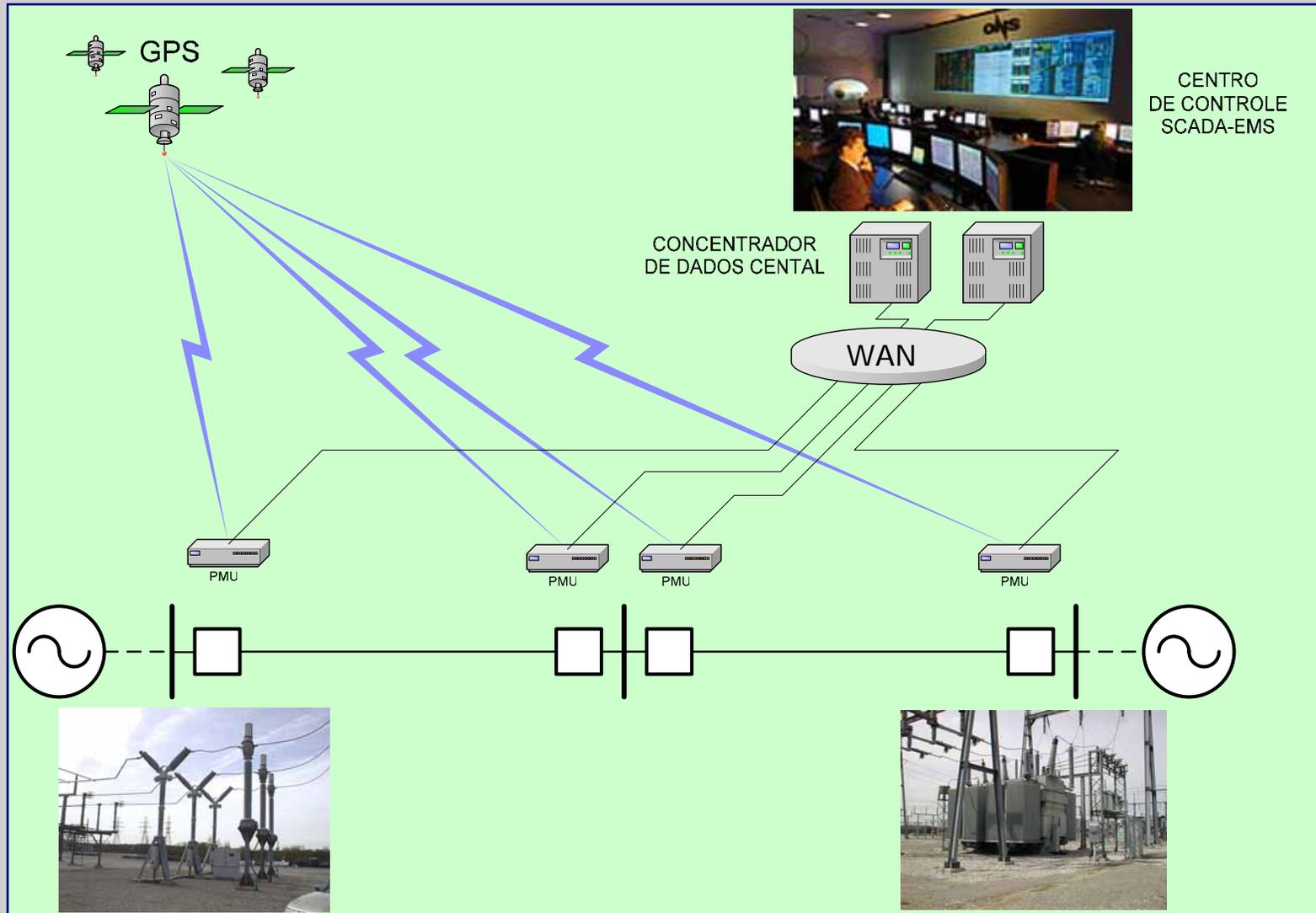


Fonte: Smithsonian Museum

- 24 satélites em 6 planos orbitais
- 4 satélites em cada órbita
- Atualmente possui 30 satélites
- Órbita com período de 12 horas
- 20.200 km de altitude
- 55° de inclinação
- Visibilidade de 5 a 8 satélites de qualquer ponto à qualquer hora
- Sinalização de posição, velocidade e tempo
- Precisão do Serviço de Posicionamento Preciso – PPS:
  - ✓ 22 metros na horizontal
  - ✓ 27,7 metros na vertical
  - ✓ 100 nanosegundos
- Desempenho 95% confiável



# Medição sincronizada de fasores



# PMU – Phasor Measurement Unit

## N60 Network Stability & Synchrophasor Measurement System

**GE** imagination at work

SYNCHRONIZED POWER QUALITY/REVENUE STANDARDS

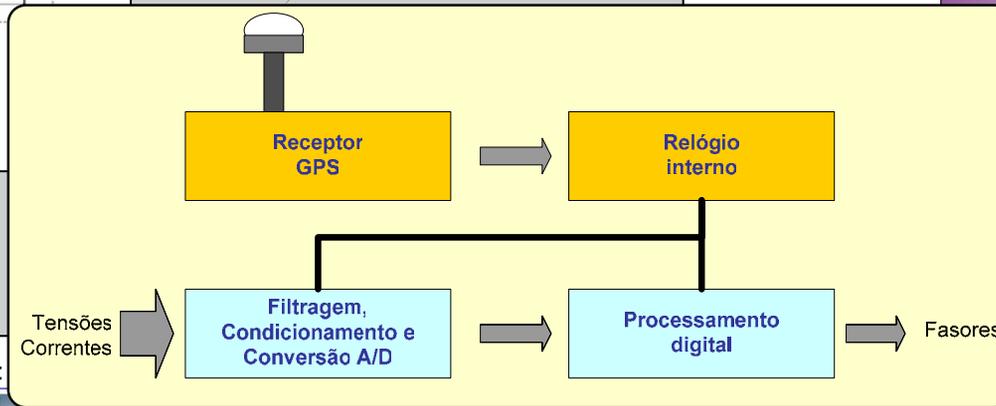


Model 1133A  
**Power Sentinel™**

with

**EnergyDSA™**  
Digital Signal Analysis

- Synchronized via GPS
- Revenue Accuracy: 0.025%
- Power Quality: Harmonics, Flicker, Interruptions
- Phasor Measurements for Stability & Flow Analysis
- System Time & Frequency Deviation
- Internal Data/Event Logging
- Two Year Warranty



## RES 521 Phasor measurement

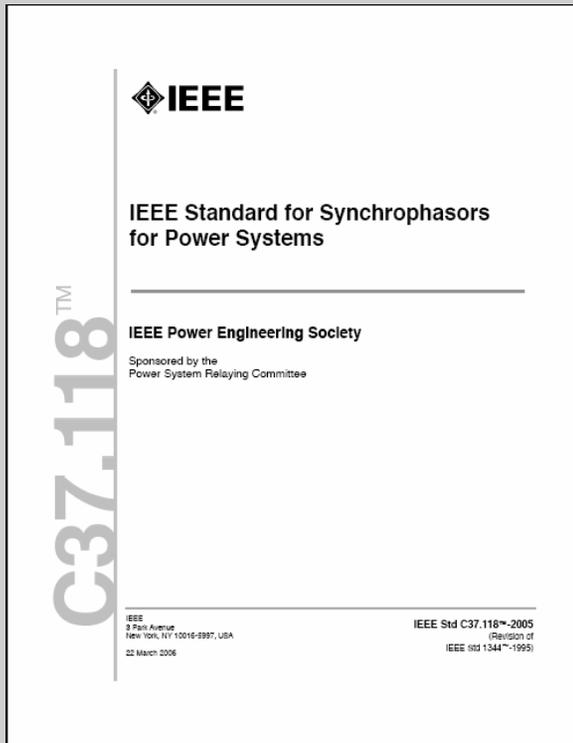
- Submits time tagged phasors of AC voltages and currents up to 60 Hz
- Synchronized sampling in different substations (GPS) 1 microsec
- Additional functions such as f, df/dt,
- Trigger functions for:
  - Abnormal frequency
  - Abnormal df/dt
  - Overcurrent
  - Undervoltage
- Communication, TCP/IP (to PC or data concentrator) and UDP
- Synchrophasor data format IEEE Std 1344-1995, PC 37.118
- Analogue Inputs(12I+6V), Binary Inputs(8BI), Binary Outputs(12BO)

**ABB**





# **Sincrofasores IEEE C37.118-2005**



## Sincrofasor ou fasor sincronizado:

Um fasor calculado de dados amostrados utilizando um sinal de tempo padrão como referência para a medida

Sincrofasores de locais remotos têm uma referência de fase comum definida

$$\hat{x} = x_r + j x_i = \frac{X_M}{\sqrt{2}} e^{j\phi} = \frac{X_M}{\sqrt{2}} (\cos \phi + j \sin \phi)$$

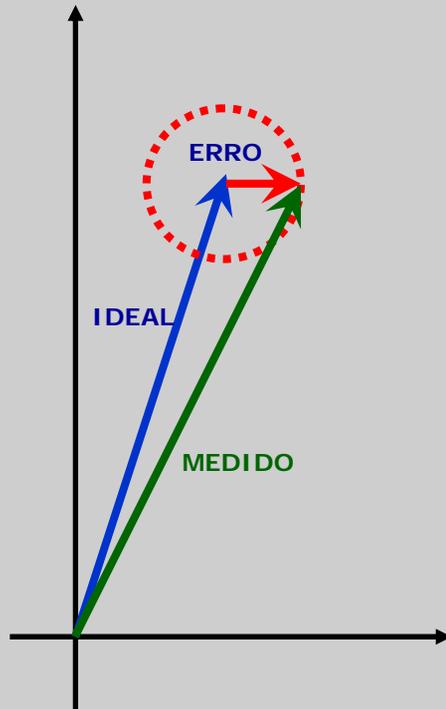
- ✓ O ângulo  $\phi$  é igual a  $0^\circ$  quando o valor máximo da grandeza ocorre na mudança do segundo UTC (1 PPS)
- ✓ A representação fasorial de uma grandeza senoidal é independente de sua frequência

## Definição do Erro Vetorial Total (TVE)

$$TVE = \frac{|\hat{x}_{Medido} - \hat{x}_{Ideal}|}{|\hat{x}_{Ideal}|}$$

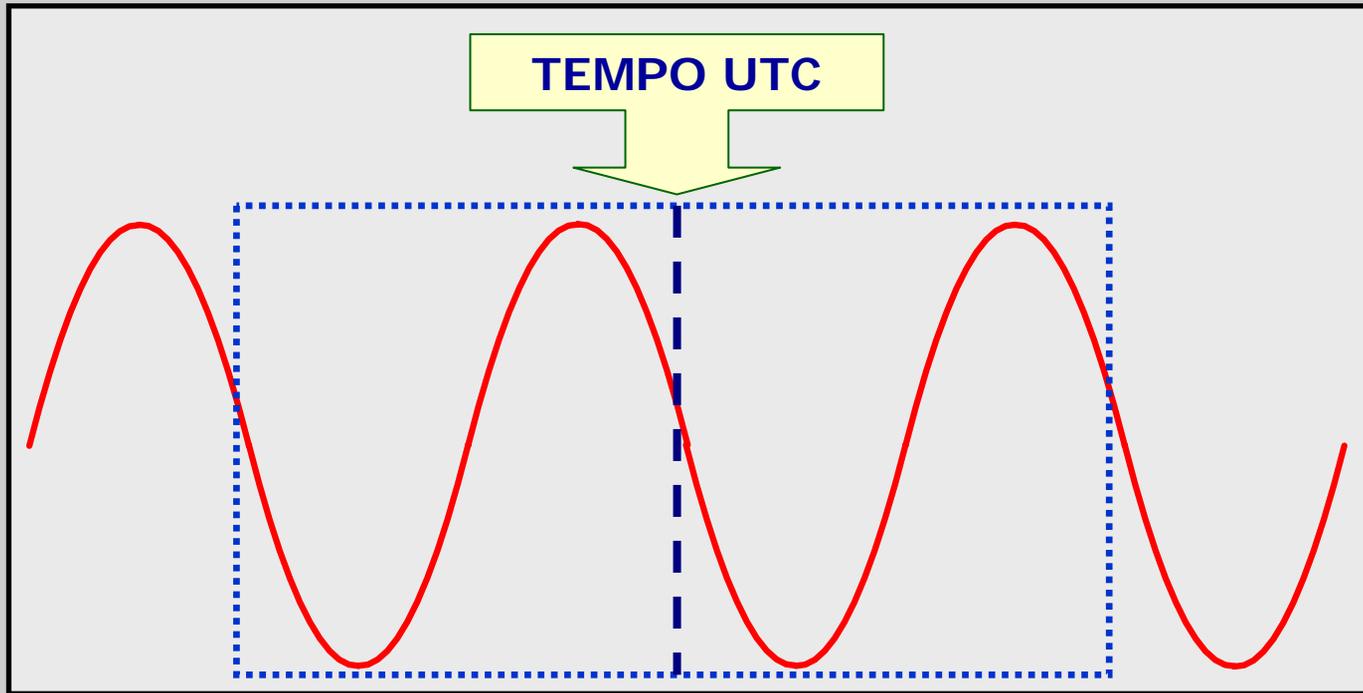
## Classe de exatidão e grandezas de influência

- ✓ O TVE deve ser inferior a 1% para as seguintes condições:



Grandeza de Influência	Valor de Referência	Variação Máxima (TVE=1%)
Freqüência do sinal	Freqüência nominal	$\pm 5\text{Hz}$
Magnitude do sinal	100% nominal	10 a 120% nominal
Ângulo de fase	0 rad	$\pm \pi$ rad
Distorção Harmônica	< 0,2%	10% (até 50ª harm)
Interferência fora de banda	<0,2% da magnitude	10% da magnitude

# Etiqueta de tempo do fasor



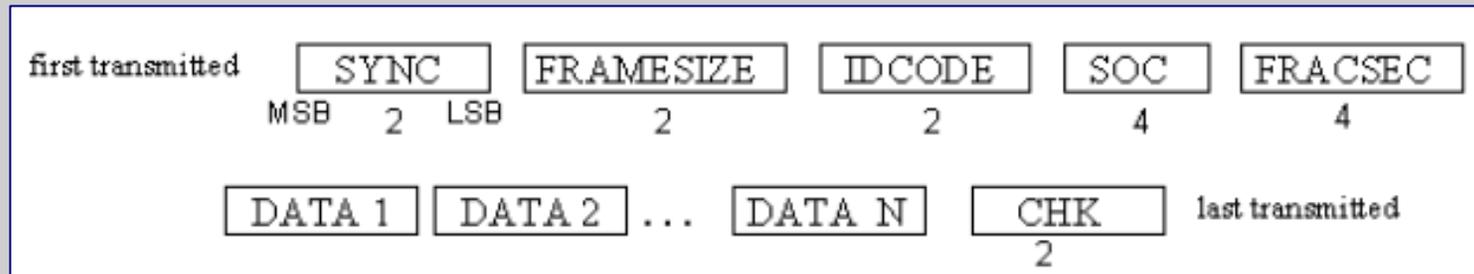
**A etiqueta de tempo deve representar o tempo do fasor teórico que o fasor estimado representa**

- ✓ Corresponde ao tempo no centro da janela de amostragem
- ✓ Os erros de magnitude e fase devem ser compensados

## 4 tipos de mensagens: dados, configuração, cabeçalho e comando

- Dados, configuração e comando são mensagens binárias
- O cabeçalho é transmitido como texto
- Apenas os dados medidos e calculados devem ser transmitidos em tempo real
- As taxas de transmissão devem ser configuráveis
  - ✓ Para 60 Hz são requeridas taxas de: 10, 12, 15, 20 e 30 quadros por segundo
- Transmissão bidirecional para controle em tempo real
- Mecanismo para verificação da integridade dos dados

# Formato geral dos quadros



## ✓ SYNC

- Sincronização e identificação do quadro

## ✓ FRAMESIZE

- Tamanho do quadro incluindo CHK

## ✓ IDCODE

- PMU ou PDC que enviou a mensagem

## ✓ SOC

- Contagem de tempo desde 01/01/1970
- Permite identificação até 2106

## ✓ FRACSEC

- Fração de segundo e indicador de qualidade
- Para dados indica a hora da medida, para os demais quadros a hora da transmissão

## ✓ DATA 1,...,n

- Dados, comando, configuração ou cabeçalho transmitido

## ✓ CHK

- Palavra de verificação no formato CRC-CCITT

# Mensagem de dados

No.	Field	Size (bytes)	Comment
1	SYNC	2	Sync byte followed by frame type and version number.
2	FRAMESIZE	2	Number of bytes in frame, defined in 6.2.
3	IDCODE	2	PMU/DC ID number, 16-bit integer, defined in 6.2.
4	SOC	4	SOC time stamp, defined in 6.2, for all measurements in frame.
5	FRACSEC	4	Fraction of Second and Time Quality, defined in 6.2, for all measurements in frame.
6	STAT	2	Bitmapped flags.
7	PHASORS	4 × PHNMR or 8 × PHNMR	Phasor estimates as defined in Clause 5. May be single-phase or 3-phase positive, negative, or zero sequence. Values are 4 or 8 bytes each depending on the fixed 16-bit or floating-point format used, as indicated by the configuration frame.
8	FREQ	2 / 4	Frequency (fixed or floating point).
9	DFREQ	2 / 4	Rate of change of frequency (fixed or floating point).
10	ANALOG	2 × ANNMR or 4 × ANNMR	Analog data, 2 or 4 bytes per value depending on fixed- or floating-point format used, as indicated by the configuration frame.
11	DIGITAL	2 × DGNMR	Digital data, usually representing 16 digital status points (channels).
	Repeat 6–11		Fields 6–11 are repeated for as many PMUs as in NUM_PMU field in configuration frame.
12+	CHK	2	CRC-CCITT



# Aplicações Principais



# Registro do desempenho dinâmico

## Aplicação:

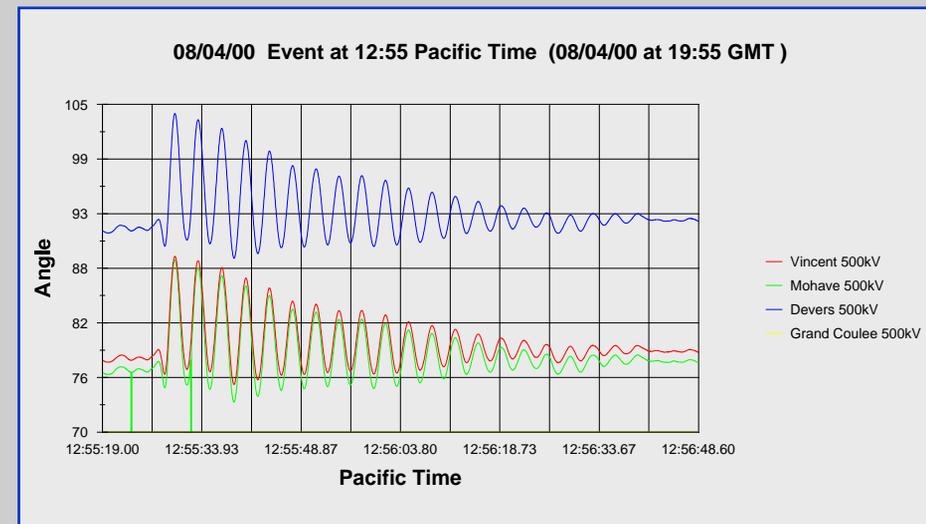
- Análise de perturbações e investigação do desempenho dinâmico do sistema e resposta dos sistemas de controle

## Benefícios:

- Ganhos de tempo e qualidade da análise de distúrbios

## Requisitos:

- Instalação de PMU nas barras principais
- Registro dos fasores de seqüência positiva
- Taxa de amostragem de 10 a 60 fasores/segundo
- Latência não é crítica



Fonte: D. Novosel & Y. Hu

# Monitoramento em tempo real

## Aplicação:

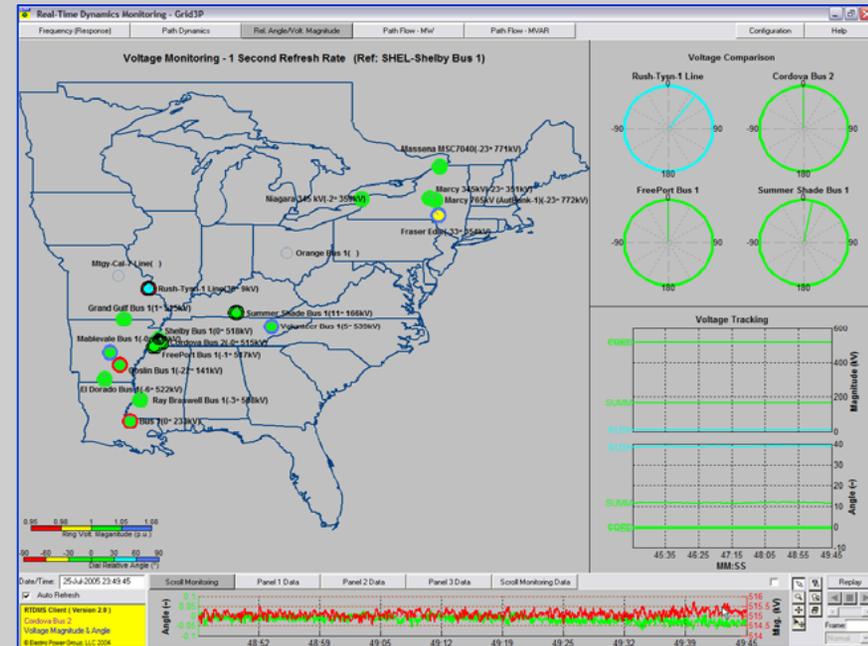
- Monitoramento de grandezas em tempo real

## Benefícios:

- Melhor determinação das condições de operação
- Ganhos para a segurança operacional

## Requisitos:

- Instalação de PMU nas linhas de interligação e pontos selecionados
- Fasores de seqüência positiva
- Taxa de amostragem de 1 a 10 fasores/segundo
- Latência máxima de 1 a 5 segundos



Fonte: D. Novosel & Y. Hu

# Determinação dos modos de oscilação

## Aplicação:

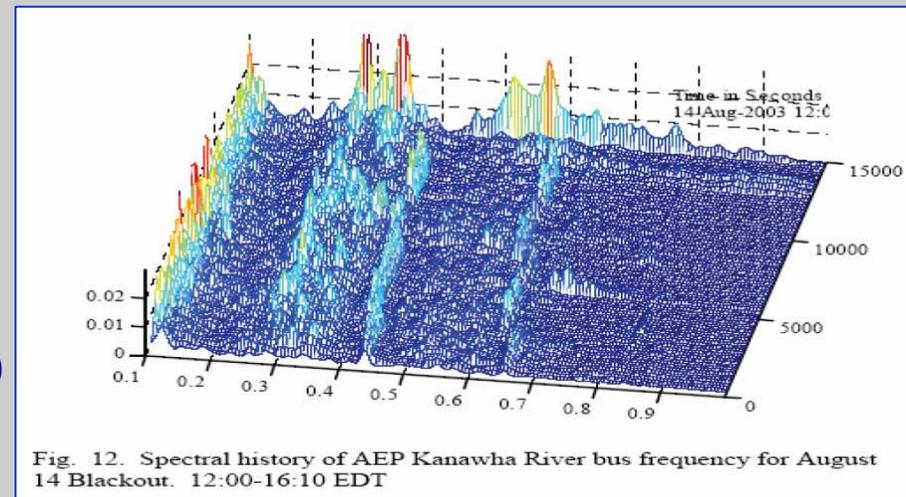
- Identificação dos modos de oscilações locais e entre áreas

## Benefícios:

- Melhor determinação das condições de operação
- Ganhos para a segurança operacional

## Requisitos:

- Instalação de PMU nas linhas de interligação e pontos selecionados
- Fasores de seqüência positiva e frequência
- Taxa de amostragem de 10 a 60 fasores/segundo
- Latência máxima de 1 a 5 segundos



Fonte: OSIsoft

# Melhoria da Estimação de Estado

---

## Aplicação:

- Uso dos fasores no Estimador de Estado

## Benefícios:

- Melhoria da qualidade do processo de estimação de estado
- Aumento da observabilidade do sistema

## Requisitos:

- Localização das PMU considerando critérios de observabilidade
- Tensões e correntes de seqüência positiva
- Taxa de amostragem de 1 a 10 fasores/segundo
- Latência máxima de 2 a 10 segundos
- Os requisitos variam se utilizadas apenas PMU para a Estimação de Estado (necessário instalar PMU em 30 a 50% das barras)



# Projeto MedFasee



## Projeto de P&D com objetivo de:

- Desenvolver um protótipo de Sistema de Medição de Fasores
- Desenvolver aplicativos para monitoramento e controle do Sistema Elétrico

## Parceiros:

- REASON Tecnologia
- Universidade Federal de Santa Catarina
- Financiamento FINEP

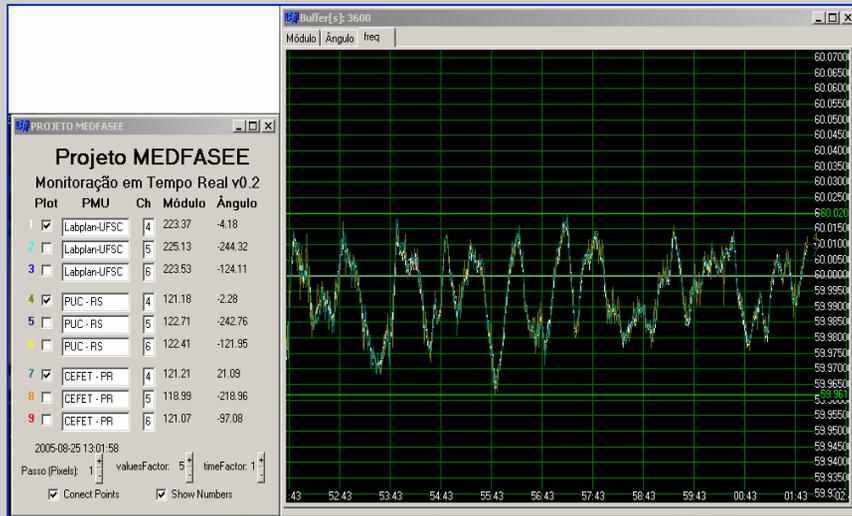
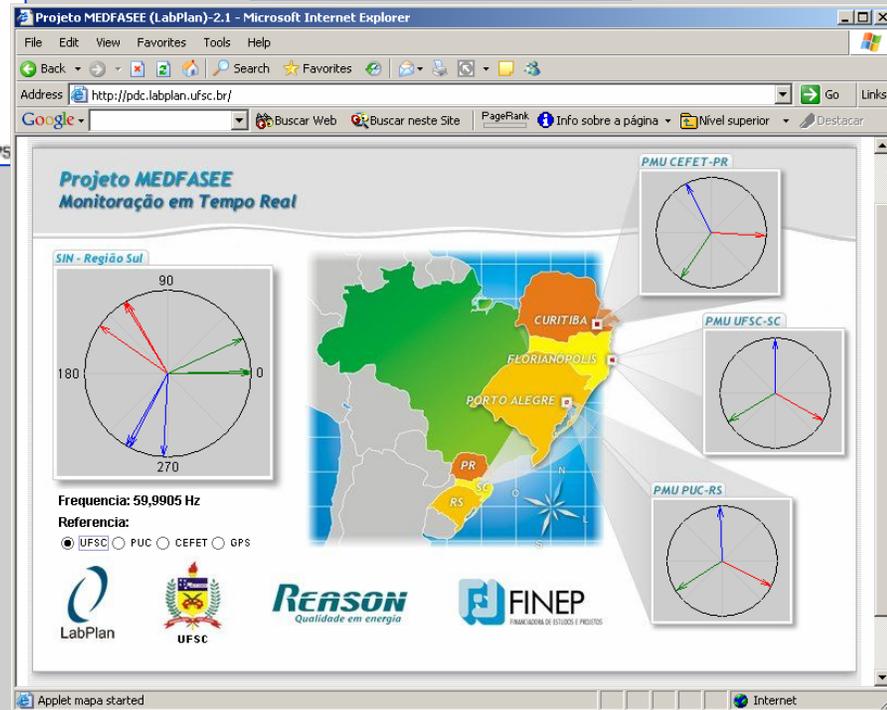
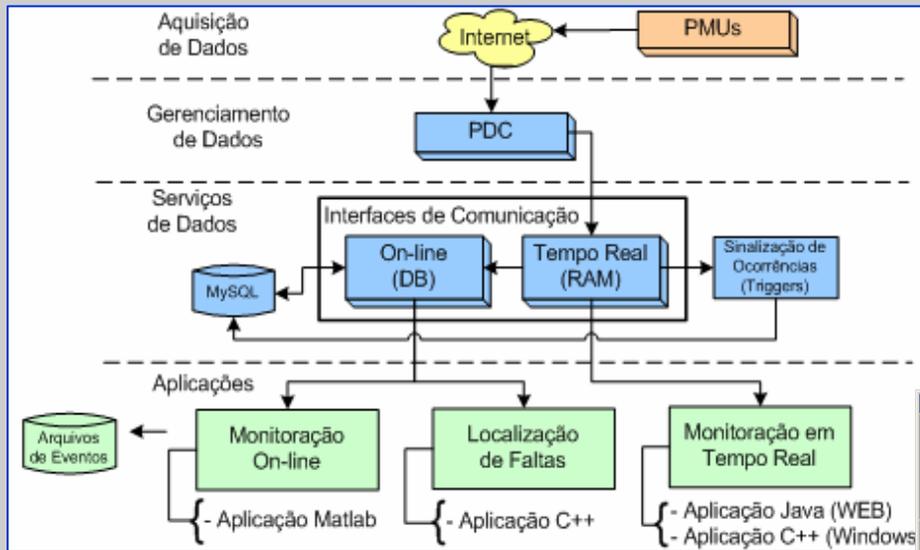
## Resultados:

- Sistema piloto instalado em 3 cidades do Sul: Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba



Fonte: LabPlan - UFSC

# Projeto MedFasee



Fonte: LabPlan – UFSC - REASON



# **Projeto do Sistema de Medição Sincronizada de Fasores do SIN**

## Motivação

- Aumentar a **confiabilidade** do SIN utilizando tecnologia de medição sistêmica para monitoramento e controle
- Atender **recomendação** dos relatórios de análise dos blecautes de 1999 e 2002

## Objetivo

- Implantar uma infra-estrutura de medição sincronizada de fasores, robusta, com disponibilidade adequada e segura, com ferramentas para:
  - ⇒ Registro e análise do desempenho dinâmico do SIN (Projeto 6.2)
  - ⇒ Melhoria da estimação de estado e visualização em tempo real (Projeto 11.11)

## Projetos incluídos no Plano de Ação do ONS (2007-2009)

- **Para aplicações off-line:**

- ✓ **Projeto 6.2 – Implantação do Sistema de registro de fasores**

- O objetivo principal é instalar um sistema de PMU para registro do desempenho dinâmico do SIN durante perturbações sistêmicas

- Este sistema deve considerar os requisitos necessários para permitir a implantação das aplicações de tempo real

- **Para aplicações em tempo-real:**

- ✓ **Projeto 11.11 – Aplicação da Tecnologia de Medição Fasorial para Suporte à Decisão em Tempo Real**

- O objetivo principal é utilizar a medição fasorial para melhoria dos estimadores de estado e desenvolvimento de novas ferramentas para visualização de grandezas em tempo real



# **Resolução Normativa ANEEL-170/2005**

## Responsabilidades do ONS

- Reavaliar a arquitetura do Sistema de Medição Fasorial e os requisitos de telecomunicação **(Concluído)**
- Reavaliar os requisitos, a quantidade e a localização das Unidades de Medição Fasorial - PMU e demais equipamentos associados, a serem implantadas nas instalações dos Agentes **(Concluído para o projeto 6.2)**
- Definir o cronograma e coordenar a implantação das PMU nas instalações dos Agentes **(Em execução)**
- Especificar, adquirir e colocar em operação a Central de Coleta de Dados **(Concluída a especificação)**
- Coordenar a homologação das PMU, por meio de ensaios em laboratório independente, de forma a garantir a manutenção das características sistêmicas do Sistema de Oscilografia de Longa Duração **(A ser iniciado)**

## Responsabilidades dos Agentes

- Caberá às concessionárias e autorizadas adquirir, instalar, operar e manter as PMU, bem como prover os meios de telecomunicação para a disponibilização das medidas na Central de Coleta de Dados no ONS, atendendo os requisitos técnicos, especificações e cronogramas definidos pelo ONS **(A ser iniciado)**

## Viabilização

- O custo dos equipamentos e das atividades será considerado, após auditado pela ANEEL, nas revisões periódicas das receitas anuais permitidas, nas respectivas tarifas ou no custo dos serviços de operação, conforme cada caso
- Necessário esclarecimentos da ANEEL sobre dúvidas dos Agentes
  - ⇒ **Compartilhamento de dados de medição**
  - ⇒ **Compartilhamento de infra-estrutura na subestação**
  - ⇒ **Ressarcimento de custos de operação e manutenção**



# **Arquitetura do Sistema de Medição Sincronizada de Fasores do SIN**

- **Do sistema:**

- ✓ Deve ser flexível – Atender as necessidades do ONS e dos Agentes
- ✓ Deve ser expansível
- ✓ A segurança de rede deve ser considerada (Agentes e ONS)

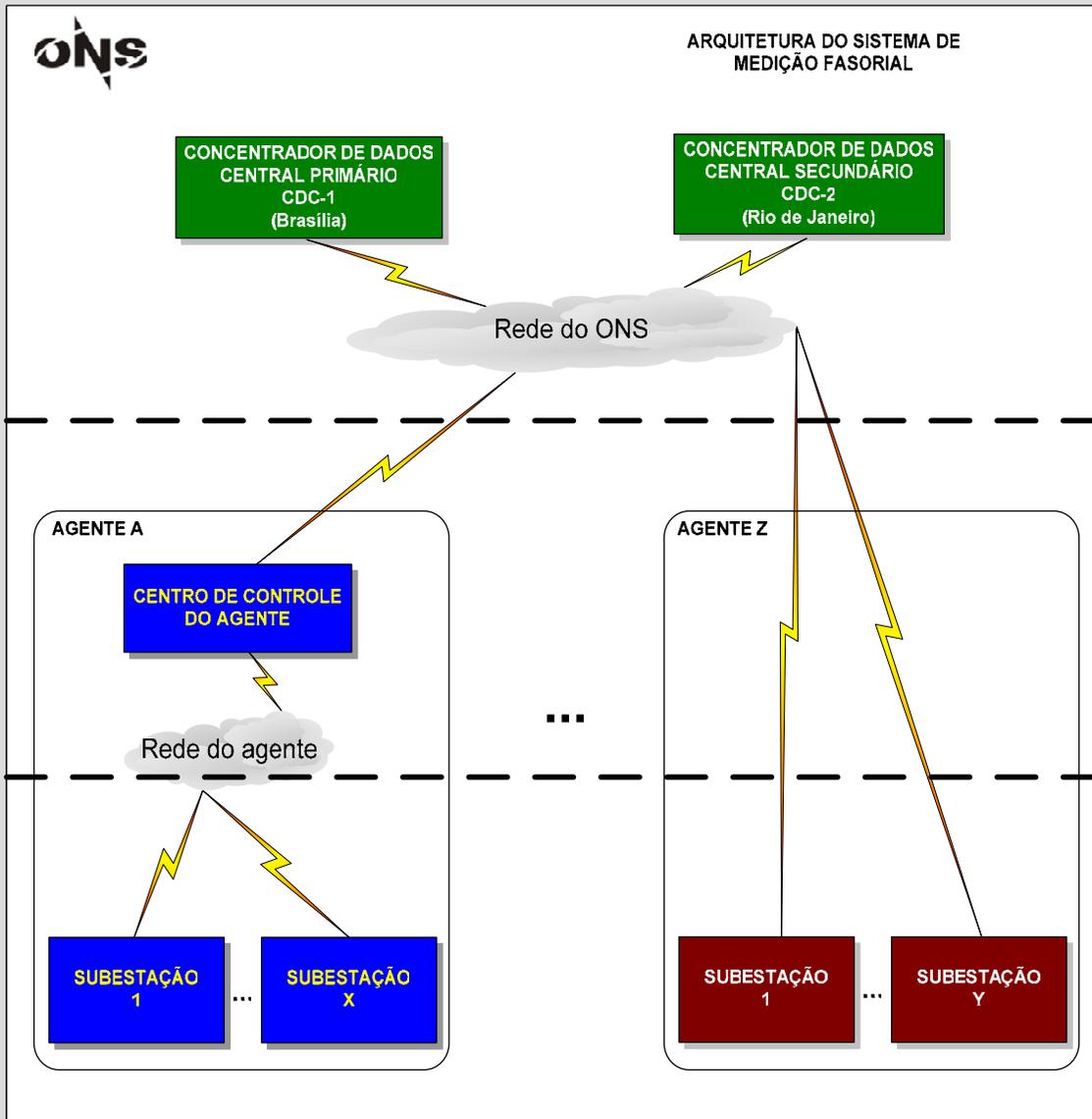
- **Para aplicações off-line:**

- ✓ A frequência máxima de oscilação entre áreas é de 2 Hz
- ✓ A aquisição e armazenamento dos dados deve ser confiável e suportar falhas nos canais de telecomunicação

- **Para aplicações em tempo real:**

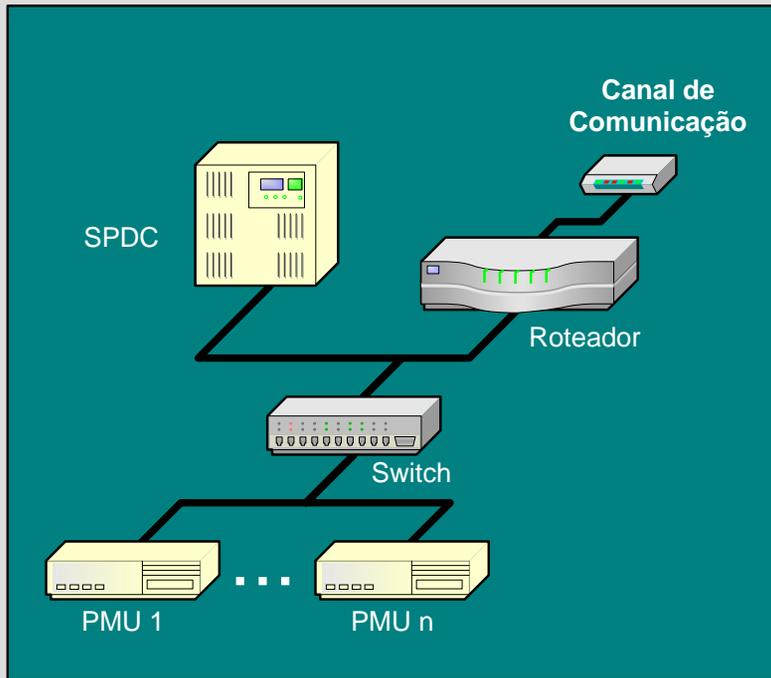
- ✓ Uma taxa de exteriorização de 10 fasor por segundo é suficiente para as aplicações previstas
- ✓ A latência do dado não deve ser superior a 2 segundos, para não comprometer o desempenho das ferramentas atuais

# Arquitetura do SMSF



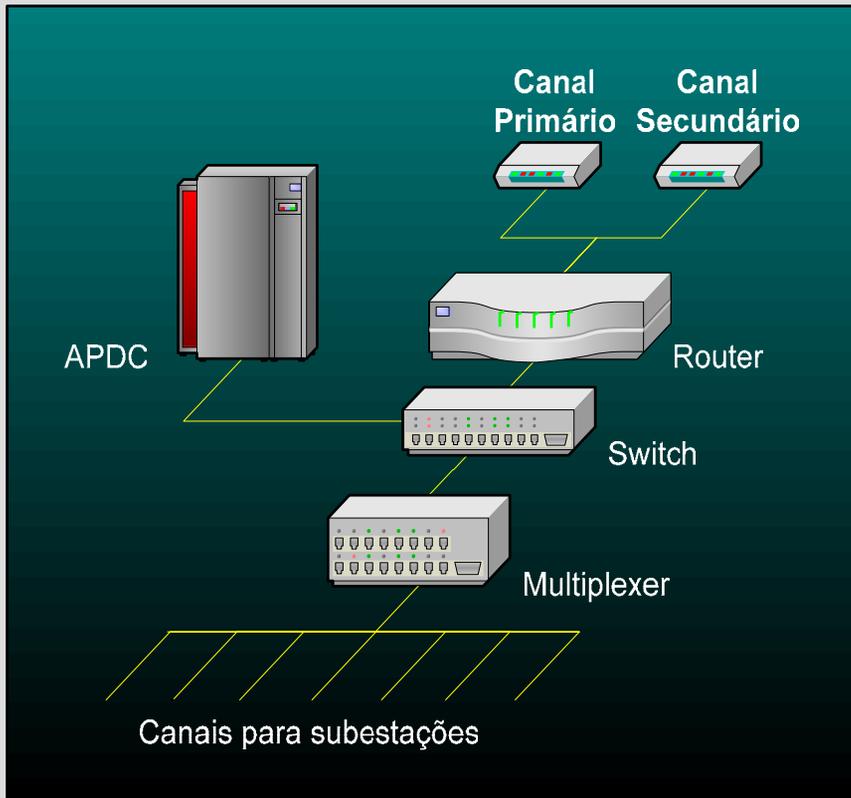
- Arquitetura em três níveis
- Canais de telecomunicações dedicados para garantia de largura de banda e segurança do sistema
- Fasores em tempo real utilizando protocolo UDP/IP, endereçamento multicast e formato C37.118
- Duas opções de conexão com o ONS: diretamente da SE ou através do CC do agente

# Arquitetura das subestações



- **Dados de tempo real das PMU enviados no formato C37.118 com endereçamento UDP/IP *multicast***
  - ✓ Dados das PMU serão roteados para o SPDC onde serão alinhados e armazenados
  - ✓ O Agente pode, opcionalmente, utilizar uma taxa de fasores maior que a do ONS (10 fps)
- **A banda total deve considerar:**
  - ✓ Os fasores em tempo real para o CDCP/CDCS do ONS (10fps)
  - ✓ Os fasores em tempo real para o PDC do Agente (Taxa de exteriorização selecionada pelo Agente)
  - ✓ Banda adicional reenvio de dados perdidos em tempo real
- **O Concentrador de Fasores da Subestação – SPDC é obrigatório para:**
  - ✓ Permitir a utilização de diferentes configurações de fasores e taxas de exteriorização para o ONS ou Agente
  - ✓ Armazenar os dados fasoriais e responder aos comandos do CDCP/ CDCS para restaurar os dados faltantes quando houver falha de comunicação

# Arquitetura do CC do Agente



- **Geral**

- ✓ Quando o dado chega ao Centro de Controle do Agente é enviado diretamente para o CDC do ONS
- ✓ Se o Agente utilizar um APDC, o protocolo *multicast* encaminhará o dado para o APDC também

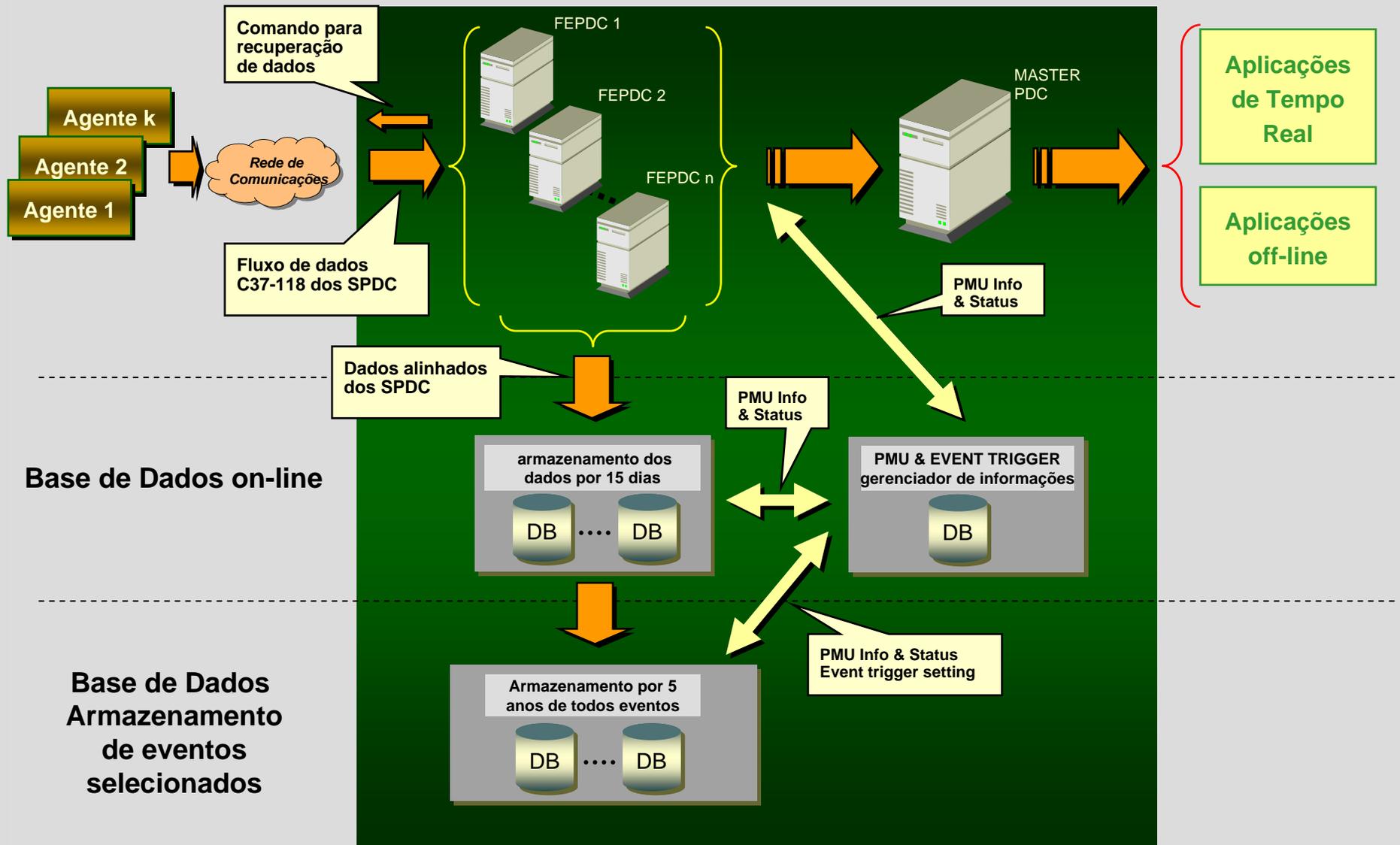
- **Concentrador de Fasores do Agente (APDC):**

- ✓ O uso do APDC é opcional
- ✓ O APDC não concentra os fasores para enviar para o ONS. Ele recebe os dados via protocolo *multicast*
- ✓ O APDC pode ser utilizado para enviar os fasores para o SCADA/EMS do Agente

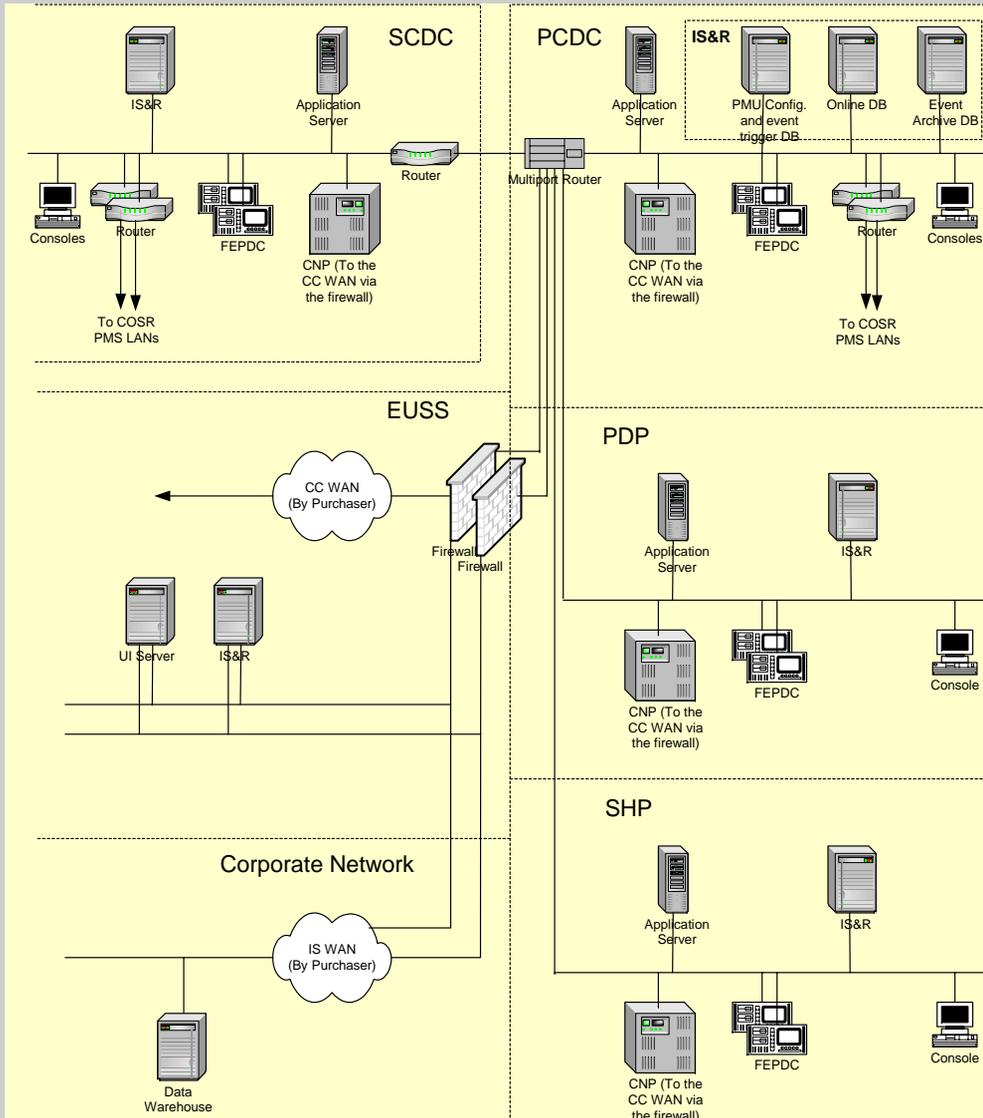
## Estrutura em 2 níveis (FEPDC e Master PDC)

- ***Front-end Phasor Data Concentrators (FEPDC):***
  - ✓ Alinha os dados recebidos dos SPDC das diversas SE de acordo com a etiqueta de tempo e realiza outros processamentos
  - ✓ Inicia o processo de recuperação dos dados dos SPDC quando ocorre falha nos canais de telecomunicação, enviando a solicitação para o SPDC correspondente
  - ✓ Armazena os dados recebidos por um período de tempo definido, mantendo a base de dados de fasores em tempo real
- ***Master Phasor Data Concentrator (MPDC):***
  - ✓ Alinha os dados de todos os FEPDC e distribui dados para o servidor de aplicação para ser utilizado pelo SCADA
- **Bancos de dados:**
  - ✓ Banco de dados *on-line* de fasores das PMU
  - ✓ Banco de dados das configurações e ajustes das PMU

# Arquitetura do CDC



# Arquitetura do CDC



- **PCDC**
  - ✓ Primary Central Data Concentrator
- **SCDC**
  - ✓ Secondary Central Data Concentrator
- **FEPDC**
  - ✓ Front-End Phasor Data Concentrator
- **PDP**
  - ✓ Program Development Platform
- **SHP**
  - ✓ System Homologation Platform
- **IS&R**
  - ✓ Information Storage and Retrieve System
- **CNP**
  - ✓ Communications Network Processor
- **EUSS**
  - ✓ External Users Support System
- **UI Server**
  - ✓ User Interface Server

# Principais vantagens da arquitetura

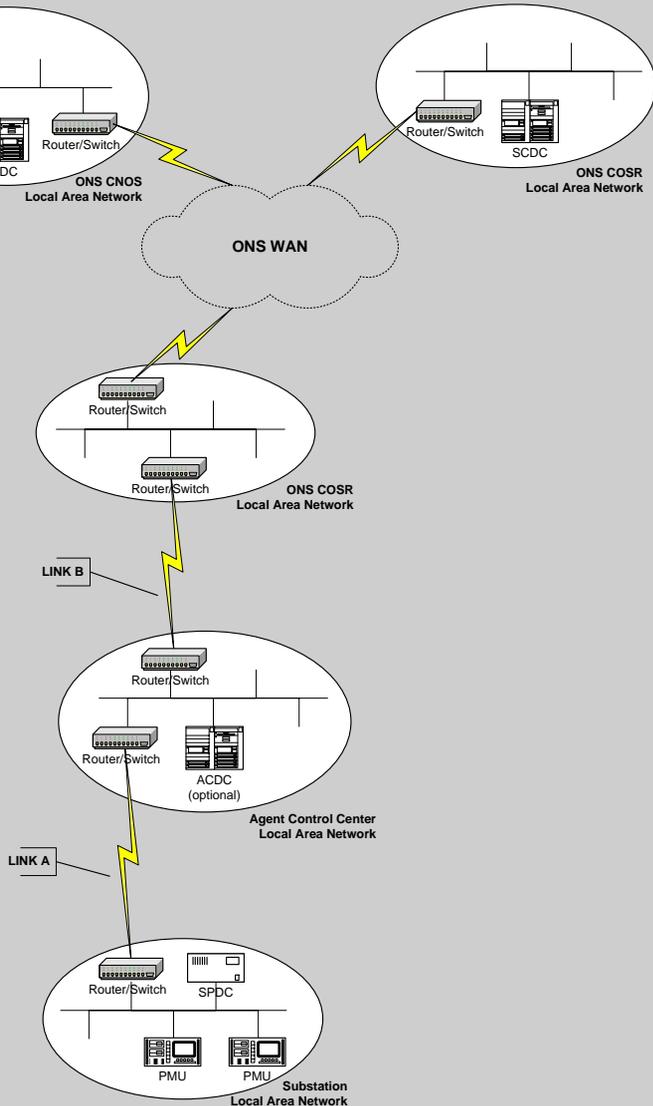
---

- Flexibilidade para os Agentes e ONS sem impacto negativo na latência (aplicativos em tempo real)
  - ✓ Duas formas de conexão para envio dos dados ao ONS
  - ✓ Uso opcional do APDC
- Manutenção da integridade dos dados mesmo com falhas de comunicações (aplicativos off-line)
- Estrutura expansível, para permitir o aumento do número de PMU no SIN (múltiplos FEPDC)
- Otimização da largura de banda dos canais de telecomunicação e da latência (endereçamento IP *multicast*)



# Requisitos de Telecomunicação

# Tráfegos na rede



## Rede IP privada com 3 tipos de tráfego:

### • Tráfego em Tempo-Real – RT

- ✓ Latência máxima de 2 segundos
- ✓ Dados transmitidos 24 horas por dia, 7 dias na semana
- ✓ Determina a banda do canal

### • Tráfego Offline – OL

- ✓ Não possui requisito de latência
- ✓ Dados transmitidos apenas quando solicitados pelos CDCP/CDCS
- ✓ Necessita alta confiabilidade

### • Tráfego de controle – CT

- ✓ Bidirecional com baixa largura de banda

# Tráfegos na rede

NOME	DE	PARA	DIR	TIPO	PROTOCOLO	ENDEREÇAMENTO
PMU-RT	PMU	SPDC	⇒	RT	UDP/IP	<i>multicast</i>
SPDC-RT1	SPDC	CDC-ONS	⇒	RT	UDP/IP	<i>multicast</i>
SPDC-RT2	SPDC	CDC-A	⇒	RT	UDP/IP	<i>multicast</i>
SPDC-SD1	SPDC	CDC-ONS	↔	OL	TCP/IP	<i>unicast</i>
SPDC-SD2	SPDC	CDC-A	↔	OL	TCP/IP	<i>unicast</i>
PMU-CTRL1	PMU	SPDC	↔	CT	TCP/IP	<i>unicast</i>
PMU-CTRL2	PMU	CDC-A	↔	CT	TCP/IP	<i>unicast</i>
SPDC-CTRL1	SPDC	CDC-ONS	↔	CT	TCP/IP	<i>unicast</i>
SPDC-CTRL2	SPDC	CDC-A	↔	CT	TCP/IP	<i>unicast</i>

PMU  
SPDC

Unidade de Medição Fasorial  
Concentrador de Dados da Subestação

CDC-A  
CDC-ONS

Concentrador de Dados Central - Agente  
Concentrador de Dados Central - ONS

# Extensão da Norma C37.118-2006

## Dados de comando:

COMMAND WORD BITS	DEFINITION
Bits 15–4	Reserved for future use.
Bits 3–2–1–0:	
0001	Turn off transmission of SPDC data frames.
0010	Turn on transmission of SPDC data frames.
0011	Send SPDC HDR file.
0100	Send SPDC CFG-1 file.
0101	Send SPDC CFG-2 file.
1000	Extended frame.
<b>1001</b>	<b>Send SPDC buffer data defined by 16 bytes in extended frame</b>

N	FIELD	SIZE	DEFINITION
1	SOC_S	4	Buffer start SOC time stamp
2	FRACSEC_S	4	Buffer start Fraction of Second and Time Quality
3	SOC_E	4	Buffer end SOC time stamp
4	FRACSEC_E	4	Buffer end Fraction of Second and Time Quality



SOC Second-of-Century count starting at midnight 01-Jan-1970 (UNIX time base)

FRACSEC Fraction of second and time quality

# Requisito de latência total

Processamento na PMU	30 ms
Tráfego na LAN da Subestação	30 ms
Processamento no SPDC	650 ms
Latência no canal da Subestação ao CC Agente	200 ms
Tráfego na LAN do CC Agente	30 ms
Latência do canal do CC Agente CC ao COSR	100 ms
Tráfego na LAN do COSR	30 ms
Latência do canal COSR ao CNOS	100 ms
Tráfego na LAN do CNOS	30 ms
Processamento no CDC	800 ms
<b>TOTAL</b>	<b>2.000 ms</b>

**OBS: A latência nos canais corresponde apenas ao tempo de ida**



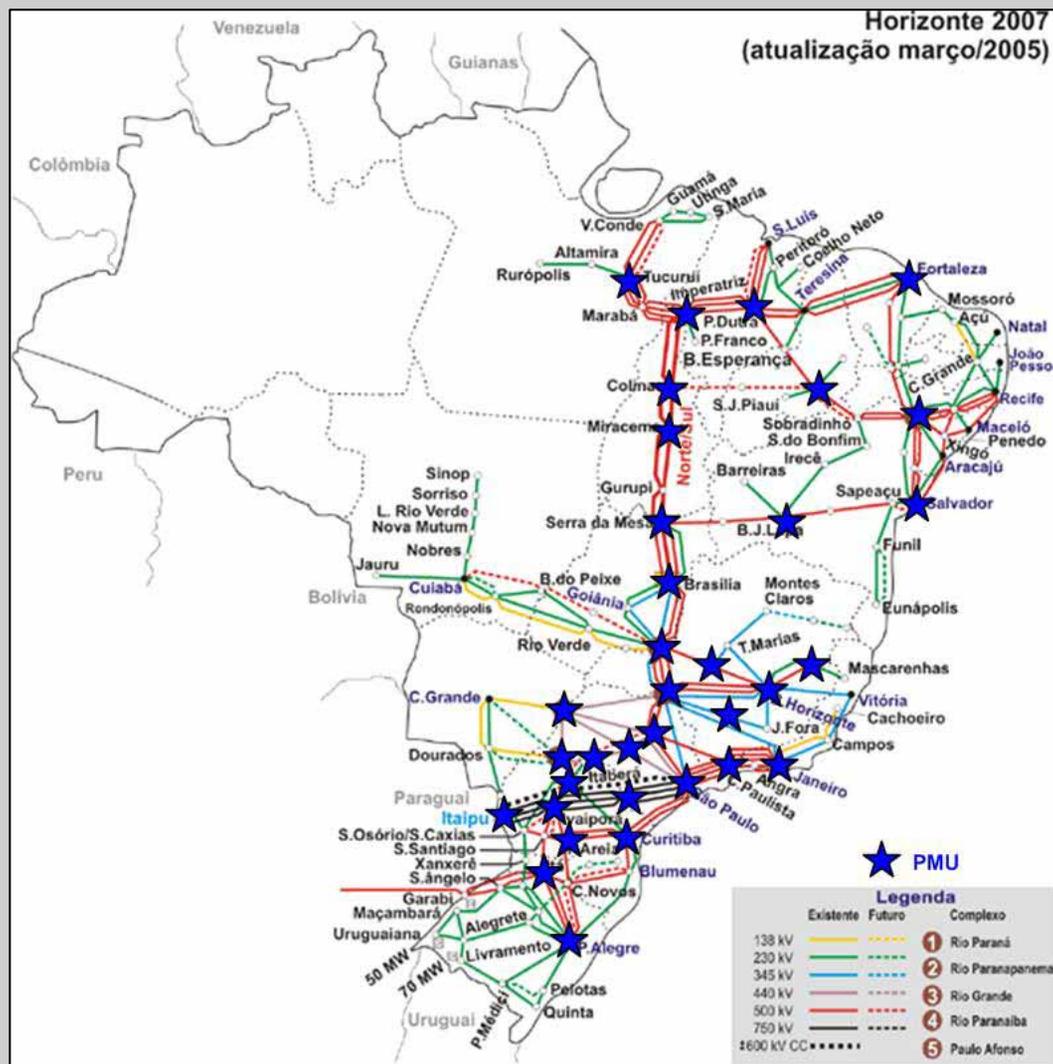
# Localização das PMU

# Estratégia de localização das PMU

---

- Foco no registro dos modos de oscilações locais (0.8 – 1.0 Hz) e entre áreas (0.4 – 0.5 Hz)
- A estratégia de localização considerou pontos:
  - ✓ Onde o desempenho dinâmico dos perfis de tensão são críticos
  - ✓ Que são cruciais para o suprimento dos principais centros de carga
  - ✓ Vizinhas ao link CC associado ao Sistema de Transmissão de Itaipu
- Os pontos selecionados foram escolhidos baseados em extensivos estudos de estabilidade eletromecânica, de estabilidade para pequenos sinais e de estabilidade de tensão.
- Além disto, foi considerada a experiência adquirida ao longo de várias décadas de estudos de desempenho dinâmico e de análise de distúrbios

# Arranjo final



SUBESTAÇÃO
ADRIANOPOLIS
AGUA VERMELHA
ANGELIM II
ANGRA FUR
ARARAQUARA
ARARAQUARA FUR
AREIA
ASSIS
B. ESPERANCA
B.DESPACHO 3
B.J.LAPA II
BATEIAS
BAURU
C. PAULISTA
CAMACARI II
COLINAS
EMBORCACAO
F.IGUACU 60HZ
FORTALEZA II
FURNAS
GRAVATAI
IBIUNA
ILHA SOLTEIRA
IMPERATRIZ
ITA
ITABERA
ITUMBIARA
IVAIPORA
IVAIPORA ESUL

SUBESTAÇÃO
JAGUARA-SE
JAGUARA-US
JARDIM SE
JUPIA
L.C.BARRETO
LUZIANIA
MARIMBONDO
MILAGRES
MIRACEMA
NEVES 1
NOVA PONTE
OLINDINA
OURO PRETO 2
P. AFONSO IV
P.DUTRA
RECIFE II
S.DA MESA
S.JOAO PIAUI
SAMAMBAIA
SAO SIMAO-SE
SAO SIMAO-US
SERRA MESA 2
SOBRAL III
TERESINA II
TIJUCO PRETO
TUCURUI
U.SOBRADINHO
US. L.GONZAGA
USINA XINGO

30 Agentes, 58 subestações e 345 linhas de transmissão



## Próximas etapas



1. **Homologação das PMU por entidade independente**
  - Definição do modelo a ser utilizado
  - Seleção da entidade que realizará os ensaios
  - Acompanhamento dos ensaios
2. **Licitação para fornecimento do CDC**
  - Realização de processo de licitação internacional para o fornecimento do CDC do ONS.
  - O CDC especificado possui características e dimensões de um centro de controle
3. **Fornecimento e instalação do CDC**
  - Acompanhamento do fornecimento e realização de testes de aceitação
4. **Localização das PMU**
  - Realizar estudos para identificar a necessidade de alocação adicional de PMU para o uso da informação no Tempo Real

5. **Uso da informação fasorial pelos EMS do ONS**
  - Realizar estudos para identificar requisitos necessários nos EMS para uso da informação fasorial
6. **Avaliar os equipamentos de medição fasorial já instalados no Brasil**
  - Fazer um estudo, a partir das informações dos Agentes, dos PMU já instalados e sua compatibilidade com os requisitos do SMF do ONS
7. **Identificar, selecionar e desenvolver aplicações para o tempo real**
  - Fazer um levantamento das aplicações já comerciais que utilizam medição fasorial
  - Selecionar desse conjunto um subgrupo de aplicativos
  - Desenvolver os aplicativos para uso na sala de controle



# Desafios

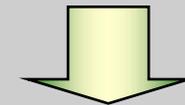


# Principais desafios

- O sistema deverá começar pequeno, mas deve possibilitar expandir até a configuração final
  - ✓ Necessidade de metodologia de ensaio para garantir a expansibilidade do sistema
- Inexistência de produtos com a funcionalidade requerida pelo SPDC
  - ✓ Dados de comando não previsto na Norma C37.118
- Norma não prevê especificação do desempenho dinâmico das PMU nem método de ensaio
- Disponibilidade e custo dos canais de telecomunicação

- Elevado volume de dados para gerenciar e armazenar nos CDC

Centros de Controle ONS	Largura de banda (bps)
COSR-NMW	400.800
COSR-NE	293.200
COSR-S	123.600
COSR-SE	830.800
TOTAL	1.648.400



~ 250 Gbytes para 15 dias de armazenamento contínuo

**Questões?**



**Operador Nacional  
do Sistema Elétrico**



**Unidades de Medição e Comunicação  
São Paulo, 25 de abril de 2007**