



Aula 07 - Qualidade da energia elétrica

Prof. Dr. Mário Oleskovicz

USP/EESC/SEL

Qualidade da Energia Elétrica

Considerações Gerais para o Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica

Qualidade da Energia Elétrica

TÓPICOS

- ❑ A QEE no contexto das Redes Elétricas Inteligentes (REIs)
- ❑ Conceitos para uma adequada QEE
- ❑ O monitoramento da QEE:
 - ✓ Motivação;
 - ✓ O que é o monitoramento;
 - ✓ Quais são os objetivos; e
 - ✓ Aspectos que devem ser considerados.
- ❑ Considerações finais para um monitoramento eficaz

Referencial técnico-científico

Qualidade da Energia Elétrica

□ A QEE no contexto das REIs

- **Consumidores:** atendimento da demanda com alta qualidade do serviço prestado, sem esquecer a questão do custo.
- **Companhias ou outros provedores de energia:** alta qualidade dos seus serviços para manter a competitividade, atrair e/ou manter os consumidores do sistema nacional.
- O constante monitoramento da QEE disponível e a análise do sistema como um todo, de **forma automatizada** e em **tempo real**, pode ajudar a alcançar índices de satisfação e a garantir o fornecimento contínuo da energia.

Qualidade da Energia Elétrica

- **Novas metodologias:** melhor monitoramento e identificação dos distúrbios (possíveis fontes, causas e soluções).
- Adequada operação e coordenação entre os sistemas de geração convencional e distribuída, sistemas de transmissão (CC ou CA), e sistemas de distribuição: necessário a **seleção** e a **aplicação de diferentes tecnologias** para assegurar a utilização eficiente e o fornecimento confiável da energia para os usuários finais.
- Adequada e desejada qualidade no fornecimento da energia: **garantir a operação** e a **compatibilidade** necessária **entre todos os equipamentos conectados à rede.**

Qualidade da Energia Elétrica

- Proporcionar e garantir a QEE para uma vasta gama de aplicações: uma das necessidades a ser atendida e constantemente aprimorada no contexto das REIs.
- Avanços tecnológicos que impulsionam o desenvolvimento das REIs: sistemas de comunicação integrados; **sistemas de monitoramento**; concepção e disponibilização de novos componentes/equipamentos; métodos de controle, melhores interfaces e ferramentas de suporte para a tomada de decisão.



Qualidade da Energia Elétrica

- REIs + QEE = **sistemas de monitoramento**: aplicação de **medidores inteligentes** ou de **dispositivos eletrônicos inteligentes** (IED - *Intelligent Electronic Device*).
- **Funções avançadas de análise** que garantam **mecanismos automatizados de monitoramento local e remoto** para detectar, localizar o problema e a origem do mesmo, classificar, amenizar ou mitigar o problema, e, adequadamente, disponibilizar e armazenar as informações processadas.

Qualidade da Energia Elétrica

□ Conceitos para uma adequada QEE

- **Consumidores finais:** energia de boa qualidade - operação adequada dos equipamentos, sem danos aos mesmos e sem interrupção de energia.
- **Companhias/Concessionárias:** a energia é de boa qualidade quando o fornecimento da energia atende aos limites estabelecidos pelas agências reguladoras (ANEEL e ONS: **tensão**).
- “Assunto relacionado a qualquer problema manifestado na **tensão**, **corrente** ou **desvio de frequência**, que resulta em falha ou má operação de equipamento dos consumidores”(DUGAN et al., 1996).

Qualidade da Energia Elétrica

❑ O monitoramento da QEE

✓ Motivação



- ↪ A crescente aplicação de equipamentos com características não-lineares: sensíveis aos distúrbios e/ou geradores dos distúrbios;
- ↪ Maiores exigências impostas pelos consumidores (automatização dos processos) e pelas agências reguladoras; e
- ↪ Graves prejuízos financeiros, principalmente aos consumidores industriais.

Qualidade da Energia Elétrica

✓ O que é o monitoramento?

- O monitoramento da QEE é o processo de **coleta/registro**, **análise** e **processamento final** dos dados de medição.
- **Coleta/registro**: medição das **tensões** e correntes trifásicas e/ou frequência do sistema durante um determinado período de tempo.
- **Análise e processamento final**: manualmente e/ou de forma automatizada.

Considerando: grande volume de dados, processamento digital dos sinais e o uso de técnicas de inteligência artificial.

Qualidade da Energia Elétrica

✓ Quais são os objetivos?

1. Verificar a conformidade;
2. Análise de desempenho do Sistema Elétrico de Potência (SEP);
3. Caracterização de problemas específicos; e
4. Manutenção preventiva.

Qualidade da Energia Elétrica

1. Verificação de conformidade

- Compara-se um conjunto de parâmetros de qualidade de energia, com **limites estabelecidos por normas**, padrões ou especificações técnicas.

A tensão monitorada em um local específico encontra-se dentro de níveis regulatórios?

Qualidade da Energia Elétrica

2. Análise de desempenho do SEP

- As concessionárias podem identificar rapidamente os problemas de QEE.
- Com a ideia de como os problemas se manifestam, das suas causas, dos seus efeitos e das soluções usuais, torna-se **mais fácil chegar a um diagnóstico**.
- Pode auxiliar, por exemplo, na **orientação para a instalação** de novos consumidores que possuam **processos industriais sensíveis**.

3. Caracterização de problemas específicos

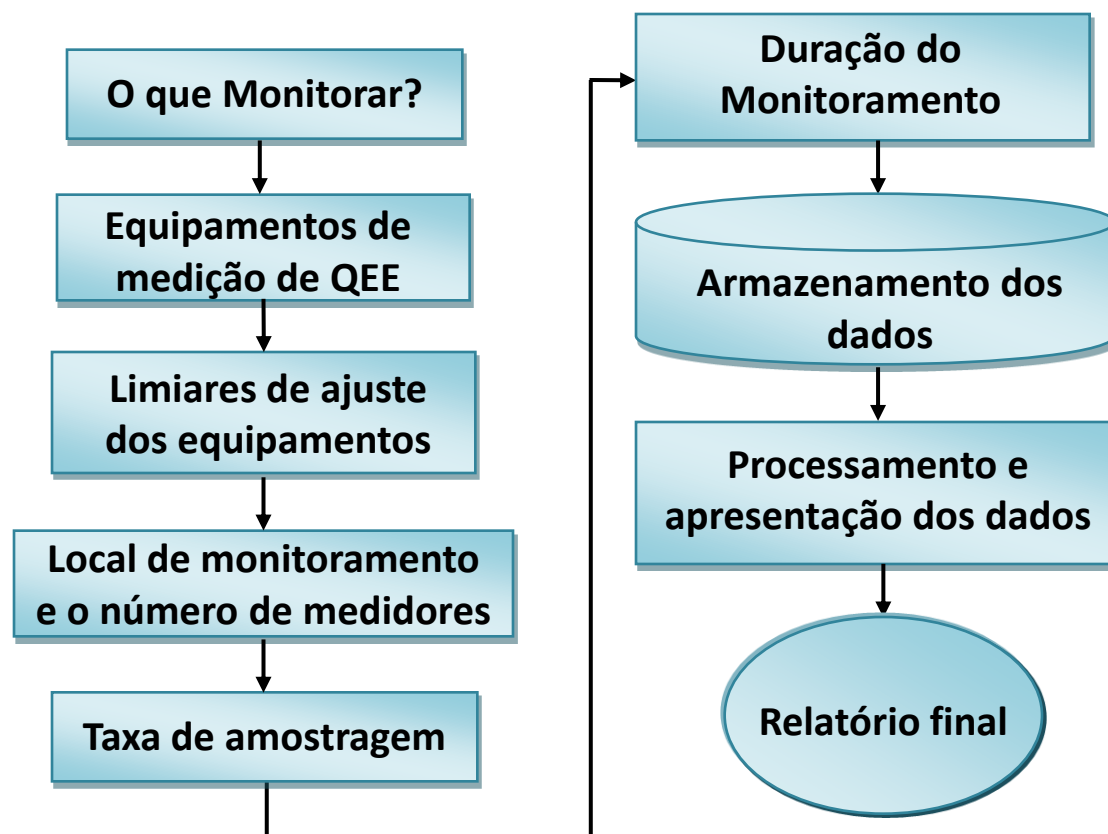
- A caracterização de problemas específicos é usada para descrever a QEE em um lugar específico do sistema, através da realização de **monitoramento de curto prazo**, normalmente, onde se encontram clientes com cargas sensíveis.
- Com a caracterização do problema, identificam-se as causas, para, posteriormente, indicar as soluções.

4. Manutenção preventiva

- Dados da QEE reunidos ao longo do tempo (**histórico**) podem fornecer informações relativas ao desempenho do sistema e/ou de um equipamento em específico.
- A **ocorrência de um mesmo distúrbio repetidamente** pode indicar (acarretar) falha eminente dos equipamentos. Com o monitoramento é possível realizar a **manutenção preventiva** destes equipamentos, evitando maiores problemas decorrentes da falta de QEE.

Qualidade da Energia Elétrica

✓ Aspectos que devem ser considerados

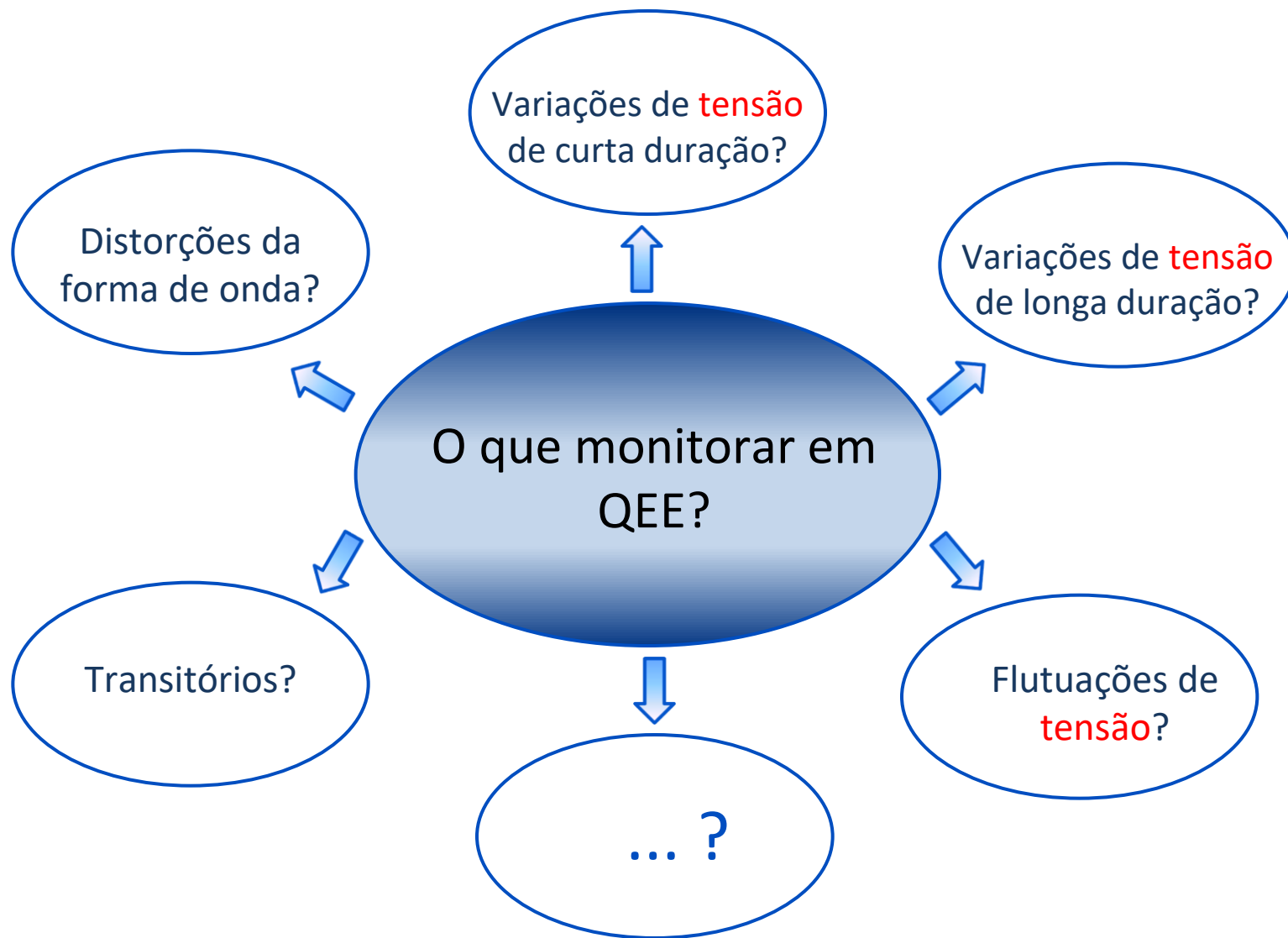


Qualidade da Energia Elétrica

O que monitorar?

- Os métodos de análise de medições de QEE são impulsionados pelo **distúrbio que se deseja observar**.
- Para detectar e quantificar os **afundamentos de tensão**, por exemplo, são necessárias medições dos valores eficazes da **tensão (RMS)** considerando um **longo período de monitoramento** em vários locais do sistema elétrico.
- Para avaliar outros distúrbios, como **distorções harmônicas**, é necessário o **registro da forma (sinal) de onda**.
- As **interrupções** podem ser simplesmente definidas por um **período de tempo**.

Qualidade da Energia Elétrica



Qualidade da Energia Elétrica

Efeitos das VTCDs



Qualidade da Energia Elétrica

Principais causas das VTCDs



Partida ou parada de grandes cargas;



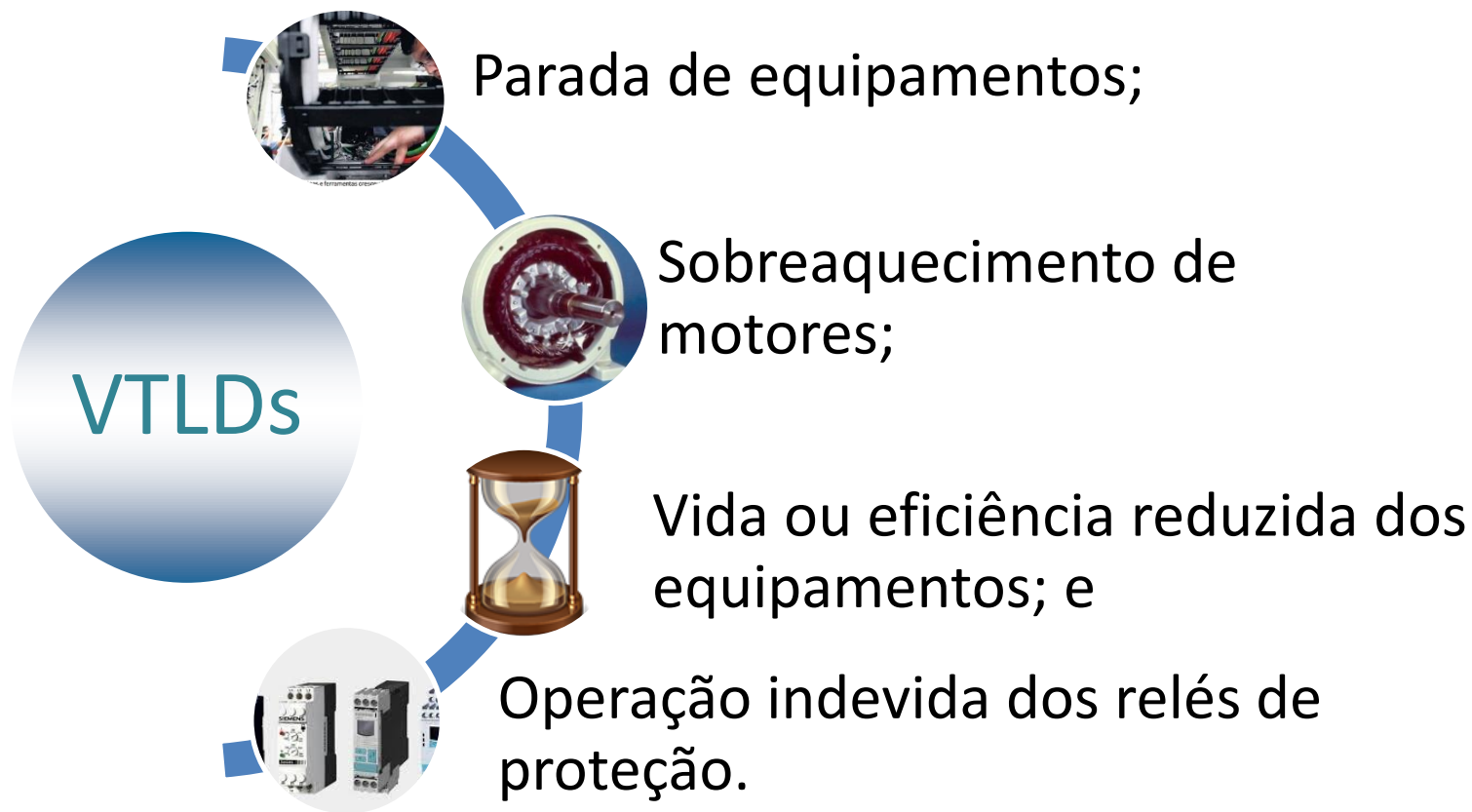
Manobras de rede; e



Condições de defeitos (curtos-circuitos).

Qualidade da Energia Elétrica

Efeitos das VTLDs



Qualidade da Energia Elétrica

Principais causas das VTLDs



Partida ou parada de grandes cargas;



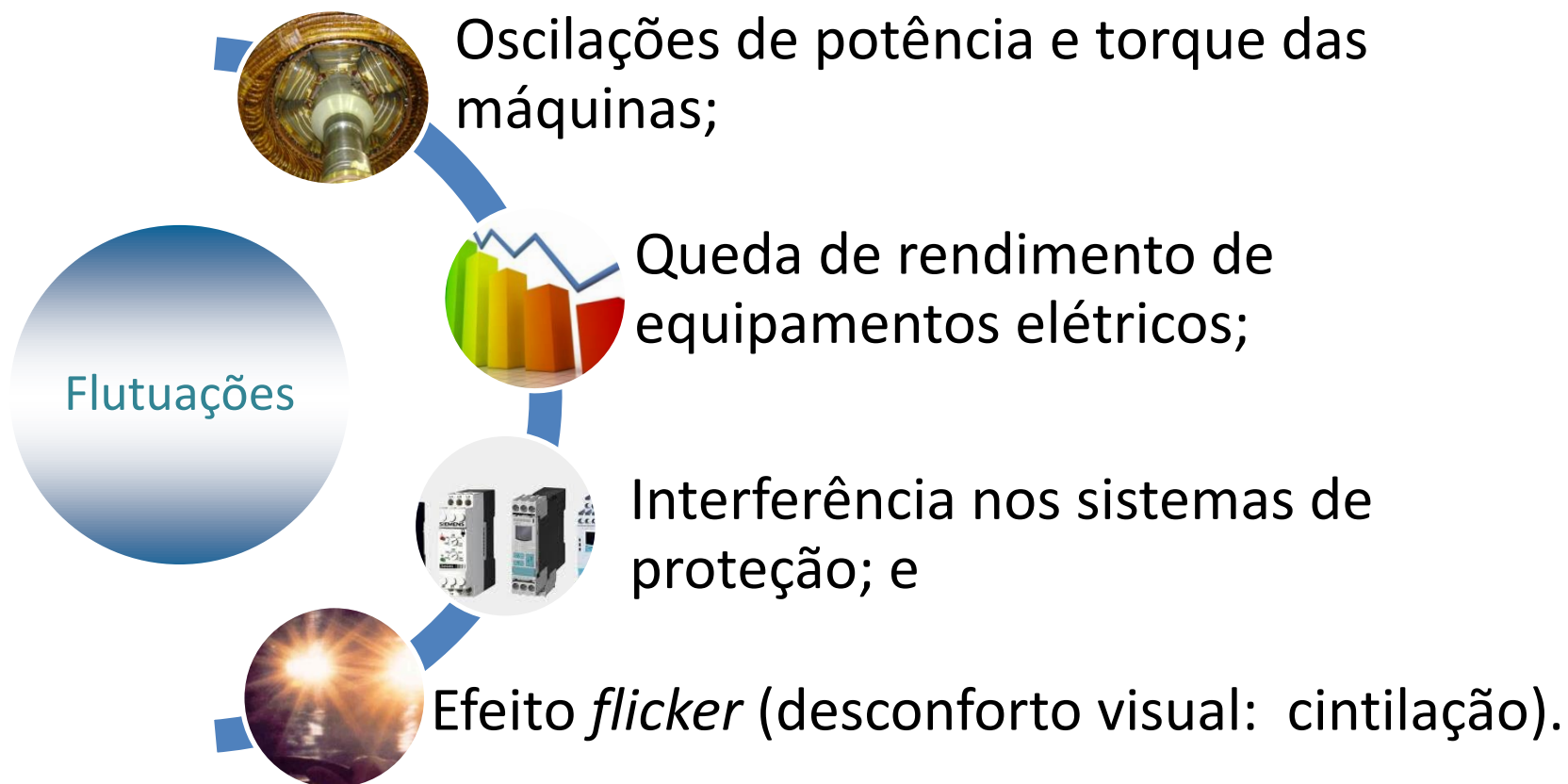
Chaveamento de bancos de capacitores; e



Manutenção programada / ações da natureza.

Qualidade da Energia Elétrica

Efeitos das flutuações de **tensão**



Qualidade da Energia Elétrica

Principais causas das flutuações de **tensão**



Partida direta de grandes motores;



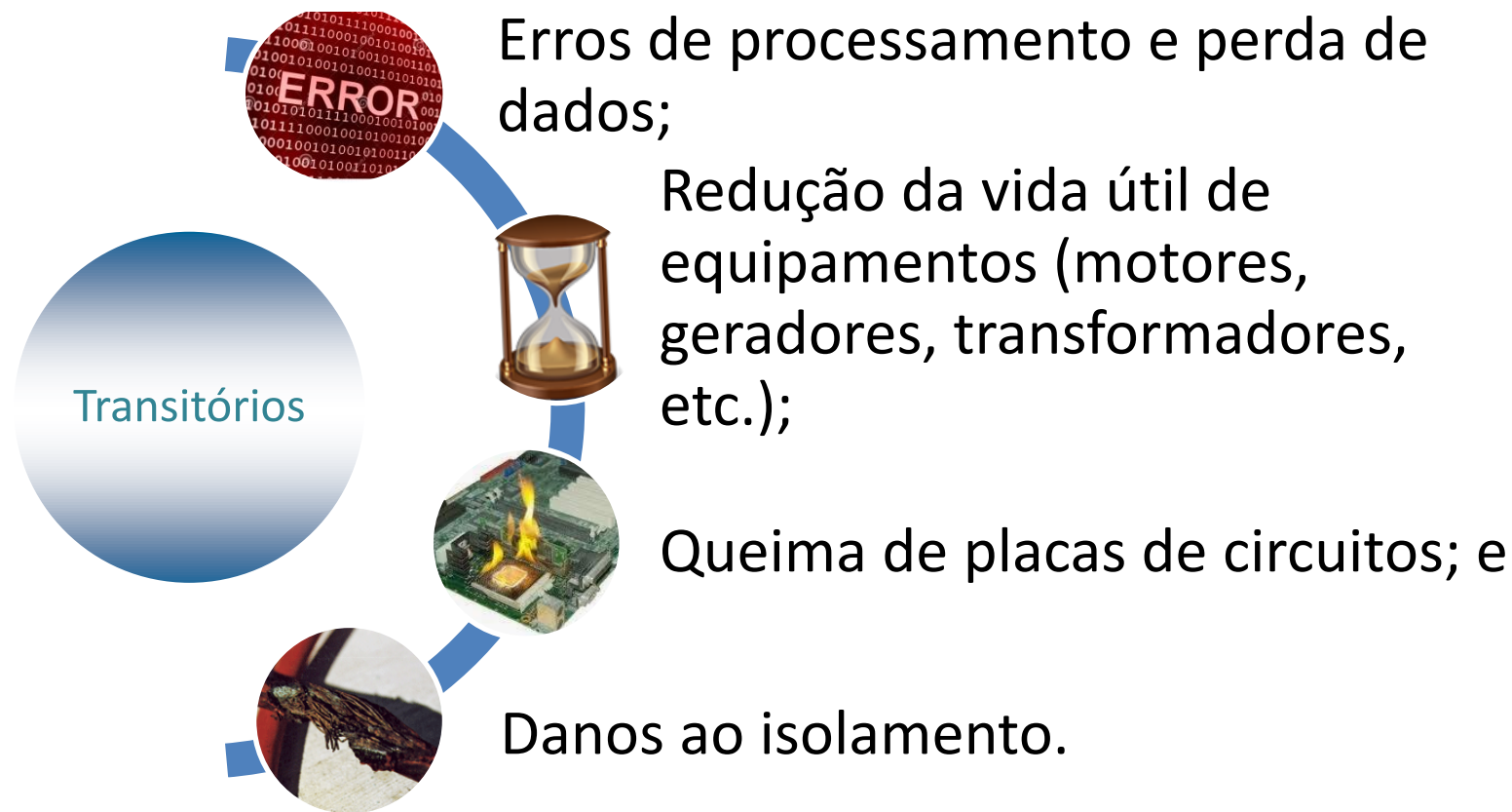
Máquinas de solda; e



Fornos a arco.

Qualidade da Energia Elétrica

Efeitos dos transitórios



Qualidade da Energia Elétrica

Principais causas dos transitórios



Chaveamento de capacitores;

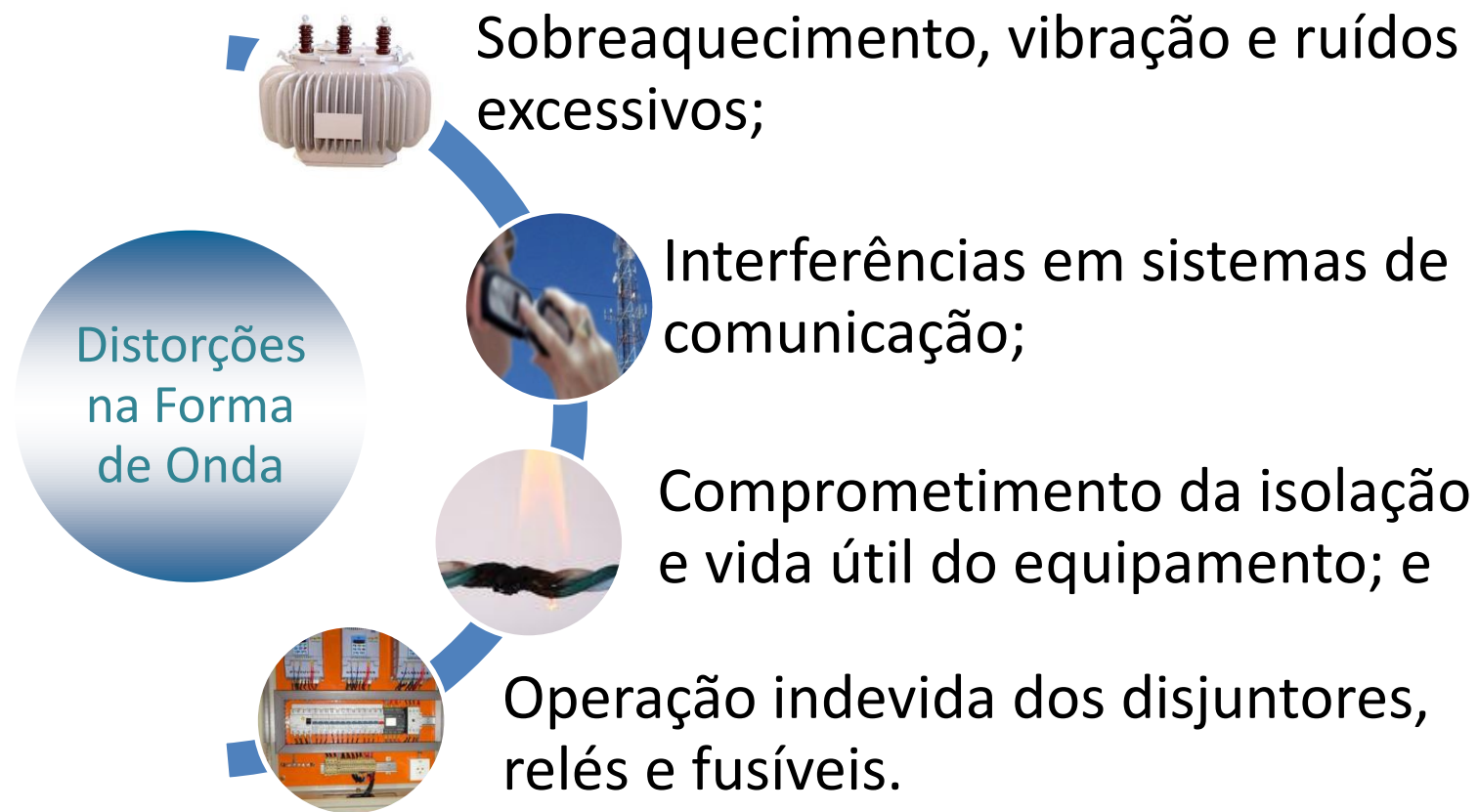


Tempestades (descargas atmosféricas); e



Operação de fusíveis, religadores e disjuntores.

Efeitos das distorções na forma de onda



Qualidade da Energia Elétrica

Principais causas das distorções



Utilização de cargas não lineares;



Fornos a arco, retificadores de meia onda; e



Fontes chaveadas.

Qualidade da Energia Elétrica

Equipamentos de medição de QEE

- Alguns fatores importantes ao selecionar os **instrumentos de medição**:
 - Número de canais (**tensão**/corrente): capacidade de medir **tensões** trifásicas;
 - Robustez do instrumento;
 - Facilidade de uso;
 - Capacidade de comunicação; e
 - *Software* de análise.

Quanto maior o número de funções que podem ser executadas com um único instrumento, menor é o número de medidores necessários (e, usualmente, maior o custo associado).

Qualidade da Energia Elétrica

Equipamentos de medição de QEE

- Multímetros;
- Osciloscópios;
- Analisadores/registradores de perturbação;
- Analisadores de espectro harmônico;
- Medidores de *Flicker*; e
- Monitores/medidores trifásicos de QEE.

Qualidade da Energia Elétrica

Limites de ajuste do medidor

- Os medidores/monitores são parametrizados para **detectar condições anormais de operação**. Portanto, é necessário definir as condições que podem ser consideradas normais.
- A melhor abordagem para a **seleção dos limites** é combiná-los com as **especificações do sistema que é afetado**. Contudo, isto nem sempre é possível, devido a falta de especificações e orientações.
- Os limites apropriados irão depender do distúrbio à ser analisado.

Escolha dos locais de monitoramento

- **Informações representativas:** a melhor opção seria a instalação de monitores em praticamente **todos os locais do sistema**.
- O **monitoramento extensivo** de todos os distúrbios de QEE em vários locais da rede pode ser bastante oneroso: custo associado aos equipamentos + custos de instalação + manutenção + acesso + gerenciamento + processamento das informações (grande volume de dados) = **R\$?**.

Qualidade da Energia Elétrica

Escolha dos locais de monitoramento

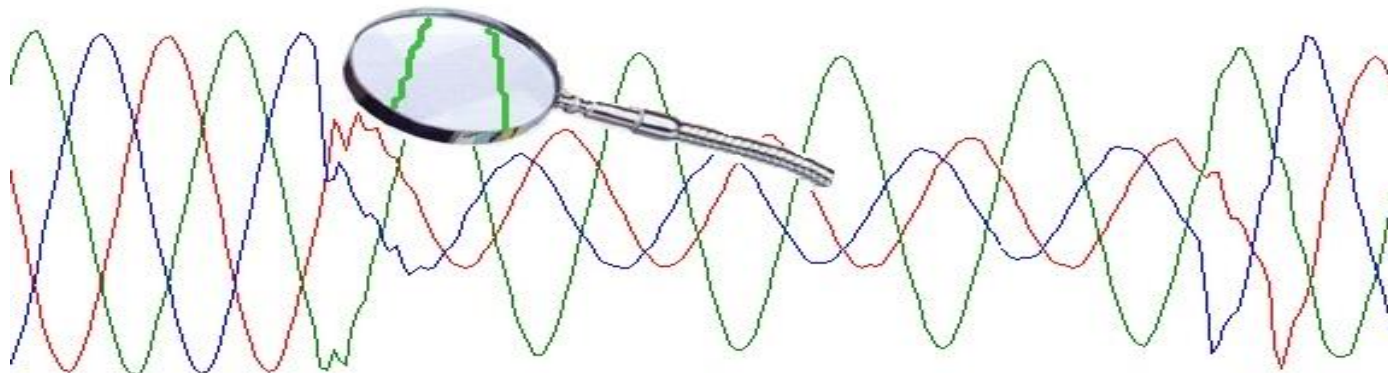
- Medidas tomadas a partir de **localizações estratégicas** podem ser usadas para determinar as características do sistema como um todo, mesmo **utilizando um menor número de monitores**.

As prioridades para o monitoramento devem ser determinadas com base nos objetivos desejados!

Qualidade da Energia Elétrica

Taxa de amostragem

- Dependendo do distúrbio que se deseja monitorar os parâmetros devem ser registrados por específicas taxas/frequências de amostragem.
- Deve ser considerada uma análise sobre uma janela adequada de dados.
- Viabilidade da disponibilização de oscilografias.



Qualidade da Energia Elétrica

Duração do monitoramento

- Problemas de **distorção harmônica** e **flutuações de tensão**: período de **pelo menos uma semana** para obter uma resposta de como as mudanças de carga e como as variações do sistema podem afetar esses níveis.
- **VTCDs: longo período de monitoração**, devido a característica aleatória destes distúrbios (**sistema de monitoramento permanente**).



Qualidade da Energia Elétrica

Armazenamento dos dados

- **Equipamento:** capacidade de armazenamento para registrar e salvar cada ciclo das correntes e **tensões** monitoradas.
- **Sistema de monitoramento:** em função do número de pontos de monitoramento, o **grande volume de dados de medição** que deve ser recolhido torna-se um grande desafio.

Qualidade da Energia Elétrica

Processamento e apresentação dos dados

- Os **usuários finais** dos sistemas de medição/monitoramento (concessionárias ou clientes finais) necessitam de **informações simples e diretas** ao invés de uma grande quantidade de dados oferecidos pelo sistema de monitoramento (monitores instalados).
- As formas distintas de análise dos dados de diferentes distúrbios de QEE têm dificultado o desenvolvimento de procedimentos padrões de medição e a disponibilização de equipamentos específicos para a medição de todos os distúrbios de QEE.

Processamento e apresentação dos dados

- Necessárias **diferentes formas de processar e apresentar os resultados do monitoramento** para diferentes tipos de aplicações e tomadas de decisão.

Os resultados dependem:

- Objetivo do monitoramento;
- Existência de normas regulatórias;
- Duração da campanha de monitoramento;
- Local e do número de monitores instalados;
- Tecnologias para gerenciar e processar os dados; e
- Tecnologias de comunicação.

Qualidade da Energia Elétrica

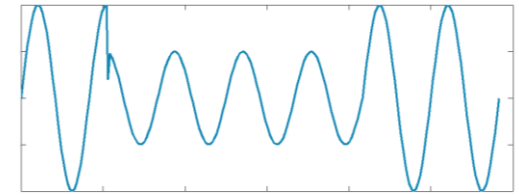
Processamento e apresentação dos dados

- Se o objetivo é o **cumprimento das normas**, os dados provenientes de um número significativo de medições deverão ser apresentados de forma à **demonstrar que o número de violações estão dentro de uma de uma faixa permitida**, evidenciando os **limites de mínimo e de máximo esperados**.



Qualidade da Energia Elétrica

Comparação entre os distúrbios monitorados



	Harmônicas	Afundamentos de tensão
Intervalo médio	10 minutos	
Período de monitoramento	1 semana	1 ano
Período de amostragem	10 ciclos	Cada ciclo, valor RMS
Local do monitoramento	Depende do objetivo de monitoração	
Apresentação dos dados	Espectro harmônico	Tabelas, gráficos, etc.

Qualidade da Energia Elétrica

□ **Considerações finais para um monitoramento eficaz**

1. Conhecer o funcionamento normal de operação do sistema;
2. Conhecer os problemas que o sistema poderá enfrentar, suas causas e consequências;
3. Saber escolher os equipamentos de medição para diagnosticar cada distúrbio;
4. Determinar o número e locais de instalação dos instrumentos de monitoração;
5. Determinar o limiar de disparo para o registro dos eventos;

Qualidade da Energia Elétrica

□ **Considerações finais para um monitoramento eficaz**

6. Determinar o tempo de monitoração;
7. Estabelecer formas de armazenamento, comunicação e envio de dados;
8. Calcular índices de QEE;
9. Fornecer relatórios finais de diagnóstico do problema de forma clara e objetiva; e
10. Se possível, apontar/direcionar soluções para o problema.