



# Qualidade da Energia Elétrica



# **Qualidade da energia elétrica**

Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho  
Ribeiro

© 2015 por Editora e Distribuidora Educacional S.A

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida ou transmitida de qualquer modo ou por qualquer outro meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer outro tipo de sistema de armazenamento e transmissão de informação, sem prévia autorização, por escrito, da Editora e Distribuidora Educacional S.A.

*Presidente: Rodrigo Galindo*  
*Vice-Presidente Acadêmico de Graduação: Rui Fava*  
*Gerente Sênior de Editoração e Disponibilização de Material Didático:*  
*Emanuel Santana*  
*Gerente de Revisão: Cristiane Lisandra Danna*  
*Coordenação de Produção: André Augusto de Andrade Ramos*  
*Coordenação de Disponibilização: Daniel Roggeri Rosa*  
*Editoração e Diagramação: eGTB Editora*

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

R484q Ribeiro, Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho  
Qualidade da energia elétrica / Thatiane Cristina dos Santos de Carvalho Ribeiro. – Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2015.  
176 p.

ISBN 978-85-8482-242-3

1. Energia elétrica - Controle de qualidade. 2. Sistemas de energia elétrica. I. Título.

CDD 621.31

---

2015  
Editora e Distribuidora Educacional S.A  
Avenida Paris, 675 – Parque Residencial João Piza  
CEP: 86041-100 – Londrina – PR  
e-mail: [editora.educacional@kroton.com.br](mailto:editora.educacional@kroton.com.br)  
Homepage: <http://www.kroton.com.br/>

# Sumário

<b>Unidade 1   Fundamentos da qualidade da energia elétrica</b>	<b>7</b>
Seção 1.1 - Introdução à qualidade da energia elétrica	9
Seção 1.2 - Termos e definições	19
Seção 1.3 - Transitórios	31
Seção 1.4 - Sags de tensão ou afundamento de tensão	41
<b>Unidade 2   Fatores que afetam a qualidade de energia</b>	<b>53</b>
Seção 2.1 - Sobretensões	55
Seção 2.2 - Princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões	63
Seção 2.3 - Sobretensões em manobras em bancos de capacitores e dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos	71
Seção 2.4 - Fundamentos de harmônicos e distorções harmônicas de tensão e corrente	77
<b>Unidade 3   Medição dos parâmetros de qualidade da energia</b>	<b>91</b>
Seção 3.1 - Índices harmônicos e sistema inter-harmônicos	93
Seção 3.2 - Variação de tensão de longa duração e princípios e dispositivos de regulação de tensão	101
Seção 3.3 - Emprego de bancos de capacitores para a regulação de tensão	109
Seção 3.4 - Avaliação da qualidade da energia e o processo de avaliação de índices de tensão eficaz	119
<b>Unidade 4   Monitoramento e ações para manutenção da qualidade da energia elétrica</b>	<b>129</b>
Seção 4.1 - Inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico	131
Seção 4.2 - Aterramento aplicado à qualidade da energia elétrica	139

Seção 4.3 - Monitoramento da qualidade da energia elétrica _____	147
Seção 4.4 - Equipamentos e normas para medição da qualidade da energia elétrica _____	157

# Palavras do autor

O conceito de qualidade da energia elétrica está ligado ao conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico e qualquer problema de energia manifestado nos valores de tensão, corrente ou nas variações de frequência que resulte em falha ou má operação de equipamentos. Essas alterações podem se desenvolver em diversas partes do sistema elétrico, como instalações dos usuários e/ou no sistema da concessionária de eletricidade.

Para erradicar ou minimizar os problemas em dispositivos que funcionam através de fontes de energia que se criou o conceito de qualidade de energia. É relevante em aplicações críticas em todas as condições operacionais.

Instabilidades, oscilação, surtos e transientes além dos limites operacionais dos sistemas podem ser medidos na energia elétrica comercial. Ocorre, pois há alterações na demanda da transmissão de energia elétrica, e é causada por falhas de projeto ou por novas necessidades de conversão dos consumidores na rede elétrica.

Problemas na qualidade da energia elétrica por diversas razões podem ser agravadas e podemos destacar duas, as instalações de cargas não lineares e a maior sensibilidade dos equipamentos eletrônicos aos distúrbios gerados em fontes de alimentação elétrica. (ALDABÓ, 2001)

Na unidade 1, vamos apresentar os Fundamentos da Qualidade da energia, o conceito da qualidade da energia e a motivação para o estudo da qualidade da energia. Na unidade 2, estudaremos os Fatores que afetam a qualidade da energia, os principais distúrbios na qualidade da energia elétrica. Na unidade 3, a Medição dos Parâmetros de Qualidade da Energia Elétrica são abordados, os índices harmônicos e o emprego de banco de capacitores para a regulação de tensão. Na Unidade 4, o Monitoramento e as Ações para Manutenção da Qualidade da Energia são explicados nesta unidade.

Vamos começar?



## FUNDAMENTOS DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

### Convite ao estudo

Nos últimos anos, utiliza-se “Qualidade da Energia Elétrica” no setor elétrico, e expressar para definir as características mais variadas da energia elétrica que é entregue pelas concessionárias de energia elétrica aos consumidores.

A qualidade da energia elétrica é definida como uma medida que pode ser utilizada pelos consumidores. Algumas características são importantes quando se estuda a qualidade da energia como a continuidade de suprimento e de conformidade com certos parâmetros considerados desejáveis para a operação segura, tanto do sistema supridor como das cargas elétricas.

Com o estudo, você poderá conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Os objetivos de aprendizagem da unidade são entender os Conceitos Básicos da Qualidade da Energia; aprender os termos e definições aceitas no setor energético referentes a qualidade da energia; estudar os transitórios que são as variações de energia do sistema de energia; conhecer as sags de tensão e como se comportam nas cargas aplicadas.

Você é funcionário da Concessionária de Energia “Luz Norte & Sul” e é o relator responsável do Relatório Semestral de Qualidade da Energia Elétrica. Os problemas, as condições locais, os sintomas e o dimensionamento dos problemas sobre a Qualidade da Energia devem ser mencionados no relatório Semestral. Essas análises serão necessárias para os outros departamentos da Concessionária tomarem decisões e melhorem a Qualidade da Energia do Setor Energético.

Como esses dados poderão auxiliar a melhoria da Qualidade da Energia fornecida pela Concessionária? Como podemos identificar os problemas ocasionais do setor energético?

Figura 1.1 | Sistema de energia elétrica



Fonte: Zero Hora.

# Seção 1.1

## Introdução à qualidade da energia elétrica

### Diálogo aberto

A Qualidade da Energia Elétrica é usada para expressar as características da energia elétrica que são entregues pela concessionárias de energia elétrica aos consumidores. Esses parâmetros são medidas que podem ser usadas pelos consumidores. A continuidade de suprimento fornecido pela concessionária de energia elétrica e os parâmetros que são desejáveis para uma operação segura de cargas elétricas compõem a Qualidade da Energia.

A Qualidade da Energia Elétrica viabiliza a disponibilização de energia elétrica ao consumidor final. O consumidor prefere ter uma energia elétrica de qualidade e com um custo acessível, ou seja, o mais baixo possível. O monitoramento e análise da energia elétrica exercem o papel de fornecer as informações para o próprio mercado sobre as condições de operação e o fornecimento da energia.

Nessa seção, você terá conteúdos introdutórios sobre a Qualidade da Energia Elétrica. Isso lhe a conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. O objetivo de aprendizagem desta seção é entender os conceitos básicos da qualidade da energia elétrica.

Você é funcionário da Concessionária de Energia “Luz Norte & Sul” e é o relator responsável do Relatório Semestral de Qualidade da Energia Elétrica. Os problemas, as condições locais, os sintomas e o dimensionamento dos problemas sobre a Qualidade da Energia devem ser mencionados no relatório Semestral. Essas análises serão necessárias para os outros departamentos da Concessionária tomarem decisões e melhorem a Qualidade da Energia do Setor Energético.

Como ponto de partida do Relatório Semestral, você deverá compor uma justificativa para o monitoramento da qualidade da energia elétrica. Faça o levantamento dos principais motivos para o monitoramento.

## Não pode faltar

### A Qualidade da Energia Elétrica



#### Assimile

A qualidade da energia elétrica é definida como uma medida que pode ser utilizada pelos consumidores. Algumas características são importantes quando se estuda a qualidade da energia, como a continuidade de suprimento e de conformidade com certos parâmetros considerados desejáveis para a operação segura, tanto do sistema supridor como das cargas elétricas.

Nos últimos anos, o termo "Qualidade da Energia Elétrica" virou uma gíria no setor elétrico, e expressar as características mais variadas da energia elétrica que é entregue pelas concessionárias de energia elétrica aos consumidores.

Os parâmetros que podem ser considerados na qualidade da energia são: as distorções harmônicas, as flutuações de tensão, as variações de tensão de curta duração, o desequilíbrio de sistemas trifásicos e os transitórios rápidos.

A reformulação do setor elétrico fez com que surgisse a preocupação com a qualidade da energia, e viabilizar a implantação de um mercado consumidor do produto que é a própria energia elétrica. O consumidor sempre prefere receber uma energia de melhor qualidade com um custo mais baixo possível. É nesse contexto que as operadoras de sistemas elétricos são estimuladas pelas agências reguladoras, no caso do Brasil a ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. O próprio mercado também força as operadoras a prestarem informações sobre as condições de operação e fornecimento de energia segundo alguns eventos ocorridos e que afetam os consumidores. O monitoramento e análise da energia exercem o papel de fornecer tais informações. (ANEEL, 2015).

A eletricidade se tornou um recurso tão essencial para o funcionamento da sociedade que precisa ter qualidade, pois todas as atividades necessitam utilizá-la sem que haja interferência ou interrupções.

Alguns problemas como uma variação luminosa devido à uma má regulação da tensão até a interferência em alguns equipamentos são problemas que a Qualidade da Energia trata.

O resultado que o problema da avaliação e o controle da qualidade da energia pode gerar problemas que vai desde um sobreaquecimento de máquinas elétricas até

interrupções momentâneas de tensão, devido a curto-circuito de difícil prevenção.

Os objetivos e os indicadores de qualidade da energia estão cada vez mais em pauta pelos países que têm predominância nas fontes primárias de energia elétrica, são elas a energia hidráulica, a térmica, eólica e solar. Para cada fonte há um tipo de indicador de qualidade da energia. De um país para outro, as normas têm uma variação e fica mais difícil estabelecer uma padronização de critérios de qualidade da energia elétrica. No Brasil, há o Grupo de Qualidade de Energia Elétrica (GQEE).

### Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica

Se um equipamento para de funcionar como devia, podemos ver alguns problemas relacionados à qualidade da energia, por exemplo, se uma lâmpada ficar piscando por vibrações luminosas.

O número de problemas devido à qualidade da energia vem aumentando nos últimos anos e o que preocupa é que os custos sobem proporcionalmente ao número dos problemas, pois precisa-se estabelecer medidas para saná-los.

Passos para o monitoramento da qualidade da energia elétrica



#### Refleta

A monitoração das grandezas elétricas em sistemas elétricos objetiva avaliar a confiabilidade do sistema e a qualidade da energia distribuída. Os sistemas elétricos estão deixando de ser sistemas eletromecânicos e se transformando em sistemas eletroeletrônicos. Essa transformação, que tem contribuído para o aumento da produtividade industrial e para o uso mais eficiente da energia elétrica, tornou mais rígidos os requisitos de Qualidade para a Energia Elétrica. (ANEEL,2015).

Para diagnosticar problemas de qualidade de energia, algumas questões devem ser levantadas pelo técnico:

1. Qual é o problema que será enfrentado?
2. Quais são as condições locais em que esse problema se manifesta?
3. Como medir e registrar as grandezas dos sintomas do problema?
4. Como será a análise dos dados e o confronto dos resultados obtidos com estudos e simulações das condições encontradas?
5. Qual é o diagnóstico do problema? Qual é a sua possível causa? Qual é a solução proposta?

Para responder cada pergunta, é necessário ter um conhecimento ou um estudo específico para tratar de conhecer os possíveis problemas. Para levantar as hipóteses, é necessário conhecer as condições locais. Os instrumentos de medida e os locais mais adequados também devem ser escolhidos de forma correta para conseguir detectar o problema e qualificá-lo.



### Exemplificando

Um exemplo sobre a escolha correta dos instrumentos de medida:

Se os osciloscópios rápidos estiverem com o nível de *trigger* não ajustado corretamente, os surtos rápidos de sobretensão podem passar despercebidos.



### Pesquise mais

Caro aluno, o documento disponível no *link*: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8\\_Revis%C3%A3o\\_4.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/M%C3%B3dulo8_Revis%C3%A3o_4.pdf)>. (Acesso em: 15 jun. 2015), traz os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – Módulo da Qualidade da Energia.

O fato é que no passado os problemas por má qualidade da energia não eram tão significativos, não eram uma preocupação muito grande. Os equipamentos eram mais robustos, não tão sensíveis aos efeitos das falhas no fornecimento. As concessionárias e os consumidores, com o passar dos anos e com o desenvolvimento tecnológico, especialmente, da eletrônica de potência, passaram a ficar mais preocupados com a qualidade da energia.

A qualidade da energia se justifica pelos seguintes motivos:

- A sensibilidade dos equipamentos, são feitos à base de microprocessadores e dispositivos eletrônicos que são sensíveis aos distúrbios da rede de distribuição;
- O racionamento e a conservação da energia passaram a ser visto com grande interesse a fim de se otimizar a sua utilização, isso aumenta as distorções harmônicas e as condições de ressonância;
- Os fenômenos de qualidade da energia passaram a ser mais vistos pelos consumidores que percebem mais os fenômenos como as interrupções e passaram a exigir mais qualidade da energia da concessionária;
- Qualquer falha tem grande consequência uma vez que o sistema elétrico é um sistema integrado;

- Os componentes elétricos têm a vida útil influenciada diretamente pela qualidade da energia elétrica.



### Faça você mesmo

Elenque quais são os passos para o Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica.



### Vocabulário

**Trigger** – instrumento irá parar cada vez que a varredura chegue no extremo direito da tela e retornar de volta ao lado esquerdo da tela.

**Aliasing** – vazamento espectral causado pelo truncamento do sinal amostrado.

## Sem medo de errar

Como ponto de partida do Relatório Semestral, você deverá compor uma justificativa para o monitoramento da qualidade da energia elétrica. Faça o levantamento dos principais motivos para o monitoramento.

A qualidade da energia se justifica pelos seguintes motivos:

- A sensibilidade dos equipamentos, são feitos à base de microprocessadores e dispositivos eletrônicos que são sensíveis aos distúrbios da rede de distribuição;
- O racionamento e a conservação da energia passaram a ser visto com grande interesse a fim de se otimizar a sua utilização, isso aumenta as distorções harmônicas e as condições de ressonância;
- Os fenômenos de qualidade da energia passaram a ser mais vistos pelos consumidores que percebem mais os fenômenos como as interrupções e passaram a exigir mais qualidade da energia da concessionária;
- Qualquer falha tem grande consequência uma vez que o sistema elétrico é um sistema integrado;
- Os componentes elétricos têm a vida útil influenciada diretamente pela qualidade da energia elétrica.



### Atenção!

As perturbações que comprometem a qualidade da energia são divididas em 3 categorias:

- Grandes perturbações, que causam interrupção no fornecimento de energia em uma grande área;
- Pequenas perturbações, que causam interrupções em áreas localizadas;
- Perturbações escondidas, que não causam interrupções no fornecimento.

### Avançando na prática

Pratique mais!	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com a de seus colegas.</p>	
Monitoramento da Qualidade da Energia	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Entender os conceitos básicos da qualidade da energia elétrica.
3. Conteúdos relacionados	Introdução à Qualidade da Energia de Elétrica.
4. Descrição da SP	O Ministério responsável pelas ações de Geração e Distribuição de Energia Elétrica pretende, nos próximos anos, avaliar uma usina hidrelétrica no estado do Pará, para integrá-la a Companhia do Norte. A expectativa é que a energia produzida abasteça o estado todo, depois de uma possível expansão. O Ministério abriu licitação para a contratação de um especialista em Qualidade da Energia Elétrica. O objetivo do trabalho é entregar um levantamento sobre os aspectos relevantes à Qualidade da Energia Elétrica. É necessário um plano de trabalho que será avaliado pela comissão de contratação do Ministério. (Utilize o escopo do diagnóstico apresentado na seção).
5. Resolução da SP	O plano de trabalho para o acompanhamento da Qualidade da Energia gerada pela nova Hidrelétrica inclui: 1. Conhecer os problemas que se poderá enfrentar; 2. Estudar as condições locais onde o problema se manifesta; 3. Medir e registrar as grandezas contendo os sintomas do problema; 4. Analisar os dados e confrontar os resultados obtidos com estudos ou simulações; 5. Diagnosticar o problema, sua possível causa e propor soluções.



### Faça você mesmo

Quais são os objetivos do Monitoramento da Qualidade da Energia Elétrica?

### Faça valer a pena

Avaliação direcionada à compreensão dos aspectos conceituais dos conteúdos (Cinco questões objetivas e duas questões discursivas de caráter conceitual).

**1.** Quais são as características importantes da qualidade da energia?

- a) Continuidade de suprimento e a conformidade dos parâmetros para uma operação segura.
- b) Medições do sistema supridor de cargas elétricas.
- c) Medidas feitas pelos consumidores.
- d) Medições de tensões pela operadora.
- e) Desequilíbrios entre as medições.

**2.** Dos parâmetros abaixo, apenas um não é considerado parâmetros de Qualidade da Energia. Assinale essa alternativa.

- a) As Distorções harmônicas.
- b) As Flutuações de tensão.
- c) As Variações de tensão de curta duração.
- d) Os Transitórios rápidos.
- e) As medições nos usuários

**3.** Assinale a alternativa que mostra um dos problemas encontrados no controle da qualidade da energia.

- a) Superresfriamento de máquinas.
- b) Motores em equilíbrio.
- c) Oscilações de potência sustentadas entre a carga e a rede.
- d) Operação com cargas lineares.
- e) Tensão estabilizada no fornecimento.

**4.** Qual problema mais comum que ocorre quando há problemas com a qualidade da energia?

- a) Funcionamento das máquinas sem controle.
- b) Instabilidade de algumas peças das máquinas.
- c) Doenças não curáveis dos funcionários.
- d) Prejuízos materiais como diminuição de vida útil dos aparelhos e máquinas.
- e) Doenças por esforços repetitivos.

**5.** A longo prazo, qual será o efeito se as medidas preventivas não forem tomadas?

- a) Doenças não tratáveis.
- b) Aumento excessivo dos custos.
- c) Mau funcionamento de máquina.
- d) Diminuição efetiva da energia elétrica.
- e) Instabilidade da rede de alimentação.

**6.** Quais são os passos que o diagnóstico deve ter para diagnosticar um problema relativo à qualidade da energia elétrica?

**7.** Quais são os principais motivos na área do desenvolvimento tecnológico que leva a pesquisa da Qualidade da Energia elétrica?





## Seção 1.2

### Termos e definições sobre qualidade da energia elétrica

#### Diálogo aberto

Na seção anterior, vimos uma introdução sobre Qualidade da Energia Elétrica, os principais motivos para o monitoramento da qualidade e o objetivo principal para o monitoramento.

Nesta seção, estudaremos as definições e os termos que são utilizados para a Qualidade da Energia Elétrica. Os tipos de distúrbios são abordados de maneira que possamos identificar as principais causas, os efeitos e as soluções.

Na ótica do consumidor, talvez seja mais simples e adequado utilizarmos simplesmente a palavra “distúrbios” para englobar todos os fenômenos que afetam a qualidade da energia. Esses “distúrbios” podem ter origem na energia elétrica entregue pela concessionária de energia ou na rede interna de distribuição (incluindo equipamentos ali instalados) do próprio consumidor.

A competência geral da unidade curricular Qualidade da Energia Elétrica é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Já o objetivo de aprendizagem desta seção é aprender os termos e definições aceitos no setor energético referentes à qualidade da energia.

Como vimos na seção anterior, você é funcionário da Concessionária de Energia “Luz Norte & Sul”, a subestação é mostrada na figura 1.2, e é o relator responsável do Relatório Semestral de Qualidade da Energia Elétrica. Os problemas, as condições locais, os sintomas e o dimensionamento dos problemas sobre a Qualidade da Energia devem ser mencionados no relatório Semestral. Essas análises serão necessárias para os outros departamentos da Concessionária tomarem decisões e melhorem a Qualidade da Energia do Setor Energético.

Para o relatório, é necessário que você crie uma tabela com os tipos de distúrbios e as principais causas e efeitos para cada um deles.

Figura 1.2 | Subestação



Fonte: Disponível em: <<http://onlinecomunicacoes.syscall.ws/img/179568/energia-eletrica-subestacao.jpg>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

## Não pode faltar

### Termos e definições

Essa seção apresenta as definições aceitas para muitos dos termos encontrados na literatura nacional e internacional relacionados à qualidade da energia. Esta apenas se refere às definições básicas, tendo como intuito de apenas despertar ou formar uma ideia inicial a respeito do assunto.

Termos como os que seguem são empregados em uma variedade de diferentes documentos e estão frequentemente sujeitos a confusões.

Definições mais precisas, quando convenientes, serão posteriormente apresentadas.

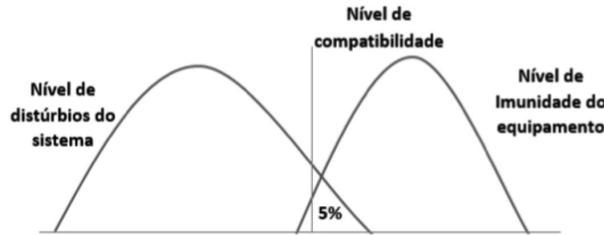
Conheceremos um pouco sobre Compatibilidade Eletromagnética.

Distúrbio eletromagnético – fenômeno que pode diminuir a performance de um equipamento, sistema ou dispositivo.

Interferência eletromagnética (IEM) é causado por um distúrbio eletromagnético e degrada a performance de um dispositivo, sistema ou equipamento.

Compatibilidade eletromagnética (CEM) mede a capacidade de um sistema, equipamento ou dispositivo de funcionar em um ambiente eletromagnético.

Figura 1.3 | Níveis de Distúrbios Eletromagnéticos



Fonte: Adaptado por Dias (2002).

Há três níveis de distúrbios eletromagnéticos, mostrados na Figura 1.3: nível de emissão, nível de imunidade e nível de compatibilidade. O primeiro é o nível de distúrbio eletromagnético emitido por um dispositivo, equipamento ou sistema medido segundo uma dada especificação. O segundo é o nível máximo de distúrbio incidente sob certas condições de um dispositivo, sistema ou equipamento sem que haja prejuízos de operação. O terceiro é o nível que é usado como referência para a coordenação dos níveis de emissão e de imunidade dos equipamentos, sistemas ou dispositivos. A figura mostra como os três níveis se relacionam.

### Definições

A tabela mostra outros termos e definições que estão relacionadas com a qualidade da energia.

Termo	Definição
Afundamento ( <i>Dip</i> ou <i>Sag</i> )	Qualquer decréscimo na tensão de pequena duração (menor do que 1 minuto).
Carga Crítica ( <i>Critical Load</i> )	Dispositivos ou equipamentos identificados como importantes ou essenciais para a segurança de pessoas ou para a situação econômica do comércio/indústria.
Distorção da Forma de Onda ( <i>Waveform Distortion</i> )	Qualquer variação na qualidade da energia representada nas formas de ondas das tensões e correntes trifásicas.
Distorção Harmônica ( <i>Harmonic Distortion</i> )	Alteração na forma padrão da tensão ou corrente (onda senoidal) devido a um equipamento gerando frequências diferentes das de 60 ciclos por segundo.
Elevação ( <i>Swell</i> )	Qualquer aumento de tensão de pequena duração (menor do que um minuto).
Interrupção ( <i>Interruption</i> ou <i>Outage</i> )	Completa perda da energia elétrica.
Interrupção Momentânea ( <i>Momentary Outage</i> )	Uma pequena interrupção na energia permanecendo entre 1/30 (dois ciclos) de um segundo a 3 segundos.

Distúrbio ( <i>Disturbance</i> )	Uma variação de tensão. Comumente, após a operação incorreta de determinado equipamento elétrico, por razões desconhecidas, o seu mal funcionamento será relacionado ao distúrbio de tensão.
Oscilação ou Tremulação ( <i>Flicker</i> ):	Variação de tensão de pequena duração, mas longa o necessário para ser percebida pelos olhos humanos como uma oscilação de tensão.
Ruído ( <i>Noise</i> ):	Qualquer sinal elétrico indesejado de alta frequência que altera a forma de tensão padrão (onda senoidal).
Sobretensão ( <i>Overvoltage</i> )	Aumento do nível de tensão acima do normal (10% ou mais), com duração superior a um minuto.
Subtensão ( <i>Drop ou Undervoltage</i> )	Queda ou diminuição de tensão devido à partida de grandes motores ou perda de alimentadores ou transformadores sob carga. Algumas vezes é empregado para descrever afundamentos de tensão (voltage sags) ou subtensões (undervoltages).
Tensão Nominal ou Normal ( <i>Nominal ou Normal Voltage</i> )	Tensão nominal ou normal contratada para um sistema de determinada classe de tensão.
Transitório ( <i>Transient, Spike ou Surge</i> )	Um aumento inesperado no nível de tensão que tipicamente permanece por menos do que 1/120 de um segundo.

## Causas dos distúrbios



### Assimile

Quando os distúrbios que ocorrem nos sistemas podem provocar inúmeras interferências indesejáveis, como acionamentos indevidos de relés, mau funcionamento de equipamentos sensíveis, distorções em equipamentos de medição, podendo ocorrer à interrupção do fornecimento de energia, há prejuízos tanto para às concessionárias quanto para os consumidores.

Alguns distúrbios relacionados à qualidade da energia originam-se do próprio sistema da empresa. No entanto, as causas desses distúrbios estão, geralmente, além do controle das empresas. Como por exemplo, ações provocadas pela ação da natureza como: relâmpagos, contato de galhos de árvores, ventos fortes, contatos de animais, gelo, etc. Além desses, temos os eventos de causas aleatórias como: atividades de construção, acidentes envolvendo veículos motores, falhas de equipamentos. Somando-se, ainda, as operações normais da empresa como chaveamentos, operações com bancos de capacitores e atividades de manutenção também podem gerar situações que venham a provocar determinados distúrbios sobre o sistema.

Para limitar esses tipos de distúrbios sobre o sistema a um menor número possível de clientes, o sistema de distribuição das empresas emprega um considerável número de dispositivos tais como circuitos disjuntores, circuitos automáticos de religamento, barramentos e seccionadores para auxiliar no isolamento do defeito.

Um das grandes percentagens dos distúrbios relacionados à qualidade da energia, na realidade, originam-se, de uma maneira geral, de dentro das instalações industriais/comerciais.

Dos distúrbios originados de dentro das instalações dos usuários, podemos destacar como principais fontes:

a) nas instalações comerciais: os sistemas de aquecimento ou resfriamento de motores; elevadores; refrigeradores, lâmpadas fluorescentes; condutores inadequados e aterramentos impróprios; maquinário de escritório (copiadoras, fax, impressoras a laser, etc.); circuitos sobrecarregados e interferência magnética;

b) nas instalações industriais: reguladores de velocidade ajustável; capacitores para correção do fator de potência; motores elétricos de grande porte; geradores de emergência; condutores inadequados e aterramentos impróprios; circuitos sobrecarregados e interferência magnética.



### Refleta

De maneira geral, os distúrbios da Qualidade da Energia Elétrica (eventos) se manifestam como deformidades na forma de onda da tensão e corrente em um sistema elétrico de potência. Essas deformidades, frequentemente referidas como problemas de Qualidade da Energia Elétrica, afetam significativamente as indústrias em diversos aspectos (ARRILLAGA et al., 2000).

Os distúrbios de energia podem ser originados tanto nos sistemas e/ou equipamentos das empresas concessionárias como dos consumidores. Esses distúrbios podem ser classificados em categorias que podem variar quanto ao efeito, duração e intensidade.

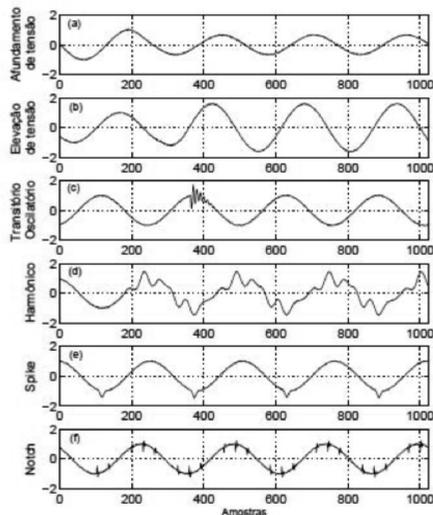
São categorias de distúrbios:

**Interrupção de Energia:** total interrupção do fornecimento de energia, interrupção momentânea de 0,5 a 3 segundos, interrupção temporária de 3 segundos a 1 minuto, interrupção permanente: superior a 1 minuto. Possíveis causas são acidentes, ações da natureza, os quais requerem a devida operação dos equipamentos da concessionária (fusíveis, religadores, etc), curto circuitos internos requerendo a devida operação de disjuntores e fusíveis ao nível do consumidor. Os efeitos que este tipo de interrupção pode provocar é a saída e/ou queda do sistema, perda de memória de controladores e computadores, avaria do *hardware* e avaria de produtos. As soluções para este tipo de interrupção é o Suprimento de Força ou Energia Ininterrompível.

Transitório: alterações súbitas nas formas CA, resultando um abrupto, mas breve aumento da tensão. São causados por tempestades (relâmpagos), operação de fusíveis, religadores e disjuntores da concessionária e as causas internas são a entrada ou saída de grandes equipamentos e chaveamento de capacitores. São efeitos desse distúrbio erros de processamento e perda de dados, queima de placas de circuitos, danos ao isolamento e avarias nos equipamentos elétricos. São soluções para este tipo de distúrbio os para-raios, *Uninterruptible Power Supply* (UPS), Transformadores de isolamento e os Transformadores de tensão constante.

*Brownout* (semi-apagão): outro tipo de anomalia comum, o brownout é caracterizado pela drástica diminuição da tensão eficaz da rede elétrica por um período de tempo relativamente longo. Causado por problemas no fornecimento da concessionárias e redes elétricas sobrecarregadas. Tem como efeito ímã inoperância da carga com possível queima dos equipamentos.

Figura 1.4 | Tipos de Distúrbios



Fonte: Disponível em: <<http://www.scielo.br/img/revistas/ca/v20n1/a05fig02.jpg>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

Surtos de Tensão (*Spike*): o surto de tensão também chamado spike é caracterizado pelo drástico aumento de tensão instantânea da rede elétrica (picos de tensão). As causas normalmente são descargas atmosféricas. O efeito deste distúrbio é a queima de placas de computadores e de rede, HD, fontes de alimentação, hubs, fiação de rede e telefone.

Afundamentos de Tensão (SAG): é caracterizado pela redução momentânea do valor eficaz da tensão da rede elétrica. Geralmente é causado por curtos-circuitos na rede elétrica e chaveamento de equipamentos que demandam altas quantidades de

energia. Os efeitos desse distúrbio são o mau funcionamento da carga (travamento, "reset" do equipamento e perda de dados).

**Ruído:** sinal elétrico de alta frequência indesejável que altera a forma de onda de tensão convencional (forma senoidal). Possíveis causas para esse tipo de distúrbio: interferência da transmissão de rádio ou televisão, operação de equipamentos eletrônicos, perda de dados e erros de processamento e a recepção distorcida de áudio e vídeo. As possíveis soluções são *Uninterruptible Power Supply* (UPS), Transformadores de isolamento e os filtros de linha.

**Distorção Harmônica:** alteração no padrão normal da tensão (forma senoidal) devido a equipamentos gerando frequências diferentes das de 60 ciclos por segundo. As possíveis causas são os dispositivos eletrônicos e cargas não lineares. Os efeitos são aquecimento de equipamentos e condutores elétricos, decréscimo do desempenho de motores, operação indevida dos disjuntores, relés ou fusíveis. As soluções para este tipo de distúrbio são filtros harmônicos, transformadores de isolamento, melhoras nos condutores e aterramento, cargas isoladas e reatores de linha.

**Sub e Sobretensão:** qualquer alteração abaixo ou acima do valor nominal da tensão que persista por mais de um minuto. Possíveis causas são as sobrecargas nos equipamentos e condutores, flutuação de grandes cargas ou taps dos transformadores incorretamente ajustados e condutor desenergizado ou faltoso ou conexões elétricas indevidas. Os efeitos são ofuscamento ou brilho da luz, a parada de equipamentos, sobreaquecimento de motores, e a vida ou eficiência reduzida dos equipamentos. As soluções são *Uninterruptible Power Supply* (UPS), os transformadores de tensão constante, a distribuição de equipamentos e os motores de tensão reduzidas.



### Pesquise mais

O artigo mostra um pouco mais sobre os distúrbios elétricos:

Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ca/v20n1/v20n1a05>>. Acesso em: 22 jul. 2015



### Exemplificando

Um bom exemplo do que acontece aos componentes eletrônicos, quando ficam expostos aos distúrbios elétricos, são os capacitores eletrolíticos. Eles estão presentes nas fontes de energia, sejam reguladas ou chaveadas, nas placas mãe de PCs e Servidores, nos HD e em diversas outras aplicações dentro dos equipamentos eletro-eletrônicos. Ao serem expostos aos distúrbios elétricos, os capacitores eletrolíticos podem

sofrer desde simples estufamentos até vazamento do óleo isolante, que compromete seu funcionamento e podem causar até acidentes mais graves como incêndios. Esse tipo de problema acontece em médio e longo prazo, quando são expostos a *brownout*, afundamentos de tensão, sobre e subtensões.



### Faça você mesmo

Pesquise outros casos que exemplificam os distúrbios elétricos e quais danos eles causam aos componentes industriais ou domésticos.



### Vocabulário

Harmônica – uma onda é uma frequência componente do sinal que é um múltiplo inteiro da frequência fundamental.

*Reset* - reconfigurar, geralmente restabelecendo uma configuração inicial.

*Spike* - pico, ponta; pulso de voltagem de duração muito curta.

## Sem medo de errar

Para o relatório, é necessário que você crie uma tabela com os tipos de distúrbios e as principais causas e efeitos para cada um deles.

Distúrbio	Definição	Causas	Efeitos
Interrupção de Energia	Total interrupção do fornecimento de energia, interrupção momentânea de 0,5 a 3 segundos, interrupção temporária de 3 segundos a 1 minuto, interrupção permanente: superior a 1 minuto.	Acidentes, ações da natureza, os quais requerem a devida operação dos equipamentos da concessionária (fusíveis, religadores, etc), curto circuitos internos requerendo a devida operação de disjuntores e fusíveis ao nível do consumidor.	Saída e/ou queda do sistema, perda de memória de controladores e computadores, avaria do <i>hardware</i> e avaria de produtos. As soluções para este tipo de interrupção é o Suprimento de Força ou Energia Ininterrompível.
Transitório	Alterações súbitas nas formas CA, resultando um abrupto, mas breve aumento da tensão.	Tempestades (relâmpagos), operação de fusíveis, religadores e disjuntores da concessionária e as causas internas são a entrada ou saída de grandes equipamentos e chaveamento de capacitores	Erros de processamento e perda de dados, queima de placas de circuitos, danos ao isolamento e avarias nos equipamentos elétricos. São soluções para este tipo de distúrbio os pára-raios, <i>Uninterruptible Power Supply</i> (UPS), Transformadores de isolamento e os Transformador de tensão constante.

<i>Brownout</i> (semi-apagão)	Outro tipo de anomalia comum, o brownout é caracterizado pela drástica diminuição da tensão eficaz da rede elétrica por um período de tempo relativamente longo.	Problemas no fornecimento da concessionárias e redes elétricas sobrecarregadas.	Uma inoperância da carga com possível queima dos equipamentos.
Surtos de Tensão ( <i>Spike</i> )	O surto de tensão também chamado spike é caracterizado pelo drástico aumento de tensão instantânea da rede elétrica (picos de tensão).	Normalmente são causadas pelas descargas atmosféricas	A queima de placas de computadores e de rede, HD, fontes de alimentação, <i>hubs</i> , fiação de rede e telefone.
Afundamentos de Tensão (SAG)	Caracterizado pela redução momentânea do valor eficaz da tensão da rede elétrica.	Geralmente é causado por curtos-circuitos na rede elétrica e chaveamento de equipamentos que demandam altas quantidades de energia.	Mau funcionamento da carga (travamento, "reset" do equipamento e perda de dados).
Ruído:	Sinal elétrico de alta frequência indesejável que altera a forma de onda de tensão convencional (forma senoidal).	Interferência da transmissão de rádio ou televisão, operação de equipamentos eletrônicos, perda de dados e erros de processamento e a recepção distorcida de áudio e vídeo.	Interferência da transmissão de rádio ou televisão, operação de equipamentos eletrônicos, perda de dados e erros de processamento e a recepção distorcida de áudio e vídeo.
Distorção Harmônica	Alteração no padrão normal da tensão (forma senoidal) devido a equipamentos gerando frequências diferentes das de 60 ciclos por segundo.	As possíveis causas são os dispositivos eletrônicos e cargas não lineares.	Aquecimento de equipamentos e condutores elétricos, decréscimo do desempenho de motores, operação indevida dos disjuntores, relés ou fusíveis.
Sub e Sobre tensão	Qualquer alteração abaixo ou acima do valor nominal da tensão que persista por mais de um minuto.	As sobrecargas nos equipamentos e condutores, flutuação de grandes cargas ou taps dos transformadores incorretamente ajustados e condutor desenergizado ou faltoso ou conexões elétricas indevidas.	Ofuscamento ou brilho da luz, a parada de equipamentos, sobreaquecimento de motores, e a vida ou eficiência reduzida dos equipamentos.



### Atenção!

Um grande percentagem dos distúrbios relacionados à qualidade da energia, na realidade, originam-se, de uma maneira geral, de dentro das instalações industriais e/ ou comerciais.



### Lembre-se

Os tipos de distúrbios são:

- Interrupção de Energia,
- Transitório,

- *Brownout* (semi-apagão),
- Surtos de Tensão (*Spike*),
- Afundamentos de Tensão (SAG),
- Ruído,
- Distorção Harmônica,
- Sub e Sobretensão.

## Avançando na prática

Pratique mais!	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com a de seus colegas.</p>	
Principais Distúrbios	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Aprender os termos e definições aceitas no setor energético referentes a qualidade da energia.
3. Conteúdos relacionados	Termos e definições sobre Qualidade da Energia Elétrica
4. Descrição da SP	Você é especialista em Qualidade da Energia e foi contratado para fazer o levantamento dos principais tipos de distúrbios que a concessionária de energia pode enfrentar na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.
5. Resolução da SP	Os tipos de distúrbios são: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interrupção de Energia,</li> <li>• Transitório,</li> <li>• <i>Brownout</i> (semi-apagão),</li> <li>• Surtos de Tensão (<i>Spike</i>),</li> <li>• Afundamentos de Tensão (SAG),</li> <li>• Ruído,</li> <li>• Distorção Harmônica,</li> <li>• Sub e Sobretensão.</li> </ul>



### Lembre-se

Sobre os distúrbios, é importante lembrar que eles se manifestam como deformidades na forma de onda da tensão e corrente em um sistema elétrico de potência. No *link*, disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdffiles/qualidade/a2.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.

**Faça você mesmo**

Na sua opinião, quais são os distúrbios que ocorrem com mais frequência?

**Faça valer a pena**

**1.** Qualquer fenômeno eletromagnético que pode degradar o desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema, e afetar adversamente matéria viva ou inerte é a definição de:

- a) Distúrbio eletromagnético.
- b) Interferência Eletromagnética.
- c) Campo Magnético.
- d) Compatibilidade Eletromagnética.
- e) Rede Eletromagnética.

**2.** A degradação do desempenho de um dispositivo, equipamento ou sistema causado por um distúrbio eletromagnético, é a definição de:

- a) Distúrbio eletromagnético.
- b) Interferência Eletromagnética.
- c) Campo Magnético.
- d) Compatibilidade Eletromagnética.
- e) Rede Eletromagnética.

**3.** A capacidade de um equipamento ou sistema operar satisfatoriamente no seu ambiente eletromagnético sem impor distúrbios eletromagnéticos intoleráveis em nada nesse ambiente, é a definição de:

- a) Distúrbio eletromagnético.
- b) Interferência Eletromagnética.
- c) Campo Magnético.
- d) Compatibilidade Eletromagnética.

e) Rede Eletromagnética.

**4.** O nível de um determinado distúrbio eletromagnético emitido por um dispositivo, equipamento ou sistema, medido de acordo com uma dada especificação, é chamado de:

- a) Nível médio.
- b) Nível de imunidade.
- c) Nível de emissão.
- d) Nível de reação.
- e) Nível de ação.

**5.** É considerado o nível máximo de um dado distúrbio eletromagnético, incidente sob certas condições em um dado dispositivo, equipamento ou sistema sem que ocorra degradação de operação e pode ser definido como:

- a) Nível médio.
- b) Nível de imunidade.
- c) Nível de emissão.
- d) Nível de reação.
- e) Nível de ação.

**6.** Exemplifique as principais fontes de distúrbios originados de dentro das instalações dos usuários.

- a) Nas instalações comerciais.
- b) Nas instalações industriais.

**7.** Como podemos caracterizar os distúrbios de qualidade da energia?

## Seção 1.3

### Transitórios

#### Diálogo aberto

Na seção anterior, vimos os termos e definições do cenário da Qualidade da Energia Elétrica. Tratamos os tipos de distúrbios, as causas e efeitos. Um dos distúrbios que vamos tratar mais a fundo são os transitórios.

Qualidade da Energia Elétrica pode ser definida com a combinação das qualidades da tensão e da corrente, sendo relacionadas com o desvio dos valores ideais, os parâmetros avaliados sendo magnitude e frequência constante na forma de onda. Quando as variações atingem níveis elevados, sérios problemas podem existir na rede elétrica e transtornos aos usuários como mau funcionamento dos equipamentos e até mesmo a queima deles, esses eventos são chamados de distúrbios que afetam a qualidade da energia elétrica.

Os transitórios são fenômenos eletromagnéticos provenientes de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. Geralmente, a duração de um transitório é muito pequena, de grande importância, uma vez que submetem equipamentos a grandes solicitações de tensão e/ou corrente. Existem dois tipos transitórios: os impulsivos, causados depois de descargas atmosféricas, e os oscilatórios, causados por chaveamentos. Esses dois tipos serão melhor explicados nesta seção.

A competência geral da disciplina é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Nesta seção, temos o objetivo de aprendizagem de estudar os transitórios que são as variações de energia do sistema de energia.

Você é funcionário da Concessionária de Energia “Luz Norte & Sul” e é o relator responsável do Relatório Semestral de Qualidade da Energia Elétrica. Os problemas, as condições locais, os sintomas e o dimensionamento dos problemas sobre a Qualidade da Energia devem ser mencionados no relatório Semestral. Essas análises

serão necessárias para os outros departamentos da Concessionária tomarem decisões e melhorem a Qualidade da Energia do Setor Energético. Como esses dados poderão auxiliar a melhoria da Qualidade da Energia fornecida pela Concessionária? Como podemos identificar os problemas ocasionais do setor energético?

Nos relatórios anteriores, os transitórios foram os principais distúrbios que afetam a qualidade da energia. Neste relatório, foi solicitado a você que mostre os tipos de transitórios e as causas deles que podem afetar a qualidade da energia elétrica neste semestre.

## Não pode faltar

### TRANSITÓRIOS



#### Refleta

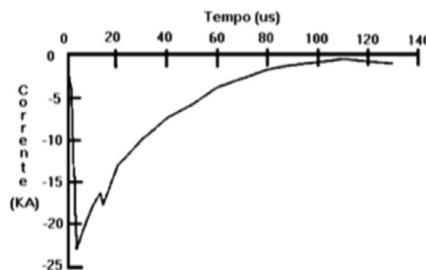
Transitório eletromagnético é a manifestação ou resposta elétrica, local ou nas adjacências, que se origina em alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica (MARTINHO, 2009).

A análise das variações do sistema elétrico que mostra um evento indesejável, momentâneo em sua natureza é conhecido como Transitório.

As manifestações ou respostas elétricas locais ou nas circunvizinhanças, que são originadas de alguma alteração repentina no sistema de operação do sistema elétrico, são os transitórios eletromagnéticos. A duração do transitório normalmente é bem pequena, mas a sua relevância é grande, pois os equipamentos nos sistemas elétricos há grande solicitação de tensão e corrente (DUGAN, 1996).

Podemos classificar os transitórios em impulsivos e oscilatórios, o primeiro vem de descargas atmosféricas e o segundo por chaveamentos.

Figura 1.5 | Transitório Impulsivo



Fonte: Disponível em: <[http://www.eletoalta.com.br/nr-10/biblioteca/27\\_09\\_2012\\_15\\_56\\_59.pdf](http://www.eletoalta.com.br/nr-10/biblioteca/27_09_2012_15_56_59.pdf)>. Acesso em: 22 jul. 2015.

Brusca alteração indesejável no sistema. Sua condição é de regime permanente e é mostrado nas formas de tensão e corrente, ou nas duas. É unidirecional na polaridade. É causado por descargas atmosféricas que ocorrem frequentemente com frequências bem diferentes da rede elétrica. A figura mostra um transitório impulsivo típico. São caracterizados pelos seus tempos de aumento e declínio. O nível da tensão no ponto de ocorrência da descarga deve ser observado por se tratar de uma descarga atmosférica (DUGAN, 1996).

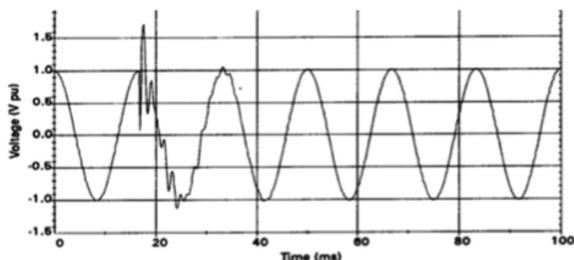
Alguns problemas de qualidade da energia causados por correntes no sistema de aterramento podem ser os seguintes: quando há equipamentos eletrônicos sensíveis que têm duas referências de terra, há a elevação do potencial do terra local. Quando as correntes que passam pelos cabos a caminho da terra, há a indução de altas tensões nos condutores fase (DUGAN, 1996).



### Exemplificando

Normalmente é causado por descargas atmosféricas com frequências bastante diferentes daquela da rede elétrica.

Figura 1.6 | Transitório oscilatório



Fonte: Eletroalta (2012).

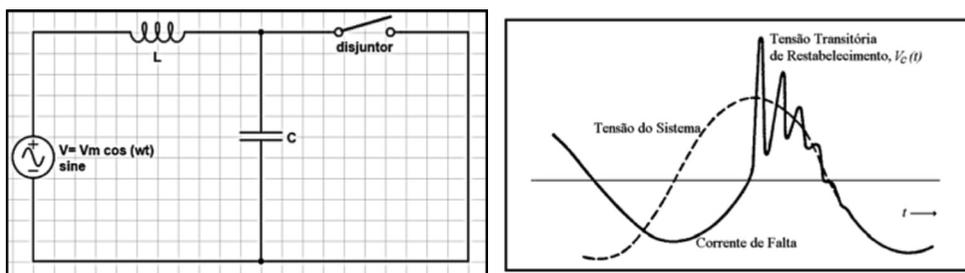
Os transitórios oscilatórios são alterações bruscas indesejáveis no regime permanente de tensão, corrente ou nas duas e tem origem na energização de linhas, corte de corrente indutiva e eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.

Um transitório oscilatório de baixa frequência tem as seguintes características: o componente de frequência primário é menor que 5 kHz, e duração de 0,3 a 50 ms. São frequentes em sistemas de subtransmissão e distribuição de concessionárias. Os eventos mais comuns são a energização de um banco de capacitores que gera uma tensão transitória oscilatória com frequência primária entre 300 e 900 Hz. O pico de magnitude pode ser de 2,0 p.u., mas comumente é 1,3 a 1,5 p.u. e a duração do ciclo

é 0,5 a 3 ciclos, mas depende do amortecimento do sistema. A figura 1.7 mostra o resultado de uma simulação de energização de um banco de 600 kVAR na tensão de 13,8 kV.

Transitórios oscilatórios de medida frequência têm as seguintes características: componentes de frequência entre 5 e 500 kHz, de duração de microssegundos ou vários ciclos de frequência principal. São exemplos desses transitórios as oscilações de ferroressonância que podem surgir nos Transformadores de Potencial Capacitivos (TPC). As tensões transitórias de restabelecimento (TRV) e a resposta do sistema de operação do disjuntor são mostradas nas figuras 1.7a e 1.7b

Figura 1.7 | (a) Circuito equivalente para o estudo das tensões transitórias de restabelecimento quando da eliminação de uma falta  
(b) Sobretensão decorrente da eliminação de uma falta



Fonte: Eletroalta (2012).

Os transitórios de alta frequência têm as seguintes características: têm componente de frequência maior que 500 kHz e têm duração típica de microssegundos ou vários ciclos da frequência principal, são resultantes de uma resposta do sistema a um impulso transitório, sua origem é nas descargas atmosféricas ou chaveamento indutivos.



### Exemplificando

Ferroressonância e a energização de bancos de capacitores são as causas mais comuns para os transitórios oscilatórios.



### Assimile

No sistema consumidor, usamos banco de capacitores do consumidor usados para corrigir o fator de potência em filtros harmônicos. No sistema da concessionária, usamos chaveamento dos bancos com resistores de pré-inserção.

A tabela apresentada na sequência mostra as características dos transitórios.

Tabela 1.1 | Características dos Transitórios

Categoria		Conteúdo Espectral Típico	Duração Típica	Amplitude de Tensão Típica
Impulsiva	Nanosegundo	5 ns	< 50 ns	
	Microsegundo	1 $\mu$ s	50 ns – 1 ms	
	Milissegundo	0,1 ms	> 1 ms	
Oscilatórios	Baixa Frequência	< 5 kHz	3 – 50 ms	0,4 pu
	Média Frequência	5 – 500 kHz	20 $\mu$ s	0,4 pu
	Alta Frequência	0,5 – 5 MHz	5 $\mu$ s	0,4 pu

Fonte: O autor (2015).



### Faça você mesmo

Relacione as causas com o tipo de transitórios:

1. Transitórios Oscilatórios.
2. Transitórios Impulsivos.

( ) As causas geralmente são as descargas atmosféricas. São amortecidos de forma rápida devido ao conteúdo espectral de frequências elevadas.

( ) As causas podem ser a energização de um banco de capacitores, nas proximidades de um banco que já está em operação, causando um transitório de média frequência.



### Vocabulário

TRV – Tensões transitórias de restabelecimento.

TPC – Transformadores de Potencial Capacitivos.

p.u. – por unidade.

## Sem medo de errar

Neste relatório, foi solicitado a você que mostre os tipos de transitórios e as causas deles que podem afetar a qualidade da energia elétrica neste semestre.

### Transitório impulsivo

Brusca alteração indesejável no sistema. Sua condição é de regime permanente e é mostrado nas formas de tensão e corrente, ou nas duas. É unidirecional na polaridade. É causado por descargas atmosféricas que ocorrem frequentemente com frequências bem diferentes da rede elétrica.

### Transitório oscilatório

São alterações bruscas indesejáveis no regime permanente de tensão, corrente ou nas duas.

Esse tipo de transitório é oriundo da energização de linhas, corte de corrente indutiva e eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.



### Atenção!

Transitório impulsivo – brusca alteração indesejável no sistema. Sua condição é de regime permanente e é mostrado nas formas de tensão e corrente, ou nas duas. É unidirecional na polaridade. É causado por descargas atmosféricas que ocorrem frequentemente com frequências bem diferentes da rede elétrica.

Transitório oscilatório – alterações bruscas indesejáveis no regime permanente de tensão, corrente ou nas duas.

Esse tipo de transitório é oriundo da energização de linhas, corte de corrente indutiva e eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.



### Lembre-se

Sobre a classificação dos transitórios, é importante que você faça a leitura do artigo

“Sistema automático de detecção e classificação de distúrbios elétricos

em qualidade da energia elétrica”

Disponível em:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-17592009000100005](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-17592009000100005)>. Acesso em: 01 jun. 2015.

## Avançando na prática

Pratique mais!	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com a de seus colegas.</p>	
Relatório sobre Qualidade da Energia	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Estudar os transitórios que são as variações de energia do sistema de energia.
3. Conteúdos relacionados	Transitórios.
4. Descrição da SP	Para o relatório da concessionária de energia que você trabalha, caracterize os transitórios impulsivos e os transitórios oscilatórios.
5. Resolução da SP	Transitório impulsivo é causado por descargas atmosféricas que ocorrem frequentemente com frequências bem diferentes da rede elétrica. Transitório oscilatório é o tipo de transitório oriundo da energização de linhas, corte de corrente indutiva e eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.



### Lembre-se

No *link* há uma explicação sobre os distúrbios da qualidade da energia, inclusive os transitórios. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/ppee/files/2008/12/211045.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2015.



### Faça você mesmo

Mostre as características dos transitórios impulsivos e oscilatórios.

**Faça valer a pena!**

**1.** Como podemos definir um transitório?

- a) A análise das variações do sistema de energia para denotar um evento que é indesejável, mas momentâneo, em sua natureza.
- b) As manifestações apenas adjacências, do sistema de energia elétrica.
- c) Alteração de grande duração na rede elétrica.
- d) Alterações feitas por grandes solicitações de tensão e/ou corrente.
- e) Alterações que causam problemas na frequência e limita o sistema.

**2.** Um transitório oscilatório de baixa frequência é caracterizado por um componente de frequência primário menor que:

- a) 7kHz.
- b) 5kHz.
- c) 10kHz.
- d) 25kHz.
- e) 30kHz.

**3.** Os transitórios de alta frequência têm componente maior que:

- a) 200 kHz.
- b) 100 kHz.
- c) 500 kHz.
- d) 300 kHz.
- e) 400 kHz.

**4.** Qual procedimento é mais comum para limitar a magnitude da tensão transitórios no consumidor?

- a) Transformar os bancos de capacitores do consumidor.
- b) Ocasional descargas frequentes na rede.
- c) Bancos de capacitores.
- d) Bancos de resistências.
- e) Bancos de capacitores, resistências e indutores juntos.

**5.** Pode ser considerado uma das causas dos transitórios:

- a) Desenergização de linhas.
- b) Tensão elétrica.
- c) Acréscimo de faltas.
- d) Chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.
- e) Bancos de resistência.

**6.** Como são caracterizados os transitórios oscilatórios de baixa frequência?

**7.** Quais são os principais problemas de qualidade da energia causados pelas correntes do sistema de aterramento?



## Seção 1.4

### Sags de tensão ou afundamento de tensão

#### Diálogo aberto

Na seção anterior, vimos um tipo de distúrbio que afeta a qualidade da energia, os transitórios. Agora vamos estudar os Sags de tensão, também conhecidos como afundamento de tensão.

As características de um afundamento de tensão dependem do tipo, localização e impedância da falta, conexão dos transformadores, tensões pré-falta e características da proteção do Sistema Elétrico de Potência (SEP).

Conhecer os principais aspectos dos Sags de Tensão nos ajudarão a atingir a competência geral que é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Nesta seção, o nosso objetivo de aprendizagem é conhecer as sags de tensão e como se comportam nas cargas aplicadas.

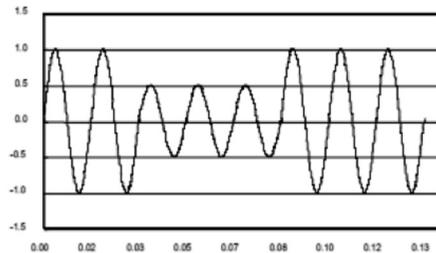
Você é funcionário da Concessionária de Energia “Luz Norte & Sul” e é o relator responsável do Relatório Semestral de Qualidade de Energia Elétrica. Os problemas, as condições locais, os sintomas e o dimensionamento dos problemas sobre a Qualidade da Energia devem ser mencionados no relatório Semestral. Essas análises serão necessárias para os outros departamentos da Concessionária tomarem decisões e melhorem a Qualidade da Energia do Setor Energético.

Os afundamentos de tensão também são fatores que afetam a qualidade da energia e, por isso, no Relatório Semestral, você deve caracterizar os afundamentos de tensão para que a equipe técnica da concessionária de energia dê a devida importância a esse fator nas análises posteriores ao relatório.

## Não pode faltar

### Sags de Tensão ou Afundamento de Tensão

Figura 1.8 | Afundamento de Tensão



Fonte: Chapman (2002).

Afundamento de tensão é uma redução do valor eficaz de tensão, numa faixa de 0,1 a 0,9 pu, com duração de 0,5 ciclo a 1 min. Caracteriza-se pela sua amplitude, tempo de duração e frequência de ocorrência. Um afundamento 0,8 pu significa que o valor eficaz da tensão caiu em 20%, resultando em uma tensão de 0,8 pu. Na figura 1.8, um afundamento de 50% durante um certo intervalo de tempo.

#### Afundamentos Causados por grandes cargas

Os afundamentos de tensão, por partidas de grandes motores, podem ser controlados e não são severos (em geral) para causar problemas nas cargas sensíveis. Eles partem de forma indireta (como chaves soft-starter). Esta partida de grandes motores é uma causa secundária dos afundamentos (CHAPMAN, 2002).



#### Assimile

As faltas no SEP - Sistemas Elétricos de Potência, ocorrem devido, principalmente, às descargas atmosféricas, defeitos em equipamentos, contato de animais ou árvores e, outras causas naturais. Se ocorrer um curto circuito, o afundamento se inicia e continua presente até que a proteção atue.

Tabela 1.2 | Classificação dos Afundamentos de Tensão

Afundamento de Tensão	Duração	Amplitude
Instantâneo	0,5 – 30 ciclos	0,1 – 0,9 pu
Momentâneo	30 ciclos – 3 s	0,1 – 0,9 pu
Temporário	3 s – 1 min	0,1 – 0,9 pu

Fonte: O autor (2015).

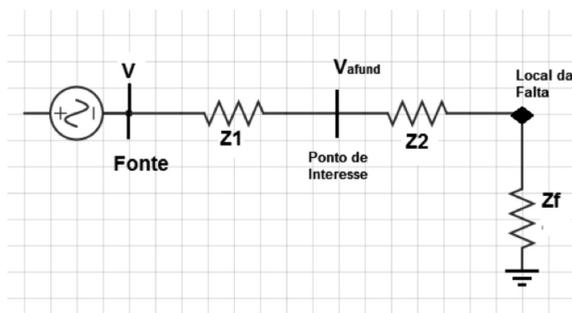
### Afundamentos causados por faltas na rede

A rede de alimentação é muito complexa. Depende da topologia da rede e das impedâncias de fonte relativas da falta, carga e geradores no seu ponto de acoplamento comum a extensão de um afundamento de tensão em um local devido a uma falta em outra parte da rede. A duração de um afundamento depende do tempo empregado pelos circuitos de proteção para detectar e isolar a falta, e normalmente é da ordem de algumas centenas de milissegundos. Como a falta pode ser transitória devido, por exemplo, quando a queda de uma árvore sobre a linha é a causa, essa falta pode ser extinta rapidamente. Se for permanente a desconexão do circuito, todos os consumidores sofreram um blecaute até que a linha pudesse ser verificada e novamente conectada. Para reconectar os circuitos, utiliza-se os religadores automáticos. Ele tenta conectar os circuitos pouco tempo depois da falta (menos de 1 segundo) da atuação do equipamento de proteção. Cada vez que ocorre a religação automática para reconectar a linha sob a falta, há um afundamento de tensão e os consumidores podem ter vários afundamentos em sequência (CHAPMAN, 2002).

### Cálculo da Amplitude do Afundamento

A amplitude do afundamento pode ser calculada por um divisor de tensão básico como mostra a figura 1.9:

Figura 1.9 | Divisor de tensão básico do afundamento de tensão



Fonte: O autor (2015).

$$V_{afund} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} V$$

Onde:

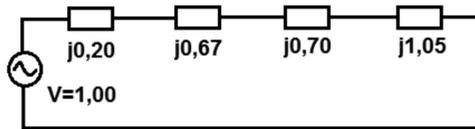
$Z_1$ é a impedância entre a fonte e o ponto de interesse;
$Z_2$ é a impedância entre o ponto de interesse e o local de falta;
$Z_f$ é a impedância de falta em relação à terra. $Z_f$ é usualmente considerado igual a zero, situação que corresponde à situação de afundamento mais severo, já que a impedância de falta contribui para reduzir o valor do afundamento.



### Exemplificando

Circuito em pu

Figura 1.10 | Circuito em pu



Fonte: O autor (2015).

Valores das Tensões durante a falta:

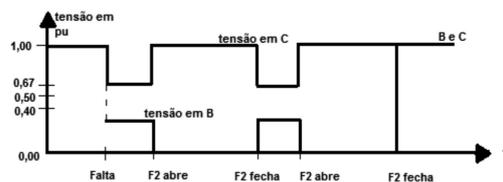
$$V_B = \frac{j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} \times 1,00 = 0,40 \text{ pu}$$

$$V_{12kV} = \frac{j0,70 + j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} \times 1,00 = 0,67 \text{ pu}$$

$$V_{69kV} = \frac{j0,67 + j0,70 + j1,05}{j0,20 + j0,67 + j0,70 + j1,05} \times 1,00 = 0,92 \text{ pu}$$

Perfil das Tensões durante a Eliminação da Falta:

Figura 1.11 | Perfil das tensões durante a eliminação da falta



Fonte: O autor (2015).

Foi considerado que a falta é eliminada após a segunda abertura do disjuntor F2.

### Área de Vulnerabilidade



#### Refleta

O objetivo da área de vulnerabilidade é avaliar a probabilidade de ocorrência da depressão de tensão, abaixo de um determinado valor crítico.

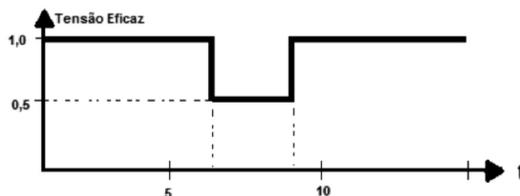
Através do conceito de área de vulnerabilidade, é possível identificar a área de um sistema de potência que tem a ocorrência de curtos e que poderá ter desligamentos das cargas devido os afundamentos de tensão. A carga sendo mais sensível, a área também será maior. A figura 1.11 mostra uma área de vulnerabilidade para uma carga considerada sensível.

#### Sensibilidade dos Equipamentos aos Afundamentos:

Os equipamentos eletrônicos à base de microprocessadores, como Acionamento a Velocidade Variável (AVV) e os Controladores Lógicos Programáveis (CLP), são considerados cargas mais vulneráveis aos afundamentos de tensão. Alguns dos problemas mais comuns são perda de produtividade, redução da qualidade do produto e o cliente insatisfeito.

#### Outras Características do Afundamento de Tensão

Figura 1.12 | afundamento de tensão de 50% com duração de 3 ciclos



Fonte: O autor (2015).

Na figura 1.12, tem-se uma idealização da forma de onda para um afundamento de tensão de 50% com duração de 03 ciclos, com característica retangular.

A maioria dos afundamentos de tensão não tem amplitude constante durante a

sua duração, como é o caso mostrado na figura 1.12, em que a amplitude nas três fases varia ao longo do seu tempo de duração. Apesar disso, a representação teórica da figura 1.12 é amplamente utilizada, e seu uso está implícito nos cálculos feitos pelos programas tradicionais de cálculo de curto-circuito/afundamento.

#### Normas e Parâmetros para a Análise do Afundamento de Tensão

Nem o IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) nem a IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) estabelecem limites de afundamentos para os sistemas (SEP). As normas IEC são mais elaboradas no que concerne aos equipamentos, estabelecendo limites de emissão (afundamentos causados pela carga/equipamento) em função do porte da carga. Já o IEEE se atém muito mais ao SEP e à suportabilidade das cargas, apresentando metodologias para monitoramento e cálculo dos afundamentos.

Com relação à legislação e à norma brasileiras, essas também não estabelecem limites. O documento Padrões de Desempenho da Rede Básica – Sub-módulo 2.8, aplicável ao sistema de transmissão brasileiro, preparado pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico), e aprovado pela Resolução ANEEL nº 791/02 de 24/12/2002, e suas revisões, apresenta todas as definições necessárias para a correta identificação dos afundamentos de tensão, sem, entretanto, estabelecer limites. A regulamentação para o sistema de distribuição é apresentada pela ANEEL no documento Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST, em seu Módulo 8, 2007.



#### Faça você mesmo

Conhecendo o circuito equivalente em pu abaixo e as tensões nos pontos  $G = 80\text{kV}$   $S = 10\text{kV}$ . O ponto A é o ponto da falta. Circuito equivalente em pu. Suponha as impedâncias sendo respectivamente:  $j0,30$ ,  $j0,75$ ,  $0,45$ ,  $j1,25$ . A tensão considerada é  $1,00\text{ V}$ .

Calcule as tensões durante a falta.

## Sem medo de errar

Os afundamentos de tensão também são fatores que afetam a qualidade da energia e, por isso, no Relatório Semestral, você deve caracterizar os afundamentos de tensão para que a equipe técnica da concessionária de energia dê a devida importância a esse fator nas análises posteriores ao relatório.

### Afundamentos de tensão causados por grandes cargas

Afundamentos por partida de grandes motores podem causar problemas nas cargas sensíveis apesar de não serem severos e poderem ser controlados. Essa partida é causa secundária dos afundamentos de tensão.

### Afundamentos de tensão causadas por faltas na rede

A rede de alimentação é muito complexa. Depende da topologia da rede e das impedâncias de fonte relativas da falta, carga e geradores no seu ponto de acoplamento comum a extensão de um afundamento de tensão em um local devido a uma falta em outra parte da rede. A duração de um afundamento depende do tempo empregado pelos circuitos de proteção para detectar e isolar a falta, e normalmente é da ordem de algumas centenas de milissegundos. Como a falta pode ser transitória devido, por exemplo, quando a queda de uma árvore sobre a linha é a causa, essa falta pode ser extinta rapidamente. Se for permanente a desconexão do circuito, todos os consumidores sofreram um blecaute até que a linha pudesse ser verificada e novamente conectada. Para reconectar os circuitos, utiliza-se os religadores automáticos. Ele tenta conectar os circuitos pouco tempo depois da falta (menos de 1 segundo) da atuação do equipamento de proteção. Cada vez que ocorre a religação automática para reconectar a linha sob a falta, há um afundamento de tensão e os consumidores podem ter vários afundamentos em sequência.

## Avançando na prática

### Pratique mais!

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com a de seus colegas.

#### Afundamentos de Tensão

1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade da energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Conhecer as sags de tensão e como se comportam nas cargas aplicadas.
3. Conteúdos relacionados	Sags de Tensão ou Afundamento de Tensão.
4. Descrição da SP	No período que você estava analisando a concessionária de energia, dados das interrupções de energia lhe foram apresentados. Você observou que houve quedas de árvores na rede de alimentação e ocasionou afundamentos de tensão. Faça a caracterização desses afundamentos.
5. Resolução da SP	Afundamentos de tensão causados por faltas que depende da topologia da rede e das impedâncias de fonte relativas da falta, carga e geradores no seu ponto de acoplamento comum a extensão de um afundamento de tensão em um local devido a uma falta em outra parte da rede. A duração de um afundamento depende do tempo empregado pelos circuitos de proteção para detectar e isolar a falta, e normalmente é da ordem de algumas centenas de milissegundos e essa falta pode ser extinta rapidamente.



#### Lembre-se

Afundamento de tensão:

Instantâneo tem duração de 0,5 a 30 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

Momentâneo tem duração de 30 ciclos a 3 segundos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

Temporário tem duração de 3 segundos a 1 minuto e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.



#### Faça você mesmo

Caracterize os afundamentos de tensão tanto por grandes cargas e também por faltas na rede. Explique como são causados.

**Faça valer a pena!****1.** Caracterizamos o afundamento de tensão instantâneo:

- a) O afundamento que tem duração de 0,5 a 30 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- b) O afundamento que tem duração de 0,1 a 10 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- c) O afundamento que tem duração de 0,1 a 20 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- d) O afundamento que tem duração de 30 ciclos a 3 segundos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- e) O afundamento que tem duração de 3 segundos a 1 minuto e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

**2.** Caracterizamos de afundamento de tensão momentâneo:

- a) O afundamento que tem duração de 0,5 a 30 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- b) O afundamento que tem duração de 0,1 a 10 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- c) O afundamento que tem duração de 0,1 a 20 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- d) O afundamento que tem duração de 30 ciclos a 3 segundos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- e) O afundamento que tem duração de 3 segundos a 1 minuto e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

**3.** Caracterizamos de afundamento de tensão temporário:

- a) O afundamento que tem duração de 0,5 a 30 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- b) O afundamento que tem duração de 0,1 a 10 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- c) O afundamento que tem duração de 0,1 a 20 ciclos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.
- d) O afundamento que tem duração de 30 ciclos a 3 segundos e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

e) O afundamento que tem duração de 3 segundos a 1 minuto e amplitude de 0,1 a 0,9 pu.

**4.** A duração de um afundamento depende do tempo empregado pelos circuitos de proteção para detectar e isolar a falta, e normalmente é da ordem de:

- a) Algumas centenas de milissegundos.
- b) Milhares de segundos.
- c) Centenas de minutos.
- d) Algumas horas.
- e) Poucos dias.

**5.** O conceito de área de vulnerabilidade permite:

- a) Identificar a área de um sistema de potência que, na ocorrência de curtos circuitos, poderá provocar o desligamento da carga devido a afundamentos de tensão.
- b) Conhecer a função da carga a afundamentos de tensão
- c) Determinar o valor do afundamento sem saber como isso afetará a rede.
- d) Provocar uma carga na barra com valor menor.
- e) Ver a vulnerabilidade sem saber a sensibilidade.

**6.** Como são caracterizados os afundamentos de tensão causados por grandes cargas?

**7.** Dê um exemplo de afundamentos de tensão causados por faltas na rede.

# Referências

- ALDABÓ, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 01 jun. 2015.
- ARRILLAGA, J., Bollen, M. H. J. e Watson, N. R. Power quality following deregulation. In: **Proc. 2000 of the IEEE**. 2000. 88(2): 246–261.
- CHAPMAN, David. **Guia de aplicação de qualidade de energia**: fundamentos de tensão. 2002. Disponível em: <<http://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2009/06/51-afundamento-introducao.pdf>>. Acesso em: 02 jun. 2015.
- DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN. M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. S.l.: McGraw-Hill, 1996.
- IEEE – Std 1159. **“IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”**. IEEE Standards Board, Junho de 1995.
- MARTINHO, E. **Distúrbios da Energia Elétrica** – qualidade de energia, conceitos, cuidados, soluções, normalização. São Paulo: Érica, 2009.
- SANCHES, Durval. **Interferência eletromagnética**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- ELETROALTA**. Disponível em: [http://www.eletoalta.com.br/nr-10/biblioteca/27\\_09\\_2012\\_15\\_56\\_59.pdf](http://www.eletoalta.com.br/nr-10/biblioteca/27_09_2012_15_56_59.pdf). Acesso em: 22 jul. 2015.



# FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE DE ENERGIA

### Convite ao estudo

Na unidade anterior, vimos os aspectos introdutórios da qualidade de energia elétrica. A qualidade da energia influencia de forma direta o desempenho das máquinas. Há, com o controle da qualidade da energia, a redução de paradas, o que representará inúmeros recursos economizados em refugos, atrasos de entrega e reprovação por má qualidade do produto. Há uma economia de energia elétrica e, conseqüentemente, benefícios à sustentabilidade do planeta.

Ao longo do nosso estudo, você será capaz de conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Os objetivos de aprendizagem desta unidade são compreender como as sobretensões influenciam nas redes elétricas; conhecer os princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões; entender o funcionamento dos transitórios em banco de capacitores; estudar os fundamentos de harmônicos e distorções harmônicas de tensão e corrente.

Você é um consultor de energia elétrica que irá avaliar todos os possíveis problemas de qualidade da energia elétrica, verificar como esses problemas irão afetar o sistema, avaliar e propor soluções, além de, naturalmente, justificar o investimento nesta ou naquela solução. Você foi contratado por uma subestação para avaliar os possíveis problemas de qualidade, devendo fazer um relatório preliminar com todos os fatores que afetam a qualidade de energia: as sobretensões transitórias, mostrando como fazer a proteção contra elas, os transitórios em bancos de capacitores e as distorções harmônicas de tensão e corrente.



## Seção 2.1

### Sobretensões

#### Diálogo aberto

Os fenômenos transitórios acontecem nos sistemas elétricos de forma esporádica e envolvem as mudanças bruscas de tensão e corrente que são geradas por descargas da atmosfera, faltas no sistema ou operação de disjuntos e chaves. A importância desses estudos deu-se ao fato de os níveis de tensão estarem mais elevados e de a necessidade do sistema ser mais seguro e econômico.

Ao longo do nosso estudo, você será capaz de conhecer e analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

O objetivo de aprendizagem desta unidade é compreender como as sobretensões influenciam nas redes elétricas. Você é um consultor de energia elétrica que irá avaliar todos os possíveis problemas de qualidade da energia elétrica, verificar como esses problemas irão afetar o sistema, avaliar e propor soluções, além de, naturalmente, justificar o investimento nessa ou naquela solução. Você foi contratado por uma subestação para avaliar os possíveis problemas de qualidade, devendo fazer um relatório preliminar com todos os fatores que afetam a qualidade de energia. Na primeira parte do relatório, você deve elencar todas as características das sobretensões; utilize como referência a norma NBR 6939/99.

#### Não pode faltar

Sobretensões



#### Assimile

Uma sobretensão pode ser definida como qualquer tensão entre fase e terra, ou entre fases, cujo valor de crista excede o valor de crista deduzido

da tensão máxima do equipamento. Entende-se por tensão máxima de um sistema a máxima tensão de linha eficaz que pode ser mantida em condições normais de operação, em qualquer instante e em qualquer ponto do sistema.

### Natureza das sobretensões

As sobretensões podem ser classificadas em dois grupos: sobretensões de origem externa, provenientes de causas externas ao sistema considerado (por exemplo, as atmosféricas; e sobretensões de origem interna, causadas por eventos dentro do sistema, como curtos-circuitos.

A norma NBR 6939/99 mostra a forma da sobretensão, sua duração e seu efeito sobre o dispositivo de proteção. As sobretensões podem ser classificadas em:

- temporária: originada de um surto de frequência fundamental relativamente longa;
- transitória: originada de um surto de curta duração, usualmente fortemente amortecida. Pode ser dividida em:
  - de frente lenta: sobretensão transitória, unidirecional, com crista de  $20 \mu s < T1 \leq 5000 \mu s$ , e tempo de  $T2 \leq 20 \text{ ms}$ ;
  - de frente rápida: tempo até a crista de  $0,1 \mu s < T1 \leq 20 \mu s$ , e tempo até o meio de  $T2 \leq 300 \mu s$ ;
  - de frente muito rápida: tempo até a crista de  $T1 \leq 0,1 \mu s$ , duração total de  $Tt \leq 3 \text{ ms}$ ;
  - combinada (combina todos os tipos de sobretensões): tem duas componentes de tensão concomitantemente aplicadas entre cada um dos terminais de fase de uma isolação fase-fase (ou longitudinal) e a terra.

### Fontes de sobretensões transitórias



#### Refleta

As sobretensões transitórias podem ser classificadas em temporárias, transitórias, de frente rápida, de frente muito rápida e combinada (todos os tipos juntos) (NBR 6939, 1999).

Vamos aprofundar nosso conhecimento nos seguintes tipos de sobretensões:

Sobretensões temporárias – têm propriedades importantes em suas amplitudes, forma de onda e duração. Também são chamadas de sobretensão sustentada.



### Exemplificando

As sobretensões temporárias são geralmente causadas por: faltas nos sistemas; perda súbita de carga (rejeição de carga); efeito ferranti; ressonância e ferroressonância.

Sobretensões de frente lenta: são sobretensões entre fase terra ou entre fases.



### Exemplificando

As sobretensões de frente lenta normalmente se originam de: energização e religamento de linhas; aplicação e eliminação de faltas; rejeição de carga; energização de transformadores; chaveamento de correntes capacitivas e indutivas; descargas atmosféricas.

Sobretensões de frente rápida: caracterizam-se como sobretensões entre fase terra ou entre fases, com crista com durações entre  $0,1 \mu\text{s}$  a  $20 \mu\text{s}$  e tempos até o meio de valor até  $300 \mu\text{s}$ .



### Exemplificando

As sobretensões de frente rápida normalmente se originam de descargas atmosféricas nos condutores fase de linhas aéreas, nos cabos para-raios ou nas estruturas de linhas de transmissão ou por descargas a terra ou em estruturas das linhas.

Sobretensões de frente muito rápida: são geradas pela interrupção rápida da isolação gasosa e pela propagação não amortecida do surto dentro da GIS (isolamento a gás).



### Pesquise mais

O trabalho disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001257.pdf> (Acesso em: 31 jul. 2015) mostra um estudo comparativo dos métodos para controle das sobretensões. O estudo traz aspectos importante para sua formação!



### Faça você mesmo

Faça um comparativo de todos os tipos de sobretensões transitórias.

## Sem medo de errar

Você deve fazer um relatório preliminar com todos os fatores que afetam a qualidade de energia. Na primeira parte do relatório, você deve elencar todas as características das sobretensões, utilizando como referência a norma NBR 6939/99.

Classe	Baixa Frequência		Transitório		
	Continua	Temporário	Frente lenta	Frente rápida	Frente muito rápida
Faixas de formas de tensão	$f = 50 \text{ Hz}$ ou $60 \text{ Hz}$ $T_1 \geq 3600 \text{ s}$	$10 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$ $3600 \text{ s} \geq T_1 \geq 0,03 \text{ s}$	$5000 \mu\text{s} \geq T_{cr} \geq 20 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 20 \text{ ms}$	$20 \mu\text{s} \geq T_1 > 0,1 \mu\text{s}$ $T_2 \leq 300 \mu\text{s}$	$100 \text{ ns} \geq T_1 > 3 \text{ ns}$ $0,3 \text{ MHz} < f_1 < 100 \text{ MHz}$ $30 \text{ kHz} < f_2 < 300 \text{ kHz}$ $T_1 \leq 3 \text{ ms}$
Forma normalizada da tensão	$f = 50 \text{ Hz}$ ou $60 \text{ Hz}$ $T_1^*$	$48 \text{ Hz} \leq f \leq 62 \text{ Hz}$ $T_1 = 60 \text{ s}$	$T_{cr} = 250 \mu\text{s}$ $T_2 = 2500 \mu\text{s}$	$T_1 = 1,2 \mu\text{s}$ $T_2 = 50 \mu\text{s}$	*
Ensaio normalizado de tensão suportável	*	Ensaio de frequência fundamental de curta duração	Ensaio de impulso de manobra	Ensaio de impulso atmosférico	*



### Atenção!

Natureza das sobretensões

São divididas em sobretensões de origem externa, provenientes de causas externas ao sistema considerado, e sobretensões de origem interna, causadas por eventos dentro do sistema em consideração.



### Lembre-se

O "artigo" mostra um dos efeitos da sobretensão na rede elétrica. Disponível em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/635-sobretensoes-na-rede-quem-paga-essa-conta.html>. Acesso em: 2 jul. 2015.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.

Análise de sobretensões	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada a sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Compreender como as sobretensões influenciam nas redes elétricas.
3. Conteúdos relacionados	Sobretensões transitórias.
4. Descrição da SP	Você foi contratado para fazer as análises de sobretensão em redes elétricas residências. Você constatou sobretensões transitórias de frente rápida. Mostre as características desse tipo de sobretensão.
5. Resolução da SP	Sobretensões entre fase terra ou entre fases são geradas por uma descarga atmosférica ou outra causa; os tempos de crista estão entre $0,1 \mu\text{s}$ a $20 \mu\text{s}$ e tempos até o meio até $300 \mu\text{s}$ .



### Lembre-se

A sobretensão pode ser transitória e de curta duração; pode ser provocada por descargas atmosféricas ou por manobras na rede.



### Faça você mesmo

Caracterize as sobretensões de frente muito rápida.

## Faça valer a pena!

**1.** É uma característica das sobretensões temporárias:

- Serem fortemente amortecidas.
- Serem habitualmente unidirecionais, com tempo até a crista tal que  $20 \mu\text{s} < T1 \leq 5000 \mu\text{s}$ .
- Terem frequência fundamental de duração relativamente longa.
- Poderem originar-se de operações de chaveamento, descargas atmosféricas ou faltas.
- Ocorrerem entre as fases de um sistema (fase-fase) ou na mesma fase entre partes separadas de um sistema (longitudinal).

**2.** Pode ser considerada uma característica das sobretensões transitórias:

- Terem frequência fundamental de duração consideravelmente longa.

- b) Serem fortemente amortecidas.
- c) Serem habitualmente unidirecionais, com tempo até a crista tal que  $20 \mu\text{s} < T1 \leq 5000 \mu\text{s}$ .
- d) Poderem originar-se de operações de chaveamento, descargas atmosféricas ou faltas.
- e) Ocorrerem entre as fases de um sistema (fase-fase) ou na mesma fase entre partes separadas de um sistema (longitudinal).

**3.** As sobretensões de frente lenta podem ser caracterizadas por:

- a) Terem frequência fundamental de duração relativamente longa.
- b) Serem fortemente amortecidas.
- c) Poderem originar-se de operações de chaveamento, descargas atmosféricas ou faltas.
- d) Serem habitualmente unidirecionais, com tempo até a crista tal que  $20 \mu\text{s} < T1 \leq 5000 \mu\text{s}$ .
- e) Ocorrerem entre as fases de um sistema (fase-fase) ou na mesma fase entre partes separadas de um sistema (longitudinal).

**4.** As sobretensões de frente rápida possuem a seguinte característica:

- a) Têm frequência fundamental de duração relativamente longa.
- b) São fortemente amortecidas.
- c) São habitualmente unidirecionais, com tempo até a crista tal que  $20 \mu\text{s} < T1 \leq 5000 \mu\text{s}$ .
- d) Podem originar-se de operações de chaveamento, descargas atmosféricas ou faltas.
- e) Ocorrem entre as fases de um sistema (fase-fase) ou na mesma fase entre partes separadas de um sistema (longitudinal).

**5.** As sobretensões de frente muito rápida podem ser caracterizadas por:

- a) Terem a frequência fundamental de duração relativamente longa.
- b) Serem fortemente amortecidas.
- c) Serem habitualmente unidirecionais, com tempo até a crista tal que  $20 \mu\text{s} < T1 \leq 5000 \mu\text{s}$ .

- d) Poderem originar-se de operações de chaveamento, descargas atmosféricas ou faltas.
- e) Ocorrerem entre as fases de um sistema (fase-fase) ou na mesma fase entre partes separadas de um sistema (longitudinal).

**6.** Como podemos caracterizar as sobretensões externas e internas?

**7.** O que se entende como sobretensão combinada?



## Seção 2.2

### Princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões

#### Diálogo aberto

Dando continuidade ao nosso estudo, você será capaz de conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Para essa seção, o objetivo de aprendizagem é conhecer os princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões.

Você é um consultor de energia elétrica responsável por avaliar todos os possíveis problemas de qualidade da energia elétrica, verificar como eles irão afetar o sistema, avaliar e propor soluções, além de, naturalmente, justificar o investimento nesta ou naquela solução. Você foi contratado por uma subestação para avaliar os possíveis problemas de qualidade. Agora, deve propor um quadro mostrando as características de cada tipo de dispositivo que pode ser usado para fazer a proteção contra as sobretensões na rede elétrica. Esse será a sua segunda parte do relatório que deve ser entregue à subestação que pediu o relatório de qualidade da energia.

#### Não pode faltar

Dispositivos de proteção contra sobretensões

Os dispositivos de proteção contra sobretensão têm a função de diminuir as amplitudes das sobretensões chamadas de frentes lenta e rápida.



#### Exemplificando

Os para-raios quando corretamente selecionados e aplicados possibilitam uma redução nos custos dos demais equipamentos, uma vez que a isolamento dos equipamentos constitui uma parcela significativa no custo

final de um equipamento, especialmente àqueles aplicados em sistemas de alta e extra-alta tensões.

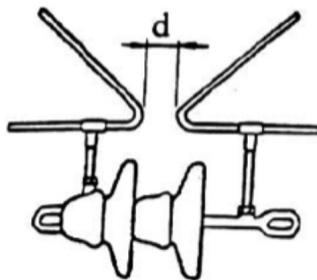
Os para-raios ideais apresentam algumas características importantes: sua impedância é infinita entre os seus terminais, quando estão em regime permanente, e possuem uma capacidade instantânea de condução. Para conduzir, têm de retomar o circuito aberto para que a tensão do sistema retorne ao seu estado inicial.

#### Centelhadores com dielétrico de ar

Os centelhadores com dielétricos de ar foram os primeiros dispositivos usados com dispositivo de proteção. Alguns pontos negativos desse dispositivo podem ser destacados: têm grandes alterações devido às disruptivas com as condições atmosféricas; há falta de capacidade para exterminar o arco elétrico em aplicações de baixa impedância; há corte brusco na tensão disruptiva quando o centelhador está em operação; possui elevado corrente do arco que produz a erosão dos centelhadores, modificando de forma progressiva a proteção por eles exercida.

A Figura 2.1 mostra os centelhadores tipo cifre. Há uma disruptação acidental, que é um fator crítico nos primeiros projetos dos centelhadores, pois, se algum pássaro tiver uma queda no centelhado, pode haver um curto-circuito e um possível desligamento do sistema.

Figura 2.1 | Centelhadores tipo “cifre”



Fonte: Coleon (2011).

#### Para-raios tipo expulsão

Dois centelhadores são montados em um tubo isolante e são ligados em série para formar um para-raios tipo expulsão. Esse para-raios tem durabilidade pequena e limitada devido ao tipo de material usado para deionização do arco elétrico.

### Para-raios de carbeto de silício (SiC)

Esse tipo de para-raios é desenvolvido com resistores não lineares de carbeto de silício (SiC). Tem a função de isolar os para-raios que estão em regime permanente e auxiliar na extinção da corrente imediata que passa pelos elementos não lineares.

### Para-raios de óxido de zinco (ZnO) sem centelhadores

Pode ser solicitado em sobretensões temporárias ou transitórias. O para-raios de óxido de zinco (ZnO) é muito usado na proteção dos sistemas elétricos. É usado na tensão fase-terra de operação dos sistemas e em condições climáticas algumas vezes bastante adversas.

### Para-raios de óxido de zinco com centelhadores

Tem como principal funcionalidade o isolamento, pois o para-raios do sistema sob condições de regime permanente é usado para fazer a reduzir a possibilidade de degradação dos elementos de ZnO.



#### Refleta

Entre as vantagens desse tipo de para-raios em relação aos para-raios de SiC, pode-se citar a maior não linearidade na característica "tensão x corrente" dos elementos não lineares de ZnO, que reduz a amplitude da corrente subsequente a valores muito baixos; e menores valores de tensão residual.

### Para-raios de óxido de zinco (ZnO) com invólucro polimérico



#### Assimile

Uma evolução tecnológica bastante significativa surgiu em meados da década de 1980, com a utilização de invólucros poliméricos.

A passagem de corrente no sistema devido às características construtivas ocasiona uma alta pressão formada por gases que podem gerar a fragmentação do invólucro. As características construtivas que devem ser destacadas é o espaçamento interno de ar entre a área ativa do para-raios e o invólucro na parte interna.



### Pesquise mais

A NBR 5410, norma que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão e apresentação normas para a proteção contra sobretensões, está disponível em: <[http://www.ceripa.com.br/\(Prote%C3%A7%C3%A3o%20Contra%20Sobretens%C3%B5es%20NBR%205410\).pdf](http://www.ceripa.com.br/(Prote%C3%A7%C3%A3o%20Contra%20Sobretens%C3%B5es%20NBR%205410).pdf)>. Acesso em: 1 jul. 2015.



### Faça você mesmo

Dê um exemplo de dispositivo de proteção contra sobretensões.



### Vocabulário

Invólucros: o que serve para envolver, cobrir; envoltório; cobertura; revestimento.

Centelhadores: dispositivos formados por dois elétrodos para permitir a passagem entre eles de cargas em forma de centelhas.

## Sem medo de errar

Agora, você deve propor um quadro mostrando as características de cada tipo de dispositivo que pode ser usado para fazer a proteção contra as sobretensões na rede elétrica. Esse será a sua segunda parte do relatório que deve ser entregue à sua contratante, a subestação.

Dispositivo	Características
Centelhadores com dielétrico de ar.	Operam entre a fase e o terra nas terminações de linha.
Para-raios tipo expulsão.	Dois centelhadores montados em um tubo isolante e ligados em série.
Para-raios de carbeto de silício (SiC).	Centelhadores montados em série com resistores não lineares.
Para-raios de óxido de zinco (ZnO) sem centelhadores.	Usado em redes de distribuição, subestações e linhas de transmissão.
Para-raios de óxido de zinco com centelhadores.	Usado em aplicação em redes de distribuição.
Para-raios de óxido de zinco (ZnO) com invólucro polimérico.	A passagem de corrente no sistema devido às características construtivas ocasiona uma alta pressão formada por gases que podem gerar a fragmentação do invólucro. As características construtivas que devem ser destacadas é o espaçamento interno de ar entre a área ativa do para-raios e o invólucro na parte interna.



### Lembre-se

O texto do *site O Setor Elétrico* mostra uma análise sobre as proteções contra sobretensão de origem atmosférica. Disponível em: <<http://www.osetoelettrico.com.br/web/colunistas/coluna/1476-protexao-contrasobretensao-de-origem-atmosferica.html>>. Acesso em: 6 jul. 2015.

## Avançando na prática

Pratique mais	
<b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.	
Escolha de dispositivos de proteção contra sobretensões	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada a sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Conhecer os princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões.
3. Conteúdos relacionados	Princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões.
4. Descrição da SP	Você, como consultor de qualidade de energia, propôs um para-raios de carbeto de silício (SiC) para a proteção de uma subestação. Mostre as justificativas para a implantação desse tipo de dispositivo.
5. Resolução da SP	Tem como principal funcionalidade o isolamento, pois o para-raios do sistema sob condições de regime permanente é usado para fazer a reduzir a possibilidade de degradação dos elementos de ZnO.



### Faça você mesmo

Cite as características do dispositivo para-raios de carbeto de silício (SiC). Pesquise sobre as vantagens de utilizar esse dispositivo.

## Faça valer a pena

**1.** Podemos elencar como a função básica dos dispositivos de proteção contra sobretensões:

a) Reduzir as amplitudes das sobretensões de frente lenta e rápida nos terminais.

- b) Isolar os dielétricos.
- c) Isolar os sistemas.
- d) Limitar a vida útil dos equipamentos.
- e) Aumentar as amplitudes das sobretensões de frente lenta e rápida.

**2.** Qual foi o primeiro dispositivo utilizado com para-raios?

- a) Para-raios de expulsão.
- b) Corta-circuito.
- c) Centelhador tipo “chifre”.
- d) Para-raios de óxido de zinco sem centelhadores.
- e) Para-raios de óxido de zinco com centelhadores.

**3.** Qual é tipo de para-raios que é constituído por um conjunto de resistores não lineares à base de ZnO?

- a) Para-raios tipo expulsão.
- b) Centelhadores com dielétrico de ar.
- c) Para-raios de invólucro polimérico.
- d) Centelhadores com dielétrico de ar.
- e) Para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) sem centelhadores.

**4.** Qual é o tipo de para-raios que tem sua principal aplicação em redes de distribuição?

- a) Para-raios tipo expulsão.
- b) Centelhadores com dielétrico de ar.
- c) Para-raios de óxido de zinco (ZnO) com centelhadores.
- d) Para-raios de invólucro polimérico.
- e) Centelhadores com dielétrico de ar.

**5.** É uma característica dos para-raios de óxido de zinco com centelhadores:

- a) O espaçamento interno de ar entre a parte ativa do para-raios e a parte interna do invólucro.
- b) A possibilidade de degradação dos elementos de silício.
- c) O para-raios tipo "válvula".
- d) O desequilíbrio térmico e a sua baixa capacidade de absorção de energia.
- e) Ser limitada a durabilidade do material utilizado para a deionização do arco elétrico.

**6.** Liste quais são os problemas que os para-raios apresentam ao longo do tempo.

**7.** Quais são as funções dos para-raios com centelhadores?



## Seção 2.3

### Sobretensões em manobras em bancos de capacitores e dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos

#### Diálogo aberto

Vimos, na seção anterior, os princípios e dispositivos de proteção contra sobretensões. Agora, vamos ver como ocorrem as sobretensões em manobras em bancos de capacitores e apresentaremos os conceitos sobre os dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos.

Você será capaz de conhecer e de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica, e um dos pontos importantes é o estudo das sobretensões e os dispositivos contra os surtos atmosféricos.

Objetivo de aprendizagem desta seção é entender o funcionamento dos transitórios em banco de capacitores.

Como vimos nas outras seções, você é um consultor de energia elétrica responsável por avaliar todos os possíveis problemas de qualidade da energia elétrica, verificar como esses problemas irão afetar o sistema, avaliar e propor soluções, além de, naturalmente, justificar o investimento nessa ou naquela solução.

Você foi contratado por uma subestação para avaliar os possíveis problemas de qualidade. Foi apresentado um relatório que mostra as sobretensões por manobras em bancos de capacitores. Espera-se que você apresente quais são os possíveis problemas que isso pode ocasionar. Essa será a sua terceira parte do relatório, que deve ser entregue à sua contratante, a subestação.

#### Não pode faltar

Sobretensões associadas às manobras em bancos de capacitores

Sobretensões transitórias podem ocorrer tanto na energização quanto na

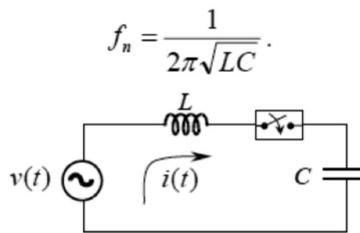
desenergização de bancos de capacitores. A manobra de um banco isolado ou a manobra de um banco com outros em paralelo são situações diferentes que devem ser consideradas quando estudamos as sobretensões (GREENWOOD, 1991).

Os conceitos básicos sobre os fenômenos transitórios que estão associados à energização e desenergização de bancos de capacitores têm grande importância para o setor energético.

As sobretensões entre fases nos transformadores instalados acontecem nos terminais receptores de linhas de transmissões. Também ocorrem os transitórios, que são oriundos das manobras de desenergização dos bancos de capacitores (IEEE WORKING GROUP, 1998).

A energização de um banco de capacitores isolado, como mostra a Figura 2.2, provoca sobretensões transitórias que podem alcançar valores de pico fase terra na ordem de 2 p.u., com uma frequência natural de oscilação (GREENWOOD, 1991).

Figura 2.2 | Energização de um banco de capacitores isolado



Fonte: Greenwood (1991).

## Dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos



### Refleta

Usar um dispositivo de proteção é uma forma de aterramento, que é usado na instalação prevendo o acontecimento de surtos de tensão e corrente com níveis que podem prejudicar os equipamentos.

O nome dos dispositivos de proteção deveria ser dispositivo de aterramento transitório, pois sua função é mais que a proteção e pode ser utilizado de uma melhor forma do que apenas proteger contra surtos.

Quanto à proteção de uma instalação de um sistema eletrônico contra descargas atmosféricas e seus efeitos, é conveniente a aplicação do conceito de zonas de proteção para o projeto e implementação do sistema de aterramento.

É importante o efeito de blindagem que pode ser obtido na zona de proteção e deve ser bem configurado no sistema de aterramento. Os componentes usados para limitar as tensões transitórias são os dispositivos de proteção contra surtos (DPS).

Os dispositivos podem ser classificados em:

- DPS Classe I: corrente de impulso, caracterizada, tipicamente, pela forma de onda 10/350us (Iimp), com amplitude de acordo com o nível de proteção do SPDA (ABNT 5410).
- DPS Classe II: corrente de descarga nominal, caracterizada pela forma de onda 8/20us (In); mínimo de 5 kA por polo, para a passagem da zona de proteção 1 para 2 (ABNT 5410).
- DPS Classe III: forma de onda combinada (1.2/50 us; 8/20 us), normalmente a tensão de circuito aberto do gerador (2.5 kV), para a passagem da zona de proteção 2 para 3 (ABNT 5410).



### Exemplificando

- Para DPS Classe I, temos: 12,5 kA F-PE num esquema TN-C de 4 condutores, com nível de proteção III ou IV do SPDA para a passagem da zona de proteção 0 para 1 (ABNT 5410);



### Assimile

Os DPS podem ser instalados ao longo dos cabos de comunicação para reduzir a amplitude das sobretensões acopladas.



### Pesquise mais

O artigo “Estudo de Surtos Decorrentes de Manobras em Bancos de Capacitores – Procedimentos Computacionais e Medidas Mitigadoras” irá auxiliá-lo no seu entendimento sobre as sobretensões em manobras de banco de capacitores. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/96708.PDF>>. Acesso em: 1 jul. 2015.



### Faça você mesmo

Liste as classes de dispositivos de proteção contra sobretensões.



## Vocabulário

**Blindagem:** cobrir, revestir ou envolver com qualquer material ou substância resistente ou impermeável, feita para abrigar ou proteger.

**Desenergização:** ação de retirar a energia. Fazer com que não haja mais energia.

## Sem medo de errar

Foi apresentado um relatório que mostra as sobretensões por manobras em bancos de capacitores. Espera-se que você apresente quais são os possíveis problemas que isso pode ocasionar. Essa será a sua terceira parte do relatório que deve ser entregue à sua contratante, a subestação.

A ampliação de surto de tensão pode ser causada pela manobra de um banco de capacitores, podendo ser muito severa.

A energização de um banco de capacitores isolado gera sobretensões transitórias com pico fase de ordem de 2 p.u, sendo que a diferença de potencial entre dois bancos pode ser extinta pela redistribuição de cargas.

As reflexões geradas de surtos de tensões em manobras de banco de capacitores remotos exercem ressonâncias internas nos transformados e possíveis falhas nos enrolamentos.



## Lembre-se

O vídeo mostra uma reportagem sobre as descargas atmosféricas, assim como a utilização dos dispositivos de proteção contra surtos (DPS). Disponível em: <[https://youtu.be/3x7-q5A\\_J1M](https://youtu.be/3x7-q5A_J1M)>. Acesso em: 6 jul. 2015.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.

"Dispositivo de Aterramento transitório"	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada a sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Entender o funcionamento dos transitórios em banco de capacitores.
3. Conteúdos relacionados	Sobretensões em manobras em bancos de capacitores e dispositivos de proteção contra surtos atmosféricos.
4. Descrição da SP	Você, como consultor de qualidade de energia, deve mostrar para que serve um dispositivo de aterramento transitório (DAT).
5. Resolução da SP	Sua função não é apenas ser um dispositivo de proteção contra surtos; sua finalidade é também a proteção contra descargas atmosféricas.



### Faça você mesmo

Explique como um surto pode desviar de um equipamento com a utilização de um dispositivo de proteção contra surtos.

### Faça valer a pena

**1.** As sobretensões entre fases se originam em:

- contatos do disjuntor de chaveamento.
- corrente de impulso.
- onda combinada.
- reflexões de ondas dos surtos de tensão de manobra de energização de capacitores remotos.
- descarga nominal.

**2.** As sobretensões transitórias podem ocorrer em:

- Desenergização de banco de capacitores.
- Energização de banco de capacitores.
- Ligações em capacitores.

Qual alternativa é correta?

- I, II e III.
- I e II.

- c) I e III.
- d) I.
- e) III.

**3.** Podemos dizer que um dispositivo de proteção contra surtos (DPS) é:

- a) um componente utilizado para limitar tensões transitórias.
- b) feito por cabo de energia, linhas de telefone e cabos de antenas.
- c) disjuntor de chaveamento.
- d) sistema de ligação de energia.
- e) equipamentos de resistência e condutividade.

**4.** As manobras de desenergização só provocam sobretensões quando há:

- a) corrente de impulso.
- b) uma onda combinada.
- c) a reigitação na abertura dos contatos do disjuntor de chaveamento.
- d) reflexões de ondas dos surtos de tensão de manobra de energização de capacitores remotos.
- e) descarga nominal.

**5.** Classifique os dispositivos de proteção contra sobretensões.

**6.** Qual é o destino das correntes de um surto?

- a) O sistema de aterramento.
- b) Os dispositivos dos circuitos.
- c) Os disjuntores.
- d) O chaveamento.
- e) Os circuitos instalados nas linhas de transmissão.

**7.** Por que as normas nacionais e internacionais nomeiam os dispositivos de proteção como sendo dispositivos de aterramento transitório (DAT)?

## Seção 2.4

### Fundamentos de harmônicos e distorções harmônicas de tensão e corrente

#### Diálogo aberto

Conceituamos a qualidade de energia como o conjunto de parâmetros elétricos que, quando medido em sistemas, componentes e/ou em cargas que alimentam, deve estar dentro de uma faixa satisfatória sem perda significativa de desempenho e vida útil.

Se a carga está sendo acionada pela energia elétrica e operando de forma correta, aí temos a qualidade de energia propriamente dita.

Vários fenômenos são abrangidos quando estudamos a qualidade de energia; os fenômenos eletromagnéticos são um dos tipos de fenômenos.

Você será capaz de conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica, e os fundamentos das distorções harmônicas de tensão e corrente o ajudaram a alcançar essa competência.

Estudar os fundamentos de harmônicos e distorções harmônicas de tensão e corrente é o nosso objetivo para essa seção de autoestudo.

Como vimos nas outras seções, você é um consultor de energia elétrica responsável por avaliar todos os possíveis problemas de qualidade da energia elétrica, verificar como esses problemas irão afetar o sistema, avaliar e propor soluções, além de, naturalmente, justificar o investimento nesta ou naquela solução. Você foi contratado por uma subestação para avaliar os possíveis problemas de qualidade.

Foi apresentado um relatório que mostra as sobretensões por manobras em bancos de capacitores. Agora, você apresentará uma relação entre as diferentes categorias de distúrbios elétricos com suas respectivas duração e métodos de caracterização. A presença de um ou mais desses fenômenos é condição para a perda de qualidade da energia. Essa será a quarta parte do relatório que você entregará à sua contratante, a subestação.

## Não pode faltar

Qualidade de energia elétrica é o conjunto de limites de propriedades elétricas que permite que sistemas elétricos, seus componentes e as cargas que alimentam operem de forma satisfatória, sem perda significativa de desempenho e de vida útil. O termo é usado para descrever a energia elétrica que aciona uma carga elétrica, fazendo-a operar corretamente. Sem uma alimentação adequada, um dispositivo elétrico (ou carga) pode operar inadequadamente ou incorretamente, falhar prematuramente ou simplesmente não funcionar.

A qualidade da energia elétrica é um conceito guarda-chuva, que abrange uma variedade de fenômenos eletromagnéticos.

O fenômeno denominado de "harmônico em sistemas elétricos" será objeto de estudo neste curso. Na engenharia, o termo "harmônico" ou "harmônica" é usado indistintamente.

### Harmônicos



#### Refleta

Harmônicos são componentes senoidais ou cossenoides de uma onda periódica distorcida, com frequências que são múltiplas inteiras da frequência fundamental.

Em um sistema elétrico que opera, por exemplo, em 60 Hz, a 2ª harmônica é 120 Hz, a 3ª harmônica é 180 Hz e a  $n$ ésima harmônica é  $n \cdot 60$ . Os sinais com frequências que estão situadas entre aquelas múltiplas inteiras da fundamental são denominados inter-harmônicas (100 Hz), ou seja, apresentam frequências não múltiplas inteiras da fundamental. Sinais com frequências abaixo da fundamental são chamados sub-harmônicas (8 Hz) e, muitas vezes, contribuem para o fenômeno da cintilação da luz. Os harmônicos, inter-harmônicos e sub-harmônicos têm a propriedade de causar deformação em uma onda senoidal, tornando-a distorcida. O quadro 2.1 sumariza as classes de harmônicas.

Quadro 2.1 | Componentes espectrais de formas de onda de frequência  $f$

Harmônica	$f = hf_1$ em que $h$ é um número inteiro maior do que um
Componente cc	$f = hf_1$ para $h=0$
Inter-harmônica	$f = hf_1$ em que $h$ é um não inteiro maior do que um
Sub-harmônica	$f > 0 \text{ Hz}$ e $f < f_1$
$f_1 = \text{frequência fundamental da onda}$	

Fonte: Elaborado pela autora (2015).

A presença de harmônicos em um sinal elétrico não é um fenômeno novo. A preocupação com a distorção harmônica surgiu durante o início da história dos sistemas de potência em Ca. As correntes harmônicas de terceira ordem causadas pela saturação magnética do ferro em transformadores e máquinas, e as correntes harmônicas produzidas pela corrente de magnetização dos transformadores causavam interferência indutiva nos sistemas de telefonia com condutores nus. A interferência era, às vezes, tão severa que a comunicação de voz tornava-se impossível. Esse problema foi estudado e mitigado pela filtragem e imposição de limites de projeto nas correntes de magnetização de transformadores.

Mais recentemente, os harmônicos têm se destacado pela coexistência de duas tendências: o crescente uso de banco de capacitores nos sistemas de potência para a melhoria do fator de potência e a crescente aplicação na indústria, comércio, residências e serviços da eletrônica incorporada aos equipamentos elétricos para aumento da eficiência e confiabilidade dos equipamentos. A presença simultânea de bancos de capacitores para a correção de fator de potência e de cargas eletrônicas pode resultar na amplificação da tensão e corrente por ocorrência de ressonância.

Com a popularização dos equipamentos que fazem uso da eletrônica, problemas de qualidade de energia nas instalações começaram a surgir, do tipo: disparos intempestivos de disjuntores, sobreaquecimento de transformadores, corrente excessiva nos condutores neutros, explosões de capacitores de correção de fator de potência, dentre outros. Tais problemas, em sua grande maioria, têm como causa a presença de harmônicos decorrentes do novo perfil da carga de natureza não linear, que leva à distorção em estado permanente na forma de onda da corrente e da tensão.

Estudos de harmônicos são realizados para investigar o impacto de dispositivos não lineares, calcular os níveis de distorção harmônica, detectar condições de ressonância e determinar requisitos de filtragem de uma instalação ou sistema elétrico. Uma varredura em frequência é realizada, a qual consiste em determinar a magnitude da impedância diagonal em diferentes barras de interesse versus a variação de frequência, útil na identificação de ressonância. Uma redução significativa na magnitude da impedância implica em ressonância série. Por outro lado, a ressonância paralela é identificada pelo aumento acentuado na impedância.

### **Distorções harmônicas**

A necessidade moderna de maior eficiência e melhor controle dos processos industriais e de dispositivos, equipamentos e aparelhos eletrônicos exige o uso intensivo de semicondutores (diodos, tiristores, GTOs, IGBTs etc.), normalmente não lineares, com correntes não proporcionais à tensão aplicada, resultando em ondas distorcidas em relação à senoide da tensão original. Outras cargas não lineares (CNL), como os fornos elétricos a arco e lâmpadas fluorescentes, também produzem distorções de forma de onda.

As correntes distorcidas, ao circularem pelas impedâncias da rede elétrica, provocam distorções nas formas de onda de tensão, levando a outras distorções. Essas ondas, se periódicas, podem ser decompostas em uma série, conhecida como série de Fourier, constituída por um componente de c. c. (valor médio) e por senoides de diferentes amplitudes, frequências e ângulos de fase. A componente senoidal, de mesma frequência da onda distorcida original, é a componente fundamental. As demais componentes senoidais, chamadas harmônicas, têm frequências múltiplas inteiras (de ordem  $h$ ) da fundamental.

Muitos estudos foram realizados, nas décadas iniciais do século XX, para avaliar as distorções oriundas de saturação e forma geométrica dos materiais magnéticos de geradores, transformadores, motores etc. Essas distorções foram reduzidas com materiais magnéticos de melhor qualidade, novos projetos e ligações mais convenientes dos transformadores e motores trifásicos.

Em décadas mais recentes, assistiu-se à utilização de retificadores de potência de grande porte na tração ferroviária, em processos eletroquímicos e na transmissão HVDC.

Nos anos 1970, houve uma grande revolução no setor, com a oferta comercial dos primeiros dispositivos de potência a semicondutores. Os conversores utilizados em acionamentos a velocidade variável (AVVs) provocaram um aumento da demanda por fontes de alimentação controladas, não lineares, isto é, produtoras de harmônicos.

Assim, foi desenvolvida uma série de conversores, para diversas finalidades: choppers, pontes retificadoras, pontes inversoras e ciclo conversores a diodos e tiristores. Surgiram outros dispositivos da nova geração, também a semicondutores, como: Triacs, BJTs – *Bipolar Power Transistors*, GTOs – *Gate Turn off - Thyristors*, IGBTs – *Insulated Gate Bipolar Transistors*, MOSFETs – *Mos Field Effect Transistors*, e, mais recentemente, os SITs – *Static Induction Transistors*, SITH – *Static Induction Thyristors* e MCTs – *MOS Controlled Thyristors*.

As fontes harmônicas de baixa potência (PNLs - *Proliferating Non-Linear Loads*), como PCs e TVs, lâmpadas fluorescentes com reatores eletrônicos, pelo seu grande número nas instalações comerciais, de ensino e residenciais etc., vieram a constituir-se, também, em fontes disseminadoras de harmônicos. Além disso, muitas dessas cargas poluidoras são, também, sensíveis às distorções harmônicas.

Caracterização das cargas das redes elétricas:

Quanto às distorções, as cargas dos sistemas elétricos de potência podem ser caracterizadas em 3 classes:

- cargas não perturbadoras, quando estão em operação, não perturbam de maneira

significativa a forma de onda das tensões da rede ou das tensões aplicadas a outros equipamentos; são chamadas de cargas lineares (CL);

- cargas perturbadoras são aquelas que ocasionam problemas na rede elétrica e nos equipamentos, pois têm formas de ondas distorcidas, sendo chamadas de cargas não lineares (CNL);
- Cargas sensíveis são aquelas que são vítimas da qualidade de energia elétrica e têm suas características modificadas de maneira súbita com as distorções harmônicas.

### Cargas lineares



#### Assimile

Cargas lineares são resistências, capacitâncias e indutâncias não saturadas, cujos valores não se alteram com os diferentes níveis de tensão e/ou corrente que lhes são aplicadas, dentro das faixas de valores previstos.

Para uma carga resistiva linear, a frequência tem, em geral, pouco efeito sobre a magnitude da corrente. Algumas vezes, particularmente em função do efeito pelicular, as variações com a frequência devem ser consideradas (maior precisão da análise). Os valores das reatâncias (indutivas ou capacitivas), mesmo para componentes lineares, são função da frequência.

### Corrente cargas não lineares concentradas

Os equipamentos de maior porte (potências concentradas de alguns KW, até MW) sempre mereceram grande atenção, dentro do grupo das cargas não lineares, pelo valor das distorções de corrente e tensão e efeitos produzidos na rede e outros equipamentos das plantas industriais.



#### Exemplificando

Entre as CNL de grande porte, podem-se citar os retificadores e/ou inversores utilizados:

- a) para o acionamento à velocidade variável de motores de c.c. e c.a;
- b) nos sistemas de transmissão em corrente contínua-HVDC;
- c) nos processos eletroquímicos.

Além delas, as cargas concentradas: máquinas de solda elétrica, fornos a arco e dispositivos FACTS – *Flexible Alternating Current Transmission Systems*. Entre eles, os CCTs – Capacitores Chaveados a Tiristor, RCTs – Reatores Controlados a Tiristor, o SVC – *Static Var Compensators*, IPC – *Interphase Power Controllers*, UPFC – *Unified Power Flow Controllers* etc. produzem harmônicos e precisam de meios para sua atenuação/mitigação.

Algumas cargas concentradas, encontradas em algumas instalações industriais, são os retificadores a tiristores, montados em ponte, com variado número de pulsos.

### **Influência das tensões e correntes harmônicas sobre os equipamentos**

Redes elétricas: sobreaquecimento nos condutores aéreos, cabos isolados e equipamentos principais levando às perdas na expectativa de sua vida útil. Podem, também, induzir ruídos nas linhas de comunicação próximas e adjacentes.

Máquinas rotativas: sobreaquecimento devido ao aumento das perdas no ferro e no cobre, afetando, principalmente, sua eficiência e o conjugado disponível. A presença de harmônicos no fluxo pode produzir alterações no acionamento, como componentes instantâneos de conjugado que atuam ora no mesmo sentido, ora no sentido oposto ao da fundamental. O efeito cumulativo do aumento das perdas diminui a vida útil da máquina e a sua eficiência (redução da ordem de 5 a 10% dos valores obtidos com uma alimentação senoidal).

Transformadores: aumento das perdas no ferro pelos harmônicos de tensão e perdas no cobre pelos harmônicos de corrente, devido ao efeito pelicular, implicando numa redução da área efetivamente condutora à medida que se eleva a frequência da corrente.

Cabos: em razão do efeito pelicular, que restringe a seção condutora para componentes de frequência elevada, os cabos de alimentação têm um aumento de perdas devido às correntes harmônicas. Além disso, o chamado “efeito de proximidade” corresponde a um aumento na resistência do condutor, em função do efeito dos campos magnéticos produzidos pelos demais condutores colocados na vizinhança.

Aparelhos-medição: aparelhos de medição e instrumentação em geral são afetados por harmônicos, especialmente se ocorrerem ressonâncias que afetam as grandezas medidas.

Capacitores: neles, o maior problema é a possibilidade de ocorrência de ressonância entre este equipamento e a impedância da rede (tipicamente indutiva), excitada pelos harmônicos, podendo produzir níveis excessivos de corrente e/ou tensão. As correntes de alta frequência encontrarão um caminho de menor impedância pelos capacitores, elevando, assim, suas perdas ôhmicas. O aumento no seu aquecimento encurta a

vida útil do capacitor, podendo até mesmo destruí-lo. Além disso, as sobretensões de regime permanente, associadas às sobretensões resultantes da distorção harmônica, causam a diminuição da vida útil por ação do efeito corona, além de poder causar a queima instantânea do equipamento, por rompimento do isolamento.

Relés de proteção e elos fusíveis: para os relés de proteção não é possível definir completamente suas respostas, devido à variedade de distorções possíveis e aos diferentes tipos de dispositivos existentes. Um aumento da corrente eficaz devido à distorção harmônica sempre provocará um maior aquecimento, ocasionando uma redução em sua vida útil e, eventualmente, sua operação inadequada.

Equipamentos eletrônicos e de informática: alguns equipamentos podem ser muito sensíveis à distorção na forma de onda de tensão. Caso as distorções harmônicas sejam elevadas no seu circuito de alimentação, o seu funcionamento pode ser alterado, levando-os a ações indevidas nos sistemas de controle ou a erros e paradas em dispositivos microprocessados.



### Pesquise mais

O "artigo" mostra uma análise das distorções harmônicas de tensão a partir de características dos transformadores e de dados de consumo. Disponível em: <<http://www.ppgmne.ufpr.br/arquivos/diss/189.pdf>>. Acesso em: 2 jul. 2015. Trata-se de uma leitura que ajudará nos seus conhecimentos sobre as distorções harmônicas.



### Faça você mesmo

Cite como são as influências das tensões e correntes harmônicas sobre os equipamentos elétricos.

## Sem medo de errar

Agora você apresentará uma relação entre as diferentes categorias de distúrbios elétricos, com suas respectivas duração e métodos de caracterização. A presença de um ou mais desses fenômenos é condição para a perda de qualidade da energia. Essa será a quarta parte do relatório que você entregará à sua contratante, a subestação.

Quadro 2.2 | Caracterização dos distúrbios elétricos

	Tipos de Distúrbios	Duração	Métodos de Caracterização
Eventos	Transitório impulsivo	Curta duração	Tempo de subida Magnitude de pico Duração
	Transitório oscilatório	Curta duração	Tempo de Subida Banda de frequência Magnitude de pico
	Interrupção	Curta duração	Magnitude Duração Frequência de ocorrência
	Afundamento de tensão	Curta duração	Magnitude Duração Frequência de ocorrência
Frequências Sustentadas	Sobretensão	Estado permanente	Magnitude Duração
	Subtensão	Estado permanente	Magnitude Duração
	Interrupção	Estado permanente	Duração Frequência de ocorrência
	Flutuação de tensão	Estado permanente	Variação da Magnitude Frequência de Modulação Frequência de Ocorrência
	Desequilíbrio de tensão	Estado permanente	Fator de desequilíbrio
	Ruídos	Estado permanente ou Curta duração	Magnitude Espectro de frequência
	Notches ou cortes	Estado permanente	Magnitude Espectro de frequência
	Harmônicos	Estado permanente	Espectro harmônico

Fonte: Elaborado pelo autor (2015).



### Atenção!

A principal função dos estudos de harmônicos realizados para investigar o impacto de dispositivos não lineares é calcular os níveis de distorção harmônica, detectar condições de ressonância e determinar requisitos de filtragem de uma instalação ou sistema elétrico.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.

"Análise de cargas"	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada a sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Estudar os fundamentos de harmônicos e distorções harmônicas de tensão e corrente.
3. Conteúdos relacionados	Fundamentos de harmônicos.
4. Descrição da SP	Faça uma análise das cargas dos sistemas elétricos de potência quanto às distorções.
5. Resolução da SP	Cargas não perturbadoras, quando estão em operação, não perturbam de maneira significativa a forma de onda das tensões da rede ou das tensões aplicadas a outros equipamentos; são chamadas de cargas lineares (CL). Cargas perturbadoras são aquelas que ocasionam problemas na rede elétrica e nos equipamentos, pois têm formas de ondas distorcidas; são chamadas de cargas não lineares (CNL). Cargas sensíveis são aquelas que são vítimas da qualidade de energia elétrica e têm suas características modificadas de maneira súbita com as distorções harmônicas.



### Lembre-se

Quando fazemos a análise das cargas segundo suas distorções, podemos classificá-las em: cargas não perturbadoras ou cargas lineares, cargas perturbadoras ou cargas não lineares e ainda cargas sensíveis.

### Faça valer a pena!

#### 1. Defina o que são cargas perturbadoras:

- a) Aquelas que são vítimas da qualidade de energia elétrica e têm suas características modificadas de maneira súbita com as distorções harmônicas.
- b) Aquelas que ocasionam problemas na rede elétrica e nos equipamentos, pois têm formas de ondas distorcidas.
- c) Aquelas que não perturbam de maneira significativa a forma de onda das tensões da rede ou das tensões aplicadas a outros equipamentos.
- d) Aquelas que produzem redução da área efetivamente condutora, à medida que se eleva a frequência da corrente.
- e) Aquelas que são responsáveis pelo aumento do aquecimento no capacitor.

**2.** As cargas não perturbadoras podem ser definidas como:

- a) aquelas que são vítimas da qualidade de energia elétrica e têm suas características modificadas de maneira súbita com as distorções harmônicas.
- b) aquelas que ocasionam problemas na rede elétrica e nos equipamentos, pois têm formas de ondas distorcidas.
- c) aquelas que não perturbam de maneira significativa a forma de onda das tensões da rede ou das tensões aplicadas a outros equipamentos.
- d) aquelas que produzem redução da área efetivamente condutora, à medida que se eleva a frequência da corrente.
- e) aquelas que são responsáveis pelo aumento do aquecimento no capacitor.

**3.** Como podemos definir as cargas sensíveis?

- a) Aquelas que provocam problemas na rede elétrica e não modificam as distorções harmônicas.
- b) Aquelas que ocasionam problemas na rede elétrica e nos equipamentos, pois têm formas de ondas distorcidas.
- c) Aquelas que não perturbam de maneira significativa a forma de onda das tensões da rede ou das tensões aplicadas a outros equipamentos
- d) Aquelas que produzem redução da área efetivamente condutora, à medida que se eleva a frequência da corrente.
- e) Aquelas que são vítimas da qualidade de energia elétrica e têm suas características modificadas de maneira súbita com as distorções harmônicas.

**4.** Um sistema elétrico opera em 60 Hz. Nesse sistema, qual será a 5ª harmônica?

- a) 300 Hz.
- b) 240 Hz.
- c) 180 Hz.
- d) 600 Hz.
- e) 900 Hz.

**5.** Para os sistemas elétricos que operam em 50 Hz, qual será a 2ª harmônica?

- a) 120 Hz.
- b) 150 Hz.
- c) 180 Hz.
- d) 100 Hz.
- e) 200 Hz.

**6.** Mostre a influência das tensões e correntes harmônicas sobre as redes elétricas e os transformadores.

**7.** Como as tensões e correntes harmônicas agem sobre os capacitores?



# Referências

AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 1 jun. 2015.

ALDABÓ, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 6939/1999** – “Coordenação do Isolamento – Procedimento” – 1º Projeto de Revisão da NBR 6939/1987. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão: electrical installations of buildings – Low voltage. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr\\_5410.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf)>. Acesso em: 3 ago. 2015.

CHAPMAN, David. **Guia de aplicação de qualidade de energia**: fundamentos de tensão. 2002. Disponível em: <<http://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2009/06/51-afundamento-introducao.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

COURY, D. V.; SANTOS, C. J. dos; TAVARES, M. C., Transient analysis resulting from shunt capacitor switching in an actual electrical distribution system”. **8th ICHQP Proceedings**, Greece, v. 1, p. 292-297, oct. 1998.

COLEON, Richard. **Evolução dos dispositivos de proteção contra sobretensões**. Disponível em: <<https://richardcoleon.files.wordpress.com/2011/12/capc3adtulo-2.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. New York: McGraw-Hill, 1996.

GREENWOOD, A. **Electrical transients in power systems**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 751p.

IEEE Working Group. IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. **IEEE Standards Board**, jun. 1995.

SANCHES, Durval. **Interferência eletromagnética**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.



## Medição dos Parâmetros de Qualidade da Energia

### Convite ao estudo

Os processos industriais estão cada vez mais sensíveis a pequenas perturbações que ocorrem frequentemente nos sistemas elétricos. A qualidade da energia visa estabelecer parâmetros de medição que possibilitam minimizar os efeitos dessas perturbações.

A qualidade da energia permite o monitoramento e a análise dos principais indicadores da qualidade da energia elétrica. As principais ações são medição e registro de distorção harmônica, nível de tensão, variações de tensão de curta duração, flutuação de tensão e desequilíbrios. Os objetivos dessas ações de medição é estabelecer os requisitos mínimos para medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição aplicáveis ao faturamento, à qualidade da energia elétrica, ao planejamento da expansão e à operação do sistema de distribuição.

A competência de fundamentos de área da disciplina é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Os objetivos de aprendizagem da unidade são:

- Conhecer alguns dos parâmetros de qualidade da energia utilizados para a medição da qualidade da energia.
- Conhecer a variação de tensão de longa duração e princípios e dispositivos de regulação de tensão.

- Aprender como o emprego de bancos de capacitores pode ser utilizado para a regulação de tensão.
- Conhecer a avaliação da qualidade da energia e o processo de avaliação de índices de tensão eficaz.

Dentro desse contexto, imagine a seguinte situação:

“Você foi aceito em um projeto de uma concessionária de energia, e o setor em que você vai trabalhar é o setor de medições de parâmetros de qualidade da energia. Sua responsabilidade é coletar informações sobre os parâmetros de qualidade da energia elétrica e organizá-las para que o setor consiga tomar decisões para minimizar as perturbações que afetam a qualidade da energia elétrica que é distribuída pela concessionária”.

## Seção 3.1

### Índices Harmônicos e Sistema Inter-Harmônicos

#### Diálogo aberto

As especificações dos sistemas de medição uniformizam os critérios para as especificações dos sistemas de medição de energia elétrica utilizados nas conexões de acesso aos sistemas de distribuição destinados ao faturamento da energia elétrica, ao planejamento da expansão do sistema e à qualidade da energia elétrica.

Não se esqueça da competência de fundamentos de área da disciplina que é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

O objetivo de aprendizagem desta seção é conhecer alguns dos parâmetros de qualidade da energia utilizados para a medição da qualidade da energia.

Como dito no item “Convite ao Estudo”, você foi aceito em um projeto de uma concessionária de energia. O setor em que você vai trabalhar é o setor de medições de parâmetros de qualidade da energia, sendo a sua responsabilidade a de coletar informações sobre os parâmetros de qualidade da energia elétrica e organizá-las para que o setor consiga tomar decisões para minimizar as perturbações que afetam a qualidade da energia elétrica que é distribuída pela concessionária.

Você deve caracterizar os harmônicos e os inter-harmônicos a fim de estabelecer as suas principais características e facilitar a sua identificação em um processo de medição.

#### Não pode faltar!

Vamos distinguir os inter-harmônicos dos harmônicos.

Os inter-harmônicos (harmônicos não múltiplos de 60 Hz) costumam originar-se em cargas com formas de correntes não periódicas em 60 Hz (por exemplo, cicloconvertidores e fornos a arco).



### Exemplificando

Os inter-harmônicos ocorrem em cargas como cicloconversores e fornos a arco.

A origem dos harmônicos são as cargas eletrônicas que têm correntes periódicas de 66 Hz não senoidais. As distorções harmônicas, se comparadas com os transientes de corrente e tensão, são diferentes e podem ser consideradas uma energia que não está limpa.



### Exemplificando

Os harmônicos prevalecem onde há uma grande quantidade de cargas não lineares, como computadores, reatores eletrônicos, máquinas eletrônicas ou equipamentos que têm fontes chaveadas com capacitores e diodos não lineares.

## Índices de Qualidade

A Aneel, após a privatização das concessionárias, criou o conceito de consumidor livre, aquele com direito de comprar energia de qualquer concessionária, e não apenas daquela cuja concessão cobre a área onde o consumidor está instalado.



### Refleta

Desde 8 de julho de 2000, são livres todos aqueles consumidores de energia elétrica com demandas acima de 3 MW, e alimentados com tensão igual ou superior a 69 kV. Existem apenas 2 casos no Brasil de consumidores que trocaram de concessionária: Volkswagen (Taubaté/SP) e Carbochloro (Cubatão/SP).

MEHL, E. L. M. Qualidade da Energia Elétrica, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/qualidade-energia.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

Cresceu muito em importância a qualidade da energia entregue, pois aumentou a demanda requerida de energia elétrica. As quedas de tensão são de tipicamente 0,5 a 30 ciclos e as interrupções de normalmente dois a cinco segundos. As interrupções são normalmente causadas por manutenção na linha. As quedas de tensão são normalmente causadas por falhas na alimentação ou pela partida de cargas muito grandes como motores. As falhas na alimentação são causadas tipicamente por alguma sobrecarga momentânea (ANEEL, 2015).

Por causa da queda de tensão, o fator de potência dos motores decresce muito e o torque de partida também cai fazendo com que o período do arranque fique bem maior, aumentando, portanto, a gravidade da queda de tensão (ANEEL, 2015).

Os índices que avaliam o desempenho das concessionárias são denominados DEC e FEC. O primeiro, a DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora), indica o número de horas em média durante as quais um consumidor fica sem energia elétrica, por mês geralmente; e o segundo, a FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora), indica quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc.) (ANEEL, 2015).

Outros indicadores também podem ser utilizados para qualidade de energia, o DIC (Duração de Interrupção por Unidade Consumidora) e o FIC (Frequência de Interrupção por Unidade Consumidora). O primeiro e o segundo, respectivamente, indicam por quanto tempo e o número de vezes que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado. Um outro índice muito utilizado pela concessionária é o DMIC (Duração Máxima de Interrupção por Unidade Consumidora), que indica tempo máximo de cada interrupção, impedindo que a concessionária deixe o consumidor sem energia elétrica durante um período muito longo (ANEEL, 2015).

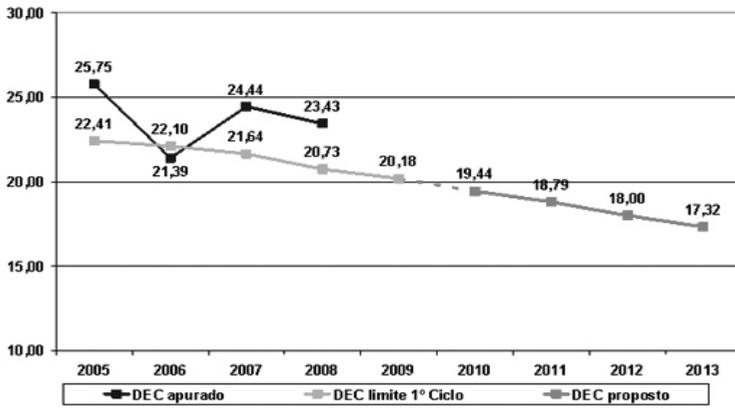


### Assimile

A DEC e a FEC são consideradas os mais importantes indicadores de qualidade dos serviços prestados por uma companhia de energia. (ANEEL, 2015)

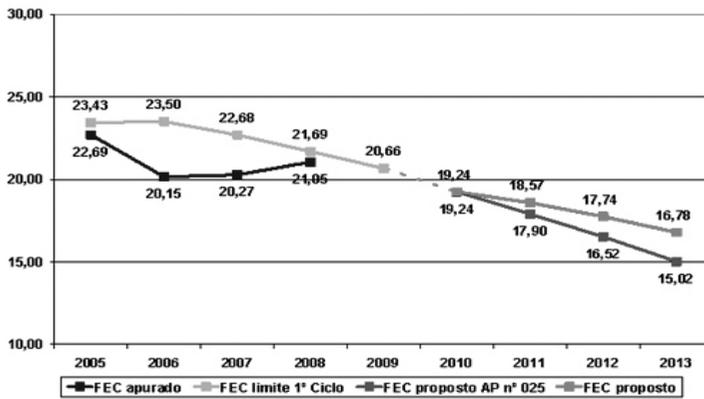
Os gráficos a seguir mostram os limites propostos para o indicador de DEC (gráfico 1) e FEC (gráfico 2) até 2013.

Gráfico 3.1 – Limites propostos para o indicador DEC



Fonte: Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/gif/graf2.jpg>>. Acesso em: 10 nov. 2015.

Gráfico 3.2 – Limites propostos para o indicador FEC



Fonte: Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/arquivos/gif/graf1.jpg>>. Acesso em: 10 nov. 2015.



### Pesquise mais

Ao assistir ao vídeo, você conhecerá um pouco mais sobre as harmônicas que ocorrem nos sistemas de potência.

Disponível em: <<https://youtu.be/feUFP-bohmk>>. Acesso em: 21 ago. 2015.



### Faça você mesmo

Pesquise novos exemplos para os inter-harmônicos e as harmônicas.

### Sem medo de errar!

Para o projeto que você foi aceito, você deve caracterizar os harmônicos e os inter-harmônicos, a fim de estabelecer as suas principais características e facilitar a sua identificação em um processo de medição.

Os inter-harmônicos (harmônicos não múltiplos de 60 Hz) costumam originar-se em cargas com formas de correntes não periódicas em 60 Hz (por exemplo, cicloconversores e fornos a arco).

Os harmônicos são originados por cargas eletrônicas que consomem correntes periódicas de 60 Hz não senoidais. As distorções harmônicas são um tipo específico de energia que se apresenta de forma contínua. Elas estão associadas ao crescente número de acionamentos estáticos (inversores de frequência, variadores de velocidade, entre outros.), fontes chaveadas e outros dispositivos eletrônicos de acionamento (lâmpadas eletrônicas, por exemplo).



### Lembre-se

Para se aprofundar mais no tema harmônicos e inter-harmônicos, você pode acessar o *link* disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a4.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

### Avançando na prática

#### Pratique mais

##### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que podem ser encontradas no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com as de seus colegas.

"Avaliação de Parâmetros de Medição"	
1. Competência de Fundamentos de Área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia.
2. Objetivos de aprendizagem	Conhecer alguns dos parâmetros de qualidade da energia utilizados para a medição da qualidade da energia.
3. Conteúdos relacionados	DEC e FEC.
4. Descrição da Situação-Problema	Seu chefe lhe pediu que analisasse os gráficos 3.1 e 3.2 dos índices de DEC e FEC e desenvolvesse um parecer sobre a qualidade da energia.
5. Resolução da Situação-Problema	A DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) mostra o número de horas em média, dentro de um mês geralmente, durante as quais um consumidor fica sem energia elétrica (ANEEL, 2015). A FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora) mostra a quantidade de vezes, em média, em que houve interrupção na unidade consumidora, seja em residências, seja no comércio e na indústria (ANEEL, 2015). Analisando os gráficos 3.1 e 3.2, percebemos que monitoramento da qualidade de energia propõe que os índices tanto de DEC quanto de FEC continuem diminuindo com o tempo, o que faz com que melhore a qualidade da energia elétrica.



### Lembre-se

DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) – mostra número de horas em média durante as quais um consumidor fica sem energia elétrica mensalmente.

FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora) - mostra quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora.



### Faça você mesmo

Pesquise sobre a importância dos índices DEC e FEC para a qualidade de energia.

**Faça valer a pena!**

**1.** Qual é a origem dos inter-harmônicos?

- a) Cargas com formas de correntes não periódicas em 60 Hz.
- b) Cargas com formas de correntes periódicas em 100 Hz.
- c) Cargas com formas de correntes periódicas em 120 Hz.
- d) Cargas com formas de correntes não periódicas de 40 Hz.
- e) Cargas com formas de correntes periódicas em 10 Hz.

**2.** Qual é a definição de distorções harmônicas?

- a) Retificador trifásico que aciona um sistema.
- b) Falhas na alimentação que causam uma sobrecarga no sistema.
- c) Tipo de energia suja que se apresenta de forma contínua e está associada ao número crescente de acionamentos.
- d) Cargas não eletrônicas que consomem a tensão.
- e) Sobrecarga permanente que gera prejuízos ao sistema.

**3.** Qual é a causa mais comum para as quedas de tensão?

- a) Cargas muito pequenas.
- b) Sobrecarga permanente.
- c) Carga em máquinas pequenas.
- d) Falhas na alimentação.
- e) Energia limpa.

**4.** Como se caracteriza o índice DEC (duração equivalente de interrupção por unidade consumidora)?

a) Número de segundos, em média, durante os quais um consumidor fica sem energia, de periodicidade mensal.

b) Número de minutos, em média, durante os quais um consumidor fica sem energia, de periodicidade mensal.

c) Número de horas, em média, durante as quais um consumidor fica sem energia, de periodicidade mensal.

d) Número de dias, em média, durante os quais um consumidor fica sem energia, de periodicidade mensal.

e) Número de meses, em média, durante os quais um consumidor fica sem energia, de periodicidade anual.

**5.** Como se caracteriza o FEC (frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora)?

a) Média do número de interrupção na unidade consumidora.

b) Média do número de cargas na unidade consumidora.

c) Média do número de corrente na unidade consumidora.

d) Média do número de tensões na unidade consumidora.

e) Média do número de tempo de consumo na unidade consumidora.

**6.** O que os indicadores DIC e FIC significam e o que eles medem, respectivamente?

**7.** O índice DMIC (duração máxima de interrupção por unidade consumidora) é usado para qual tipo de medição?

## Seção 3.2

### Variação de tensão de longa duração e princípios e dispositivos de regulação de tensão

#### Diálogo aberto

No estudo da Qualidade de Energia podemos citar problemas relacionados às variações na tensão, desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão e na frequência do sistema. Podemos exemplificar essas faltas como sendo as sobretensões, a subtensões e as faltas sustentadas. As sobretensões e as subtensões são causadas por variações na carga e/ou operações de chaveamento sobre o sistema. Vamos nos aprofundar mais nessas variações.

A competência de fundamentos de área é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. O objetivo de aprendizagem desta seção é conhecer a variação de tensão de longa duração e os princípios e dispositivos de regulação de tensão.

No projeto que você foi aceito, a sua responsabilidade é coletar informações sobre os parâmetros de qualidade da energia elétrica e organizá-las para que o setor consiga tomar decisões para minimizar as perturbações que a afetam e é distribuída pela concessionária. Agora, seu supervisor pediu que você se dedicasse a uma pesquisa sobre os reguladores de tensão, dividindo-a nas categorias dos reguladores.

#### Não pode faltar!

#### Varição de Tensão de Longa Duração

Os efeitos de longa duração têm variação na tensão superior a um minuto e têm como características os desvios que ocorrem no valor da tensão eficaz e na frequência do sistema. As sobretensões, subtensões e faltas sustentadas estão diretamente associadas a essas variações.

## Sobretensão

A sobretensão pode ser definida como o aumento no valor da tensão CA maior que 110% na frequência do sistema e por uma duração que é maior que um minuto. Uma das causas das sobretensões pode ser o desligamento de grandes cargas ou a energização de um banco de capacitores. As sobretensões no sistema podem ser geradas por taps dos transformadores incorretamente conectados.

Algumas sobretensões de longa duração podem ser resultado de uma falha nos equipamentos. Por exemplo: se alguns dispositivos eletrônicos sofrerem danos durante uma sobretensão, as falhas não aparecerão imediatamente. Se forem submetidos a sobretensões repetidamente, a sua vida útil pode diminuir. Para proteger os equipamentos que apresentam falhas de operação quando há sobretensão, podemos utilizar relés de proteção.

A troca de banco de capacitores fixos por bancos automáticos é usada como solução para os problemas de sobretensão, pois com ela possibilitam-se não só maior controle do nível de tensão como também instalação de compensadores estáticos de reativos.

## Subtensão

Uma das características das subtensões que se pode destacar é uma queda no valor eficaz da tensão AC para menos de 90% na frequência do sistema, também com uma duração superior a um minuto. A origem das subtensões está, principalmente, no carregamento excessivo de circuitos alimentadores, os quais são submetidos a determinados níveis de corrente que, interagindo com a impedância da rede, dão origem a quedas de tensão acentuadas (ANEEL, 2015).



### Refleta

Outros fatores que contribuem para as subtensões são: a conexão de cargas à rede elétrica, o desligamento de bancos de capacitores e, conseqüentemente, o excesso de reativo transportado pelos circuitos de distribuição, o que limita a capacidade do sistema no fornecimento de potência ativa e ao mesmo tempo eleva a queda de tensão.

Podemos destacar alguns problemas causados pelas subtensões de longa duração:

- Redução da potência reativa fornecida por bancos de capacitores ao sistema.
- Interrupção da operação de equipamentos eletrônicos, tais como computadores e controladores eletrônicos.

- Redução de índice de iluminamento para os circuitos de iluminação incandescente.
- Elevação do tempo de partida das máquinas de indução, o que contribui para a elevação de temperatura dos enrolamentos.
- Aumento nos valores das correntes do estator de um motor de indução quando alimentado por uma tensão inferior à nominal (ANEEL, 2015).

### **Interrupções Sustentadas**

Quando o fornecimento de tensão é igual a zero em um tempo maior que um minuto, ocorre uma interrupção sustentada. Esse tipo de interrupção é geralmente permanente e precisa de intervenção humana para restaurar o sistema e normalizar a operação de fornecimento de energia.

Há dois tipos de ocorrência de interrupções sustentadas: a inesperada ou a planejada. A primeira ocorre quando há falhas nos disjuntores; queima de fusíveis; falha de componentes de circuito alimentador etc. A segunda é feita geralmente, para executar manutenção na rede, ou seja, serviços como troca de cabos e postes, mudança do tap do transformador, alteração dos ajustes de equipamentos de proteção etc.

Independentemente da natureza da interrupção, o sistema elétrico tem que garantir que o número de interrupções seja mínimo, a duração deve ser a mínima possível e o número de consumidores afetados deve ser pequeno.

Na falta considerada permanente, um dispositivo de proteção vai executar três ou quatro operações para reestabelecimento do sistema. Se depois disso não houver sucesso, haverá um bloqueio definitivo do sistema. A duração permanente pode persistir por minutos ou até mesmo horas (em média 2 horas), o que vai depender do local, do tipo de defeito e da forma pela qual a equipe de manutenção opera (PAULILO; TEIXEIRA, 2013).



#### **Assimile**

A consequência de uma interrupção sustentada é o desligamento dos equipamentos, exceto para aquelas cargas protegidas por sistemas "no-breaks" ou por outras formas de armazenamento de energia.

## Reguladores de Tensão

Existe uma variedade de dispositivos usados para regulação de tensão. Tais dispositivos são tipicamente divididos em três classes:

- **Transformadores de tap variável:** existem transformadores de tap variável com acionamento mecânico ou eletrônico. O tipo autotransformador são maioria nesta classe, embora existam numerosas aplicações de transformadores de dois e três enrolamentos com comutadores de tap.
- **Dispositivos de isolamento com reguladores de tensão independentes:** dispositivos de isolamento incluem sistemas UPS (*Uninterruptible Power Supply*), transformadores ferorrressonantes (tensão constante), conjuntos M-G etc. São usados para isolar a carga da fonte de suprimento por algum método de conversão de energia.
- **Dispositivos de compensação de impedância:** os capacitores *shunt* ajudam a manter a tensão pela redução da corrente de linha ou mediante compensação de circuitos indutivos. Estes capacitores podem ser fixos ou chaveados dependendo do tipo e da necessidade do sistema. Capacitores em série são relativamente raros, mas são muito úteis em algumas cargas impulsivas, como em britadeiras etc. Compensadores estáticos de reativos podem ser aplicados tanto em sistemas das concessionárias como em sistemas industriais, sendo usados para regular a tensão pela rápida resposta ao suprir ou consumir energia reativa.



### Exemplificando

Existem três tipos principais de compensadores estáticos de reativos: o reator controlado a tiristor, o capacitor chaveado a tiristor e o reator a núcleo saturado. Esses equipamentos são muito usados em cargas geradoras de oscilações, tais como fornos a arco e em outras cargas que variam randomicamente.



### Pesquise mais

No *link* seguinte você se aprofundará mais em alguns problemas das redes elétricas, os quais afetam a qualidade de energia que está sendo distribuída. Disponível em: <<http://www.eletricistaemcuritiba.com.br/wp-content/uploads/2014/03/blecaute-services-subtensoes-e-sobretensoes.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.



### Faça você mesmo

Elenque as principais características das subtensões e das sobretensões.

### Sem medo de errar!

Agora seu supervisor pediu que você se dedicasse a uma pesquisa sobre os reguladores de tensão e a dividisse nas categorias dos reguladores.

Quadro 3.1 – Tipos de Reguladores

Tipo de Reguladores	Características
Transformadores de tap variável	Acionamento mecânico é para cargas que variam lentamente. Acionamento eletrônico pode responder rapidamente às mudanças de tensão. Pode ser tipo autotransformador ou transformadores de dois e três enrolamentos com comutadores de tap.
Dispositivos de isolamento com reguladores de tensão independentes	Dispositivos de isolamento incluem sistemas UPS ( <i>Uninterruptible Power Supply</i> ), transformadores ferorrressonantes (tensão constante), conjuntos M-G etc. Isolam a carga da fonte de suprimento através de algum método de conversão de energia. A saída do dispositivo pode ser separadamente regulada e manter constante a tensão, desprezando as variações provenientes da fonte principal.
Dispositivos de compensação de impedância	Capacitores "shunt" ajudam a manter a tensão pela redução da corrente de linha ou pela compensação de circuitos indutivos. Podem ser fixos ou chaveados dependendo do tipo e da necessidade do sistema. Compensam grande parte da indutância dos sistemas. Compensadores estáticos de reativos podem ser aplicados tanto em sistemas das concessionárias como em sistemas industriais. Se o sistema é altamente indutivo, a impedância é significativamente reduzida.

Fonte: elaboração do autor.



### Lembre-se

As variações da qualidade da energia elétrica estão associadas à sobretensão, à subtensão e às faltas sustentadas.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que podem ser encontradas no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com as de seus colegas.

#### “Medidas de prevenção de interrupções”

1. Competência de Fundamentos de Área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Conhecer a variação de tensão de longa duração e os princípios e dispositivos de regulação de tensão.
3. Conteúdos relacionados	Variação de tensão de longa duração e princípios e dispositivos de regulação de tensão.
4. Descrição da Situação-Problema	Na sala de controle de uma concessionária de energia, ao analisar os dados de transmissão de energia elétrica, constatou-se que em uma região de uma metrópole ocorria certo número de interrupções. Você, como chefe do departamento de controle, deve analisar as naturezas dessas interrupções e propor ações para o projeto do sistema elétrico minimizando as interrupções, orientando os projetistas elétricos.
5. Resolução da Situação-Problema:	<p>Interrupção de natureza sustentada ou inesperada: O projeto deve ser feito para garantir o número mínimo de interrupções. A duração da interrupção, caso ocorra, deve ser mínima. Além disso, o número de consumidores que serão afetados por essa interrupção deve ser pequeno.</p> <p>Interrupção de caráter permanente: No projeto, coloque o dispositivo de proteção do alimentador principal para que este execute três ou quatro operações de tentativa de reestabelecer o sistema. A interrupção não deve passar de 120 minutos (2 horas). Potencialize a operação de manutenção, passando para a equipe de manutenção o local da falta e o tipo de defeito da rede, além de monitorar a operação constantemente.</p>



#### Faça você mesmo

Faça um quadro com todas as características das sobretensões e das subtensões.

**Faça valer a pena!**

- 1.** A variação de tensão de longa duração corresponde a:
  - a) Cargas sem valor eficaz da tensão.
  - b) Desvios que ocorrem no valor eficaz da tensão, na frequência do sistema.
  - c) Operações realizadas em equipamentos.
  - d) Problemas na operação dos sistemas.
  - e) Consequências de mau uso dos sistemas.
  
- 2.** Assinale a alternativa que mostra uma consequência da sobretensão:
  - a) Uma duração menor do que um minuto.
  - b) Valor eficaz abaixo de 110%.
  - c) Falha dos equipamentos.
  - d) Desenergização do banco de capacitores
  - e) Ligação de grandes cargas.
  
- 3.** Assinale a alternativa que mostra uma característica das subtensões:
  - a) Um decréscimo do valor eficaz AC.
  - b) Duração menor que um minuto.
  - c) Aumento súbito de tensão.
  - d) Alta frequência do sistema.
  - e) Quedas de tensão amortecidas.

**4.** Quando uma variação de tensão de longa duração é considerada uma interrupção sustentada?

a) Quando o fornecimento de tensão permanece maior que zero por um período de tempo menor que um minuto.

b) Quando o fornecimento de tensão permanece menor que zero por um período de tempo menor que um minuto.

c) Quando o fornecimento de tensão permanece maior que zero por um período de tempo maior que um minuto.

d) Quando o fornecimento de tensão permanece menor que zero por um período de tempo maior que um minuto.

e) Quando o fornecimento de tensão permanece em zero por um período de tempo que excede um minuto.

**5.** Qual é o principal motivo das interrupções planejadas?

a) Envio de equipe.

b) Sobrecarga não localizada.

c) Regulação de tensão.

d) Manutenção da rede.

e) Proteção à equipe de manutenção.

**6.** Quais são as classes dos dispositivos usados para a regulação de tensão?

**7.** Nas cargas geradoras de oscilações usamos os compensadores estáticos de reativos. Quais são os três principais compensadores estáticos de reativos?

## Seção 3.3

### Emprego de bancos de capacitores para a regulação de tensão

#### Diálogo aberto

Algumas características relacionadas à regulação de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica serão apresentadas nesta seção. O controle apropriado e eficiente de tensão nos sistemas elétricos de potência tem relação direta com o melhoramento do perfil de tensão praticado (USIDA, 2007).

A competência de fundamentos de área da disciplina é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

Aprender como o emprego de bancos de capacitores pode ser utilizado na regulação de tensão é o objetivo de aprendizagem desta seção.

Você foi aceito em um projeto de uma concessionária de energia, e o setor em que você vai trabalhar é o setor de medições de parâmetros de qualidade da energia. Sua responsabilidade é coletar informações sobre os parâmetros de qualidade da energia elétrica e organizá-las para que o setor consiga tomar decisões para minimizar as perturbações que afetam a qualidade da energia elétrica que é distribuída pela concessionária.

Nesse contexto, você foi designado para trabalhar com as operações dos bancos de capacitores que são empregados na regulação de tensão. Elenque para sua equipe técnica quais são as decisões que devem ser tomadas para controle local dos capacitores e a estratégia que deve ser empregada.

#### Não pode faltar!

#### **Emprego de Bancos de Capacitores para a Regulação de Tensão**

O controle de tensão nos Sistemas Elétricos de Potência (SEP) é considerado uma operação fundamental para a qualidade de energia elétrica. Esse controle fornece o nível de tensão e determina como os equipamentos da concessionária e os pertencentes aos consumidores serão projetados melhor na operação. Essa é uma

razão para a tensão ser mantida dentro de limites aceitáveis. Outro ponto sobressalente é a estabilidade do SEP, que promove a redução das perdas de energia (USIDA, 2007).

Os perfis de tensão nas redes elétricas geram os problemas considerados mais graves da Qualidade da Energia Elétrica.

### **Principais Metodologias aplicadas na Regulação de Tensão em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**

O fornecimento de tensões em faixas apropriadas aos consumidores é uma das principais responsabilidades das distribuidoras de energia elétrica. Para que as tensões em faixas apropriadas sejam fornecidas, as quedas de tensão nos níveis primário e secundário são adequadas ao longo do circuito antes do consumidor final.

Como um dos principais problemas, podemos citar as tensões que estão abaixo do valor nominal. É considerada uma dificuldade de fornecer as faixas apropriadas de tensões aos consumidores, pois há quedas de tensão no transporte da energia.

É possível citar algumas medidas que são utilizadas para que a queda de tensão seja reduzida ao longo dos alimentadores:

- Redução do comprimento do alimentador.
- Elevação do fator de potência por meio de banco de capacitores.
- Conversão de seção monofásica para a trifásica.
- Redistribuição das cargas, redimensionamento do condutor e o balanceamento dos circuitos.

O uso de dispositivos de regulação de tensão pode prover um melhor perfil de tensão, uma elevação do fator de potência e, conseqüentemente, a redução dessas perdas.



#### **Pesquise mais**

Para saber mais sobre a regulação de tensão empregada nos sistemas de distribuição de energia elétrica, faça a leitura do artigo que está disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1191-regulao-de-tenso-em-sistemas-na-distribuio-de-energia-eltrica>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

## Modelagem por Fluxo de Carga

Fazer o planejamento por fluxo de carga pode melhorar o perfil de tensão em novos circuitos de distribuição. Pelo estudo do fluxo de carga é possível fazer o cálculo das tensões em todos os pontos da rede, permitindo a distribuição adequada das cargas. Por ele também se pode calcular as perdas e as quedas de tensão ao longo da rede.

O transporte de carga pode gerar quedas de tensão ao longo dos alimentadores, dependendo do tipo de carga.



### Exemplificando

Por exemplo, as cargas desbalanceadas causam maiores quedas de tensão, pois a impedância vista por elas, incluindo a impedância de sequência zero, é maior que a impedância de sequência positiva vista pela carga balanceada. Assim, se a corrente flui de forma desigual por fase, cargas pesadas vão proporcionar maiores quedas de tensão.

Podemos destacar três tipos de modelagem de cargas em um sistema de distribuição. A primeira é chamada Potência da Carga Constante: em que as potências ativas e reativas não mudam mesmo que a tensão mude. Isso acontece em motores de indução. A segunda é chamada Corrente da Carga Constante: a corrente se mantém constante, mesmo que a tensão mude. A potência é elevada com a tensão. A corrente cai se a tensão cai, a potência diminui e a queda de tensão não se altera. E a terceira é a Impedância de Carga Constante: a impedância não muda, mesmo que a tensão mude. A potência sempre aumenta com o valor da tensão ao quadrado. Isso acontece em cargas puramente resistivas (DUGAN, 1996).

A modelagem de circuitos de distribuição pode ser feita entre 40% a 60% de potência constante e de 40% a 60% de impedância constante.

## Compensação por Queda de Tensão na Linha



### Assimile

O objetivo principal do compensador de queda de tensão na linha ou LDC (*Line-Drop Compensation*) é manter a tensão constante, não no barramento secundário do transformador, mas no consumidor.

Pode haver uma variação de tensão dependendo da impedância do alimentador para uma condição de carga pesada, e da variação da corrente de carga para uma condição de carga leve, se não for usado o LDC ao final do alimentador.



### Refleta

Com a utilização da compensação por queda de linha, diminui-se a variação da tensão ao final do alimentador por meio da elevação da tensão na saída do equipamento de regulação.

Ao final da linha, o método da compensação por queda de linha funciona de forma perfeita. As cargas, ao longo do alimentador, estão distribuídas, e de forma uniforme está a impedância, e a tensão se mantém constante no ponto médio do alimentador.

Só é possível ter uma compensação para uma certa quantidade de unidades consumidoras.

### Dispositivos Empregados na Regulação de Tensão

As tensões e cargas fornecidas pelas distribuidoras não são homogêneas, elas variam durante o dia, pois há a ocorrência de manobras e a demanda de consumo não constante. Para que essas variações possam ser minimizadas, utilizam os dispositivos para controle de tensão.



### Exemplificando

São exemplos de dispositivos para controle da tensão: bancos de capacitores; reguladores de tensão; e regulador de tensão que utilizam transformadores de potência com comutação de tap.

Esses dispositivos são utilizados em sistemas de distribuição de energia elétrica visando à redução das perdas de potência e à minimização dos efeitos provocados pela queda de tensão ao longo dos alimentadores.

### Banco de Capacitores

As vantagens de utilizar bancos de capacitores nos sistemas de distribuição é o cancelamento da sobra da potência reativa produzida pelas cargas indutivas ou outras cargas que têm baixo fator de potência.

A corrente no alimentador é minimizada pelo emprego de banco de capacitores para o abastecimento de mais cargas do sistema.

Outra vantagem de se aplicar corretamente os bancos de capacitores é aumentar a eficiência do sistema e fazer a redução da queda de tensão. Se for usado de forma incorreta, haverá mais perda e ocorrerá o surgimento de sobretensões.

Nas subestações há o acompanhamento das operações de chaveamento de banco de capacitores. Essa operação é realizada de duas formas: remota, por sistemas supervisórios; ou de forma local, por controladores.

Há duas formas de instalar os capacitores, em paralelo ou em série. Na primeira forma, é instalado no local o capacitor ao longo dos circuitos de distribuição. Sua função nesse tipo de instalação é fazer com que o capacitor compense os reativos, fazendo a elevação da tensão. Quando é instalado em série, o capacitor funciona como um regulador de tensão automático com comando da corrente, compensando a reatância da linha.

A instalação mais simples é feita com os capacitores fixos. Esses são mais fáceis também de serem dimensionados quando os comparamos com os capacitores chaveados. Outra vantagem é que os capacitores fixos são mais baratos que os chaveados.

Diversas estratégias podem ser tomadas para o controle local dos capacitores. Essas dependem de alguns fatores, como:

**Hora do dia:** em horários antecipadamente planejados os capacitores são chaveados.

**Temperatura:** dependendo da temperatura, modifica-se o estado dos capacitores.

**Tensão:** para diminuir as operações de chaveamento, com base na medição da tensão, utiliza-se o controlador para constituir larguras de faixas, limites e tempos.

**Potência Reativa:** para tomar a decisão de chaveamento, usamos o capacitor para fazer medidas de reativos.

**Fator de potência:** as medições são feitas pelo controle do capacitor e essas medições são usadas para alterar o estado.

**Corrente:** as medições da corrente são feitas pelo capacitor para tomada de decisões.

Muitos bancos de capacitores já possuem o controle automatizado, devido à diminuição dos custos com a tecnologia.

O controle remoto pode ser feito segundo algumas estratégias, como:

- o operador faz o despacho;
- despacho programado diariamente;
- na subestação, o despacho pode ser feito depois de medições de reativos;

- utilizar combinação entre as medições de variações na subestação e ao longo do alimentador para realizar o despacho.

### Reguladores de Tensão

Os reguladores de tensão são autotransformadores com ajuste automático de tap. Sua função é elevar ou abaixar a tensão. Usualmente, são utilizados para fazer regulação entre a faixa de -10% a +10%, são similares a transformadores com um enrolamento em série com outro.

Quando os reguladores têm várias entradas, há a permissão para a configuração do número de enrolamentos variando a tensão de entrada. Para fazer esse ajuste, utiliza-se uma chave rotatória.

As três fases nas subestações geralmente são controladas pelos reguladores de tensão. Podem ser feitas três tipos de conexões: “estrela com terra”, “triângulo aberto” e “triângulo fechado”.

No primeiro tipo há quatro condutores, três reguladores monofásicos, que conectam a linha ao neutro. No segundo, três reguladores são conectados fase a fase. Um acréscimo é permitido com esse tipo de conexão na faixa de regulação passando de  $\pm 10\%$  para  $\pm 15\%$ . No terceiro tipo, utiliza-se apenas dois reguladores monofásicos, fazendo a conexão entre uma fase a outra.



#### Faça você mesmo

Faça um comparativo entre os tipos de reguladores de tensão.

### Sem medo de errar!

*Você foi designado para trabalhar com as operações dos bancos de capacitores que são empregados para a regulação de tensão. Elenque para sua equipe técnica quais são as decisões que devem ser tomadas para controle local dos capacitores e a estratégia que deve ser empregada.*

#### Estratégias:

**Hora do dia:** em horários antecipadamente planejados os capacitores são chaveados.

**Temperatura:** dependendo da temperatura, modifica-se o estado dos capacitores.

**Tensão:** para diminuir operações de chaveamento, com base na medição da

tensão, utiliza-se o controlador para constituir larguras de faixas, limites e tempos.

**Potência Reativa:** para tomar a decisão de chaveamento, usamos o capacitor para fazer medidas de reativos.

**Fator de potência:** as medições são feitas pelo controle do capacitor e são usadas para alterar o estado.

**Corrente:** as medições da corrente são feitas pelo capacitor para tomada de decisões.



### Lembre-se

No *link* seguinte há um artigo sobre as variações de longa duração. Disponível em: <[http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed87\\_fasc\\_qualidade\\_cap4.pdf](http://www.osestoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed87_fasc_qualidade_cap4.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2015.

## Avançando na prática

Pratique mais	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que podem ser encontradas no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com as de seus colegas.</p>	
"Modelagem de tensão"	
1. Competência de Fundamentos de Área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia.
2. Objetivos de aprendizagem	Aprender como o emprego de bancos de capacitores pode ser utilizado para a regulação de tensão.
3. Conteúdos relacionados	Regulação de tensão.
4. Descrição da Situação-Problema	Um engenheiro electricista foi contratado para fazer um projeto que viabilizasse o fluxo de carga melhorando o perfil de tensão para os circuitos de distribuição. Quais são as abordagens de carga que o engenheiro deve levar em consideração para o sistema de distribuição?
5. Resolução da Situação-Problema	Potência da Carga Constante: onde as potências ativas e reativas não mudam mesmo que a tensão mude. Isso acontece em motores de indução. Corrente da Carga Constante: a corrente se mantém constante, mesmo que a tensão mude. A potência é elevada com a tensão. A corrente cai se a tensão cai, a potência diminui e a queda de tensão não se altera. Impedância de Carga Constante: a impedância não muda, mesmo que a tensão mude. A potência sempre aumenta com o valor da tensão ao quadrado. Isso acontece em cargas puramente resistivas (DUGAN, 1996).

**Lembre-se**

As quedas de tensão ao longo dos alimentadores também podem ocorrer em razão do transporte quanto ao tipo de carga.

**Faça você mesmo**

Quais são medidas mais utilizadas para se reduzir a queda de tensão ao longo dos alimentadores?

**Faça valer a pena!**

- 1.** Qual é a principal responsabilidade das distribuidoras de energia elétrica?
  - a) Fornecer aos consumidores tensões em níveis apropriados.
  - b) Fornecer meios para fornecer a energia.
  - c) Fornecer poucas dificuldades ao consumidor.
  - d) Fornecer o mínimo de interrupções.
  - e) Fornecer planejamento da carga ao consumidor.
  
- 2.** Qual é a principal dificuldade de se fornecer aos consumidores tensões em níveis apropriados?
  - a) Falha na entrega aos consumidores.
  - b) Queda de tensão durante o transporte de energia.
  - c) Planejamento da carga aos consumidores.
  - d) Alta geração de energia.
  - e) Altas demandas de carga.

**3.** Qual é um dos principais problemas que os consumidores relatam sobre a qualidade da energia elétrica?

- a) Alta geração da energia elétrica.
- b) Baixo valor nominal das tensões fornecidas.
- c) Falta de planejamento do setor.
- d) Contas muito caras.
- e) Valor consumido excedente.

**4.** Por que a magnitude da queda de tensão fornecida aos consumidores situados ao longo dos alimentadores é dependente da demanda atual da rede de distribuição?

- a) Porque há elevação de tensão no horário de maior consumo.
- b) Porque a energia fornecida nos horários de maior consumo deve ser observada.
- c) Porque a queda de tensão pode ser maior em horários de maior consumo de energia.
- d) Porque a rede de distribuição deve ser observada no horário de maior consumo.
- e) Porque a geração deve ser observada no horário de maior consumo.

**5.** Quando o planejamento por meio de estudos de fluxo de carga permite melhorar o perfil de tensão?

- a) Em novas carga de distribuição.
- b) Em projetos de circuitos de distribuição.
- c) Em geração de cargas de distribuição.
- d) Em novos alimentadores.
- e) Em situação de queda de tensão.

- 6.** Qual é a função dos dispositivos reguladores de tensão nos sistemas de distribuição de energia elétrica?
  
- 7.** Qual é o benefício de se empregar corretamente os bancos de capacitores? E o que acontece se os bancos de capacitores forem empregados de forma incorreta?

## Seção 3.4

### Avaliação da Qualidade da Energia e o Processo de Avaliação de Índices de Tensão Eficaz

#### Diálogo aberto

A avaliação do “nível” de qualidade da energia considerará os registros das variações encontradas nas medições relativas aos indicadores de referência para cada fenômeno. O parâmetro “qualidade de energia” pode ser razoavelmente quantificado com a ajuda de instrumentos adequados. Determinadas ocorrências acontecem tipicamente em períodos bastante curtos, sendo necessária acuidade adequada do instrumento para a correta identificação do fenômeno.

A competência de fundamentos de área da disciplina, como já dito, é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia. E conhecer a avaliação da qualidade de energia e o processo de avaliação de índices de tensão eficaz é o objetivo de aprendizagem desta seção.

Você foi aceito em um projeto de uma concessionária de energia, e o setor em que você vai trabalhar é o setor de medições de parâmetros de qualidade da energia. Sua responsabilidade é coletar informações sobre os parâmetros de qualidade da energia elétrica e organizá-las para que o setor consiga tomar decisões para minimizar as perturbações que afetam a qualidade da energia elétrica que é distribuída pela concessionária.

Você deve traçar uma estratégia para a análise de problemas de qualidade da energia. As instruções serão passadas para sua equipe de técnicos eletricitas.

## Não pode faltar!



### Refleta

Segundo a norma IEEE 1159 (2009), sobre a análise de qualidade de energia diz:

“Os parâmetros de análise estão associados a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos que caracterizam a tensão e a corrente num determinado instante, num determinado local, num sistema de potência”.

A partir da comprovação da existência de fenômenos elétricos ou eletromagnéticos, questões e desafios são levantados para superar as tolerâncias dos equipamentos que estão envolvidos no processo produtivo. Nesse sentido, pode-se buscar um modo de reestabelecer as alimentações de maneira eficiente e econômica.



### Assimile

O ponto de partida é o entendimento do processo industrial, a especificação de alimentação de cargas e a cuidadosa inspeção nas instalações e sistemas.

As medições a serem efetuadas terão como objetivo constatar o comportamento dos indicadores de qualidade de energia que requerem um planejamento para se definir o uso de instrumento e períodos de monitoração adequados. Ao final, espera-se definir as possíveis soluções de correção/compensação e avaliação de investimentos.

Uma análise precisa de fenômenos de curta duração requer taxa de amostragem e resoluções compatíveis. Em geral, são necessárias taxas de amostragem superiores a 256 por ciclo, podendo ser necessárias as de 512 ou ainda 1024 amostras por ciclo. Como resultado, pode-se observar valores registrados no domínio da frequência (valores eficazes) em tempos muito curtos e análise ciclo a ciclo no domínio do tempo.

O armazenamento dessas informações demanda alta capacidade dos instrumentos. Tecnologias de compressão de arquivos de elevada relação (1000:1) já estão disponíveis, permitindo que instrumentos armazenem as informações de qualidade de energia por períodos de mais de um ano, uma vez que nem sempre se consegue sucesso em monitoração com instrumentos portáteis em curtos períodos de análise.

Esses equipamentos possibilitam ainda se estabelecer uma rede lógica de comunicação entre diversos instrumentos instalados nos pontos críticos de uma instalação, ou instalações, sincronizados na mesma base de tempo e definidos em coordenadas GPS. Dessa forma pode-se avaliar o “caminho” e a origem do fenômeno monitorado, facilitando a solução. Na maior parte das vezes, a obtenção de níveis aceitáveis de qualidade de energia é função do atendimento de especificações básicas de uma instalação elétrica industrial concebida e mantida de acordo com as normas vigentes.



### Exemplificando

Veja um exemplo do que pode ocorrer:

A implantação de um novo equipamento, sendo carga, fonte alternativa ou mesmo um simples conjunto de compensação reativa, pode acabar por interferir na operação normal do processo com paradas, queimas de equipamentos e outros fenômenos que nem sempre são facilmente explicáveis.

Quase sempre os problemas de qualidade de energia têm origem não na concessionária, mas na ação combinada de componentes internos da instalação. Com base nas análises dos problemas, foi possível elencar alguns fatores relacionados à qualidade da energia:

- Vistorias técnicas nas instalações a fim de avaliar o estado geral e compatibilidade dos componentes.
- Avaliação de equipamentos elétricos (transformadores, disjuntores, relês, sistema de aterramento etc.).
- Medições com taxa de amostragem e intervalo de integração compatível a fim de se avaliar o comportamento dos indicadores. Avaliação das variáveis em domínio de tempo e frequência (forma de onda).
- Instalação de instrumentos em caráter definitivo nas instalações, a fim de se avaliar por “todo o tempo” os indicadores de Qualidade de Energia, e não somente leituras instantâneas.
- Desta análise as soluções normalmente partem para:
  - Readequação do sistema de aterramento e instalação de DPS.
  - Redimensionamento/relocação de fontes.

- Aplicação de UPS ou estabilizadores (distribuídos ou centralizados).
- Readequação do sistema de compensação reativa e fator de potência com eliminação de ressonância harmônica; implementação de sistemas de compensação compatíveis (tratamento das harmônicas, tempo de resposta adequado, isenção de transientes de manobra).
- Implantação de transformadores especiais (fator "K").
- Implantação de filtros passivos ou ativos. Certamente, nossa competitividade industrial e de processos será beneficiada com as medidas propostas.
- A análise da relação custo/benefício dos investimentos, se efetuada corretamente, levando-se em conta as "causas estranhas" responsabilizadas pelas paradas sem explicação, é um importante elemento para a alavancagem da competitividade industrial (STAROSTA, 2006, p. 63).



### Pesquise mais

O seguinte artigo mostra um exemplo prático de avaliação da qualidade de energia. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/a-revista/edicoes/498-avaliacao-da-qualidade-de-energia-eletrica-de-um-centro-cirurgico.html>>. Acesso em: 23 ago. 2015.



### Faça você mesmo

Elenque um dos pontos que devem ser levados em conta para a análise dos problemas e faça uma pesquisa.

## Sem medo de errar!

*Você deve traçar uma estratégia para a análise de problemas de qualidade de energia. As instruções serão passadas para sua equipe de técnicos eletricitas.*

- *Vistorias técnicas nas instalações a fim de avaliar o estado geral e compatibilidade dos componentes.*
- *Avaliação de equipamentos elétricos (transformadores, disjuntores, relés, sistema de aterramento etc.).*
- *Medições com taxa de amostragem e intervalo de integração compatível a fim de se avaliar o comportamento dos indicadores. Avaliação das variáveis em domínio*

de tempo e frequência (forma de onda).

- *Instalação de instrumentos em caráter definitivo nas instalações, a fim de se avaliar por “todo o tempo” os indicadores de Qualidade de Energia, e não somente leituras instantâneas.*

- *Desta análise as soluções normalmente partem para:*

- *Readequação do sistema de aterramento e instalação de DPS.*

- *Redimensionamento e relocação de fontes.*

- *Aplicação de UPS ou estabilizadores (distribuídos ou centralizados).*

- *Readequação do sistema de compensação reativa e fator de potência com eliminação de ressonância harmônica; implementação de sistemas de compensação compatíveis (tratamento das harmônicas, tempo de resposta adequado, isenção de transientes de manobra).*

- *Implantação de transformadores especiais (fator “K”).*

- *Implantação de filtros passivos ou ativos. Certamente nossa competitividade industrial e de processos será beneficiada com as medidas propostas.*

- *A análise da relação custo/benefício dos investimentos, se efetuada corretamente, levando-se em conta as “causas estranhas” responsabilizadas pelas paradas sem explicação, é um importante elemento para a alavancagem da competitividade industrial. (STAROSTA, 2006, p. 63).*



### Lembre-se

Os parâmetros de análise estão associados a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos que caracterizam a tensão e a corrente num determinado instante, num determinado local, num sistema de potência.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu transferindo seus conhecimentos para novas situações que podem ser encontradas no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois as compare com as de seus colegas.

"Porque avaliar a qualidade da energia elétrica?"	
1. Competência de Fundamentos de Área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia.
2. Objetivos de aprendizagem	Conhecer a avaliação da qualidade da energia e o processo de avaliação de índices de tensão eficaz.
3. Conteúdos relacionados	Avaliação da qualidade da energia elétrica.
4. Descrição da Situação-Problema	Você deve mostrar a necessidade de uma avaliação da qualidade de energia. Demonstre quais são os principais motivos por que se deve fazer a avaliação da qualidade da energia.
5. Resolução da Situação-Problema:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os equipamentos são mais sensíveis às variações na qualidade do suprimento elétrico do que aqueles usados antigamente.</li> <li>• A utilização cada vez maior da eletrônica de potência na fabricação de equipamentos.</li> <li>• O interesse pela conservação e pelo melhor aproveitamento da energia elétrica.</li> </ul>



### Faça você mesmo

As medições a serem efetuadas terão como objetivo constatar o comportamento dos indicadores de qualidade de energia que requerem um planejamento para se definir o uso de instrumento e períodos de monitoração adequados.

### Faça valer a pena!

**1.** A análise de qualidade de energia é definida da seguinte maneira:

"Os parâmetros de análise estão associados a uma grande variedade de fenômenos eletromagnéticos que caracterizam a tensão e corrente num determinado instante, num determinado local, num sistema de potência".

Qual é a norma que define a análise da qualidade da energia dessa forma?

- Norma IEEE 6023.
- Norma IEEE 7654.
- Norma IEEE 1159.
- Norma IEEE 1231.
- Norma IEEE 9865.

**2.** Com base na constatação de fenômenos elétricos ou magnéticos que podem superar a tolerância dos equipamentos, qual deve ser a ação que é preciso tomar para sanar esse problema?

- a) Definir uma nova constatação desses fenômenos.
- b) Medir novamente as tensões nos equipamentos.
- c) Reestabelecer a normalidade de suas alimentações
- d) Planejar o melhor uso das tensões nos equipamentos.
- e) Avaliar imediatamente as condições das instalações elétricas.

**3.** Qual é o principal objetivo das medições de qualidade de energia elétrica?

- a) Planejar os períodos de geração de energia elétrica.
- b) Planejar a distribuição de energia elétrica.
- c) Constatar o comportamento dos indicadores de qualidade de energia.
- d) Negar os investimentos do setor energético.
- e) Implantar novas fontes geradoras de energia elétrica.

**4.** O que deve ser requerido para se fazer uma análise precisa de fenômenos de curta duração?

- a) Investimentos no setor.
- b) Taxa de amostragem e resoluções compatíveis.
- c) Geração adequada de energia elétrica.
- d) Fontes geradoras de energia elétrica.
- e) Planejamento de novas ações.

**5.** Analisando os problemas de qualidade de energia, qual das afirmações seguintes está correta?

a) Quase sempre os problemas de qualidade de energia têm origem na concessionária, além de combinar-se a outros fatores.

b) Quase sempre os problemas de qualidade de energia não têm origem na concessionária, mas ao combinar-se com os componentes internos da instalação.

c) Quase sempre os problemas de qualidade de energia não têm origem na concessionária, mas ao combinar-se com os componentes externo da instalação.

d) Quase sempre os problemas de qualidade de energia têm origem na concessionária, também ao combinar-se na geração.

e) Quase sempre os problemas de qualidade de energia têm origem na concessionária, além de combinar-se com a transmissão.

**6.** O que pode ocorrer quando um novo equipamento – tal como uma fonte alternativa ou uma carga – é implantado em um sistema?

**7.** Cite quatro pontos que devem ser efetuados nas análises dos problemas de qualidade de energia elétrica.

# Referências

AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 1 jun. 2015.

ALDABÓ, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6939/1999** – Coordenação do Isolamento – Procedimento – 1º Projeto de Revisão da NBR 6939/1987. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

\_\_\_\_\_. **NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão: electrical installations of buildings – Low voltage. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

CHAPMAN, David. **Guia de aplicação de qualidade de energia**: fundamentos de tensão. 2002. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/mehl/downloads/Qualidade-EE-1.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

COLEON, Richard. **Evolução dos dispositivos de proteção contra sobretensões**. Capítulo 3. Disponível em: <<https://richardcoleon.files.wordpress.com/2011/12/cap3adtulo-2.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

COURY, D. V.; SANTOS, C. J. dos; TAVARES, M. C., Transient analysis resulting from shunt capacitor switching in an actual electrical distribution system. **8th ICHQP Proceedings**, Greece, v. 1, p. 292-297, oct. 1998.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. New York: McGraw-Hill, 1996.

GREENWOOD, A. **Electrical transients in power systems**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 751p.

IEEE Working Group. IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. **IEEE Standards Board**, jun. 1995.

\_\_\_\_\_. Norma **IEEE 1159**. **IEEE Xplore – Digital Library**, Jun. 2009. Disponível em <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&punumber=5154052>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PAULILO, G.; TEIXEIRA, M. D. Variações de tensão de longa duração. In: **Qualidade de Energia**. Edição 87, abril de 2013. Disponível em: <[http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed87\\_fasc\\_qualidade\\_cap4.pdf](http://www.osetoreletrico.com.br/web/documentos/fasciculos/Ed87_fasc_qualidade_cap4.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2015.

SANCHES, Durval. **Interferência eletromagnética**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

STAROSTA, J. Qualidade da energia nos processos industriais e produtividade. **O Setor Elétrico**, eds. 9 e 10, out./nov. 2006. Disponível em: <[http://leonardo-energy.org.br/iniciativas\\_arquivo/artigo-rev-setor-eletrico-qualidade-de-energia-nos-processos-industriais-e-productividade-1a-parte/](http://leonardo-energy.org.br/iniciativas_arquivo/artigo-rev-setor-eletrico-qualidade-de-energia-nos-processos-industriais-e-productividade-1a-parte/)>. Acesso em: 10 set. 2015.

USIDA, W. F. **Controle Fuzzy para melhoria de perfil de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica**. Dissertação de Mestrado da USP. 2007. São Carlos: USP – Escola de Engenharia de São Carlos, 2007. Disponível em <[http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-13042007-121149/publico/Dissertacao\\_mestrado\\_WesleyUsida.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-13042007-121149/publico/Dissertacao_mestrado_WesleyUsida.pdf)>. Acesso em: 17 set.

# MONITORAMENTO E AÇÕES PARA MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

### Convite ao estudo

O monitoramento da qualidade da energia elétrica tem como objetivo evidenciar os fenômenos eletromagnéticos em um local específico de uma rede de energia. O monitoramento é feito por uma das três razões: o diagnóstico de problemas, a avaliação da qualidade da energia elétrica e o planejamento de ligação de novos equipamentos.

A competência de fundamento de área da disciplina qualidade da energia elétrica é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica. Os objetivos de aprendizagem da unidade são entender como a qualidade de energia está inserida no planejamento do sistema elétrico; aprender como é feito o aterramento visando à qualidade da energia elétrica; estudar o monitoramento da qualidade de energia elétrica; conhecer os equipamentos e normas usados para a medição da qualidade de energia elétrica.

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. Seguem alguns pontos que a organização do evento solicitou que você abordasse em sua apresentação: o primeiro assunto que você apresentará é sobre a inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico. Na segunda parte da apresentação, antes do intervalo, você falará sobre aterramento aplicado à qualidade de energia elétrica. Na terceira parte da apresentação, após o intervalo, você explicará sobre monitoramento da qualidade da energia elétrica e finalizará explicando sobre

equipamentos e normas para medição da qualidade da energia elétrica. Dessa forma, as informações da unidade serão importantes para a construção da sua apresentação.

## Seção 4.1

### Inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico

#### Diálogo aberto

As demandas do setor energético que podem comprometer a qualidade de energia elétrica fornecida precisam ser monitoradas devido a diversos fatores. A fim de que a qualidade seja assegurada, alguns dispositivos são utilizados para controlar a tensão, a potência e o fator de potência do sistema.

A competência de fundamento de área da disciplina é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica, e o objetivo de aprendizagem da seção é entender como a qualidade de energia está inserida no planejamento do sistema elétrico.

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. Monte uma apresentação abordando os principais pontos da inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico. Para executar essa parte da apresentação, crie um esquema de fácil entendimento pelos participantes do evento. Essa parte da apresentação deve ser objetiva e a duração deve ter aproximadamente 15 minutos, pois sua apresentação total tem 60 minutos.

#### Não pode faltar

Índices de conformidade para harmônicos de tensão e corrente

Limites ou índices de conformidade, para as distorções, são essenciais para a concessionária e consumidores avaliarem com segurança o nível das distorções harmônicas, definindo responsabilidades sobre possíveis iniciativas de mitigação.



### Assimile

É interessante sabermos algumas siglas que usaremos com frequência nesta unidade:

IEC – *International Electrotechnical Commission*

IEEE – *Institute of Electrical and Eletronics Engineers*

Esses dois institutos fazem a regulamentação dos processos de monitoramento da qualidade da energia elétrica.

A norma da IEC (*International Electrotechnical Commission*) é utilizada para as tensões harmônicas de baixa e média tensão e não apresenta recomendações sobre distorções de corrente.

O IEEE criou em 06/1992 a IEEE 519, que é chamada de "*Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*", ou Recomendações Práticas e Requisitos para Controle Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência. Essa norma estabeleceu procedimentos e limites recomendados para distorções de tensão e para a injeção de correntes harmônicas.



### Reflita

A energia é um ingrediente essencial do desenvolvimento socioeconômico e do crescimento econômico (GOLDEMBERG, 1998).

As correntes harmônicas injetadas e as impedâncias da rede em um PAC (ponto de acoplamento comum) de vários consumidores determinam a distorção harmônica de tensão, para cada uma das frequências. O valor total da corrente injetada depende do número de consumidores ligados, de sua localização e das fontes harmônicas.

Os limites de distorção de correntes harmônicas têm o objetivo de restringir o valor máximo do harmônico individual de tensão, produzida por cada um dos consumidores, em 3% da fundamental no PAC. E também reduzir a distorção harmônica total de tensão (DHTv) em 5%, no mesmo ponto, em função dos níveis de curto-circuito dos barramentos. As correntes harmônicas vindas dos consumidores individuais são avaliadas nos seus pontos de acoplamento comum (PAC) com a concessionária.

### Limites estabelecidos pela ANEEL:

O indicador para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos em regime

permanente, nos barramentos da rede básica, corresponde à distorção de tensão harmônica.

Entende-se por distorção de tensão harmônica total (DTHT) a raiz quadrada do somatório quadrático das tensões harmônicas de ordem 2 a 50.

O valor de cada indicador a ser comparado com o valor padrão será assim obtido pelo seguinte procedimento:

a) determina-se o valor que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de 1 dia (24 horas), ao longo de 7 (sete) dias consecutivos;

b) o valor do indicador corresponde ao maior dentre os sete valores obtidos, anteriormente, em base diária.

### Redução e controle da poluição harmônica – mitigação

O controle das distorções harmônicas pode ser obtido através de algumas ações, dentre elas:

- aumento da potência de curto-circuito no ponto de instalação da carga poluidora ou no PAC;
- aumento do número de pulsos dos conversores (cargas de maior porte);
- alteração da frequência de ressonância para outro valor não presente na rede;
- instalação de filtros.



#### Exemplificando

Podemos encontrar as harmônicas em redes trifásicas e as que causam mais transtornos são as de ordem ímpares.

Não consideramos as harmônicas, que têm ordem acima de 50, pois a sua medição não tem valor significativa. A precisão da medição pode ser considerada até a ordem 30. A supervisão ocorre em harmônicas de ordem 3 a 13, apenas as ímpares.



#### Pesquise mais

Um artigo que pode lhe auxiliar sobre a inclusão da qualidade da energia elétrica é "Análise estatística da qualidade de níveis de tensão em sistemas de distribuição de energia elétrica" que está disponível em: <[http://www.scielo.br/pdf/prod/v21n3/aop\\_t6\\_0002\\_0219.pdf](http://www.scielo.br/pdf/prod/v21n3/aop_t6_0002_0219.pdf)>.

## Sem medo de errar

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. Monte uma apresentação abordando os principais pontos da Inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico. Para executar essa parte da apresentação, crie um esquema de fácil entendimento pelos participantes do evento. Essa parte da apresentação deve ser objetiva e a duração deve ter aproximadamente 15 minutos, pois sua apresentação total tem 60 minutos.

**Índices de conformidade para harmônicos de tensão e corrente:** são limites ou índices de conformidade, para as distorções, que são essenciais para a concessionária e consumidores avaliarem com segurança o nível das distorções harmônicas, definindo responsabilidades sobre possíveis iniciativas de mitigação.

Os **limites de distorção de correntes harmônicas** têm o objetivo de restringir o valor máximo do harmônico individual de tensão, produzida por cada um dos consumidores, em 3% da fundamental no PAC; e restringir a distorção harmônica total de tensão (DHTv) em 5%, no mesmo PAC, em função dos níveis de curto-circuito dos barramentos.

**Limites estabelecidos pela ANEEL:** é o indicador utilizado para avaliar o desempenho global quanto a harmônicos em regime permanente, nos barramentos da rede básica, que corresponde à distorção de tensão harmônica.



### Lembre-se

O IEEE criou em 06/1992 a IEEE 519 *“Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”*, ou Recomendações Práticas e Requisitos para Controle Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência, estabelecendo procedimentos e limites recomendados para distorções de tensão e para a injeção de correntes harmônicas.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.

Mitigação da poluição harmônica	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Entender como a qualidade de energia está inserida no planejamento do sistema elétrico.
3. Conteúdos relacionados	Inclusão da qualidade da energia no planejamento do sistema elétrico.
4. Descrição da SP	Uma companhia de distribuição de energia elétrica o(a) contratou para que você faça um projeto que preveja ações para diminuir as consequências da poluição causada pelas distorções harmônicas. Cite pelo menos três ações que reduzem e controlam essa poluição.
5. Resolução da SP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento da potência de curto-circuito no ponto de instalação da carga poluidora ou no PAC;</li> <li>• aumento do número de pulsos dos conversores (cargas de maior porte);</li> <li>• alteração da frequência de ressonância para outro valor não presente na rede;</li> <li>• instalação de filtros.</li> </ul>



### Faça você mesmo

Pesquise sobre as consequências da poluição harmônicas nas redes de distribuição e faça um levantamento dessas consequências para o setor elétrico.

### Faça valer a pena

**1.** Quais afirmações definem o procedimento para comparar o valor de cada indicador com o valor padrão?

I – Determina-se o valor do indicador no período de 1 dia (24 horas), ao longo de 7 (sete) dias consecutivos;

II – Avaliar o valor do indicador na concessionária de energia elétrica.

III – Comparar o valor do indicador corresponde ao maior dentre os sete valores obtidos, anteriormente, em base diária.

a) Apenas I.

b) Apenas II.

c) I e II.

d) I e III.

e) II e III.

**2.** As concessionárias e consumidores utilizam qual(is) parâmetro (s) para avaliarem com segurança o nível das distorções harmônicas?

- a) Recomendações práticas e requisitos.
- b) Valor de apenas um indicador.
- c) Limites ou índices de conformidade de distorções.
- d) Responsabilidades e iniciativas de melhorias.
- e) Pontos de acoplamentos de correntes.

**3.** Os procedimentos e limites recomendados para distorções de tensão e para a injeção de correntes harmônicas foram previstos em qual norma?

- a) DTHT 236.
- b) IEEE 519.
- c) PAC 342.
- d) ICC 841.
- e) IEC 789.

**4.** Na norma da IEC (International Electrotechnical Commission), é utilizado qual tipo de aplicação do setor elétrico?

- a) Tensões harmônicas de alta e média tensão.
- b) Tensões harmônicas de alta e baixa tensão.
- c) Distorções de tensão.
- d) Tensões harmônicas de baixa e média tensão.
- e) Distorções de corrente.

**5.** As correntes harmônicas injetadas na rede e as impedâncias da rede em um ponto de acoplamento comum determinam a distorção harmônica de tensão. Quais são os parâmetros que influenciam diretamente no valor total dessa corrente injetada na rede?

- a) Localização e fonte harmônicas.
- b) Número de consumidores e fontes de corrente.
- c) Número de consumidores ligados, sua localização e as fontes harmônicas.
- d) Número máximo de harmônicas e a tensão.

e) Localização dos curtos-circuitos dos consumidores.

**6.** Quais ações são comumente utilizadas para o controle de distorções harmônicas no setor elétrico?

**7.** As harmônicas de ordens ímpares são consideradas perturbações mais incômodas. Até que ordem a boa compensação pode ser praticada?



## Seção 4.2

### Aterramento aplicado à qualidade da energia elétrica

#### Diálogo aberto

Sabemos que a função do aterramento é proporcionar uma referência comum para as tensões do sistema. Dessa forma, vamos ver como o sistema de aterramentos é usado para garantir a qualidade da energia elétrica. A competência de fundamento de área da disciplina qualidade de energia elétrica é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

O objetivo de aprendizagem da seção é aprender como é feito o aterramento visando à qualidade da energia elétrica.

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. Agora, na segunda parte da apresentação, mostre de forma resumida os tipos de aterramento aplicado à qualidade da energia elétrica.

#### Não pode faltar

##### A importância do aterramento na qualidade da energia

O aterramento não tem função de servir de retorno das correntes de desequilíbrio entre fases. Se essa fosse a função do aterramento, não teria a necessidade do fio neutro e, no monofásico, seria necessário aterrar o neutro das cargas (DECKMANN; POMILIO, 2015).



#### Refleta

A função do aterramento é proporcionar uma referência comum para as tensões do sistema (DECKMANN; POMILIO, 2015).

O terra pode ter o potencial igual ao neutro ou zero quando se medem todas as outras tensões.

O potencial do terra ficará com valor constante porque há uma condutividade do solo e torna constante a distribuição dessa cargas chamadas eletrostáticas na superfície.

O terra é considerado um mau condutor e isso faz com que a corrente de retorno apareça caso o sistema em desequilíbrio for aterrado.

### Tipos de aterramentos



#### Assimile

Com relação ao aterramento de um sistema trifásico, os principais casos a analisar são o aterramento parcial sem fio de retorno, o aterramento sem fio de retorno e o aterramento com fio de retorno (DECKMANN; POMILIO, 2015).

#### a) Aterramento parcial sem fio de retorno

Um dos neutros está flutuante e há tensões desbalanceadas que podem provocar o aparecimento de uma tensão  $\Delta V_n$  entre os pontos que não estão aterrados e o terra. Uma sobretensão pode ocorrer, em relação ao potencial do terra e às tensões em fase.

#### b) Aterramento dos neutros sem fio de retorno

Não utilizar o fio de retorno e aterrar os neutros das conexões em Y pode ser feito para reduzir a tensão do neutro quando há a ocorrência de desequilíbrio.

#### c) Aterramento do neutro com fio de retorno

Nesse caso, utilizamos o fio de retorno mais o aterramento do neutro quando temos uma carga do tipo mista monofásica e trifásica. O potencial mínimo entre o terra e o outro ponto do sistema e as correntes desbalanceadas pode circular pelo fio de retorno. A segurança contra descarga aumenta quando se utiliza esse tipo de aterramento.

### Aterramento segundo a NBR 5410

A definição do padrão nacional das instalações elétricas, inclusive o método de aterramento, está na norma NBR5410.



### Exemplificando

Podemos citar como exemplo os sistemas trifásicos, com alimentações mono ou bifásicas.

Podemos evidenciar com a norma como se faz o esquema de aterramento com as identificações mostradas no quadro abaixo:

Quadro 4.1 | Identificação para o esquema de aterramento

Primeira letra – mostra a situação da alimentação em relação ao terra.	T = um ponto diretamente aterrado; I = isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância;
Segunda letra – situação das massas da instalação elétrica em relação à terra.	T = massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto da alimentação; N = massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado (em corrente alternada, o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro);
Outras letras (eventuais) – disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.	S = funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos; C = funções de neutro e de proteção combinadas em um único condutor (condutor PEN).

Fonte: Adaptado de Deckmann; Pomilio, 2015.

A importância dos sistemas de aterramento para a qualidade de energia pode ser destacada nos seguintes aspectos:

- redução do risco de sobretensões nas fases;
- aumento da segurança contra descargas ao toque;
- aumento da confiabilidade da proteção;
- redução do risco de mau funcionamento de equipamentos;
- diminuição do risco de falta sustentada de fase;
- viabilização do atendimento de cargas monofásicas sem desequilibrar as tensões.



### Pesquise mais

Pesquise sobre a NBR 5410 e os tipos de aterramento, acessando o *site* disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr\\_5410.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2015.



### Faça você mesmo

Crie um quadro com todos os símbolos utilizados para fazer a classificação dos sistemas de aterramento.

### Sem medo de errar

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. Agora, na segunda parte da apresentação, você deve mostrar de forma resumida os tipos de aterramento aplicado à qualidade da energia elétrica.

#### a) Aterramento parcial sem fio de retorno

Um dos neutros está flutuante e há tensões desbalanceadas que podem provocar o aparecimento de uma tensão  $\Delta V_n$  entre os pontos que não estão aterrados e o terra. Uma sobretensão pode ocorrer, em relação ao potencial do terra e às tensões em fase.

#### b) Aterramento dos neutros sem fio de retorno

Não utilizar o fio de retorno e aterrar os neutros das conexões em Y pode ser feito para reduzir a tensão do neutro quando há a ocorrência de desequilíbrio.

#### c) Aterramento do neutro com fio de retorno

Nesse caso, utilizamos o fio de retorno mais o aterramento do neutro quando temos uma carga do tipo mista monofásica e trifásica. O potencial mínimo entre o terra e o outro ponto do sistema e as correntes desbalanceadas pode circular pelo fio de retorno. A segurança contra descarga aumenta quando se utiliza esse tipo de aterramento.



### Lembre-se

Para saber um pouco mais sobre aterramentos, acesse o *link*: Disponível em: <http://www.fluke.com/fluke/brpt/solutions/earthground/no%C3%A7%C3%B5es-b%C3%A1sicas-sobre-aterramento>>. Acesso em: 9 set. 2015.

## Avançando na prática

Pratique mais	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.</p>	
Importância do aterramento para a qualidade da energia elétrica	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Aprender como é feito o aterramento visando à qualidade da energia elétrica.
3. Conteúdos relacionados	Aterramento aplicado à qualidade de energia elétrica.
4. Descrição da SP	Destaque a importância do aterramento do neutro e do fio de retorno para a qualidade de energia. Cite os principais pontos que tornam esse aterramento tão importante.
5. Resolução da SP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faz a redução do risco de sobretensões nas fases;</li> <li>• aumenta a segurança contra descargas ao toque;</li> <li>• aumenta a confiabilidade da proteção;</li> <li>• faz a redução do risco de mau funcionamento de equipamentos;</li> <li>• diminui o risco de falta sustentada de fase;</li> <li>• detecta-se a presença de harmônicas múltiplas de três;</li> <li>• faz a viabilização do atendimento de cargas monofásicas sem desequilibrar as tensões.</li> </ul>



### Lembre-se

No *link* disponível em: <<http://www.portaleletricista.com.br/aterramento-eletrico/>>. (Acesso em: 9 set. 2015), você poderá se aprofundar na importância do aterramento para as instalações elétricas.



### Faça você mesmo

Pesquise os tipos de aterramento para aplicações residenciais e aplicações industriais.

## Faça valer a pena

**1.** Assinale a alternativa que está relacionada com aterramento parcial sem fio.

- a) Aterra todos os neutros das conexões em Y, sem usar o fio de retorno.
- b) Um dos neutros está flutuante e um desequilíbrio das tensões poderá provocar o surgimento de uma tensão  $\Delta V_n$  entre o ponto comum não aterrado e a terra.
- c) Flutuações da tensão de neutro em caso de desequilíbrio com a presença da sequência zero, devido à resistividade variável do solo.
- d) Presença na rede sem fio de retorno provoca a flutuação da tensão de neutro, por falta de um bom condutor de retorno.
- e) A impedância de retorno é fixa e conhecida; a detecção de anormalidades torna-se muito mais confiável.

**2.** Qual alternativa mostra uma característica do aterramento dos neutros sem fio de retorno?

- a) Redução da tensão de neutro em caso de desequilíbrio consiste em aterrar todos os neutros das conexões em Y.
- b) Um dos neutros está flutuante e um desequilíbrio das tensões poderá provocar o surgimento de uma tensão  $\Delta V_n$  entre o ponto comum não aterrado e a terra.
- c) Segurança contra descarga por toque nos equipamentos e utilização da corrente de retorno como sinal de proteção contra o desequilíbrio ou a presença de harmônicas de sequência zero.
- d) Potencial mínimo entre a terra e qualquer ponto neutro do sistema e as correntes de desequilíbrio poderão circular pelo fio de retorno.
- e) Possibilidade de usar a medida da tensão de neutro para acionar a proteção contra desequilíbrio.

**3.** Que tipo de aterramento tem uma carga alimentada do tipo mista (mono e trifásica)?

- a) Aterramento parcial sem fio de retorno.
- b) Aterramento dos neutros sem fio de retorno.
- c) Aterramento do neutro com fio de retorno.
- d) Aterramento de todos os cabos.
- e) Aterramento das fases.

**4.** Qual é a definição da norma ABNT 5410?

- a) Padrão nacional de instalações elétricas de baixa tensão e, dentre inúmeros aspectos, os métodos de aterramento.
- b) Definição de motores de combustão interna – camisas de cilindro montadas no bloco com ou sem contato com o fluido refrigerante (tipo molhada e seca, respectivamente).
- c) Cabos de potência e condutores isolados sem cobertura, não halogenados e com baixa emissão de fumaça, para tensões até 1 kV – Requisitos de desempenho.
- d) Interpretação da análise de gases dissolvidos (AGD) em óleo mineral isolante de equipamentos elétricos em ensaios de fábrica.
- e) Ensaios em isoladores suporte poliméricos de uso interno, para tensões nominais acima de 1 000 V até 245 kV.

**5.** Se um sistema de aterramento for composto de isolação de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de impedância e de massas ligadas ao ponto da alimentação aterrado, qual será a identificação para esse sistema de aterramento?

- a) T e I.
- b) I e N.
- c) N e T.
- d) T e T.
- e) I e I.

**6.** Quais são os principais pontos que mostram importância do aterramento do neutro e do fio de retorno para a qualidade da energia elétrica?

**7.** Explique o funcionamento do terra nos sistemas de aterramento.



## Seção 4.3

### Monitoramento da qualidade da energia elétrica

#### Diálogo aberto

Atualmente, a demanda pela melhoria da qualidade dos serviços de energia elétrica vem sendo exigida pelos consumidores em benefício da sociedade.

A Agência Nacional de Energia Elétrica está monitorando a qualidade da energia elétrica através do acesso direto e automático das informações de fornecimento sem a necessidade de as empresas de distribuição fazerem o envio das informações para a agência.

A competência de fundamento de área da disciplina é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica, e os conceitos que serão desenvolvidos nesta seção serão importantes para que você alcance essa competência. O objetivo de aprendizagem da seção é estudar o monitoramento da qualidade de energia elétrica.

Você foi convidado a palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. A terceira parte da palestra ocorrerá após o intervalo da manhã e você precisa apresentar os índices que monitoram a qualidade e explicá-los para os participantes do evento.

#### Não pode faltar

Monitoramento da qualidade de energia



#### Refleta

É crescente a demanda pela melhoria da qualidade dos serviços de energia elétrica, com os consumidores exigindo uma pronta atuação do órgão regulador, em benefício da sociedade.

Até o momento, o processo de monitoração da qualidade do serviço oferecido pelas concessionárias baseou-se, principalmente, na coleta e no processamento dos dados de interrupção do fornecimento de energia elétrica (DEC e FEC) informados periodicamente pelas empresas à ANEEL. Os dados são tratados e avaliados pela Agência, que verifica o desempenho das concessionárias.

O projeto de implantação pela ANEEL, o Sistema de Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica, dará à agência acesso direto e automático às informações sobre a qualidade do fornecimento, sem que dependa de dados encaminhados pelas empresas. Por via telefônica, o sistema permite imediata recepção dos dados sobre interrupção e restabelecimento do fornecimento de energia elétrica e conformidade dos níveis de tensão nos pontos em que os equipamentos de monitoração estão instalados. Assim, ele mede os indicadores da qualidade do serviço prestado pelas concessionárias de energia.

Com o sistema, a Superintendência de Fiscalização dos Serviços de Eletricidade – SFE faz um acompanhamento da qualidade de modo mais eficaz e, além disso, pode auditar os dados fornecidos pelas concessionárias. Os indicadores calculados pelo sistema são: os de interrupção (DEC, FEC, DIC e FIC) relativos à duração e à frequência das interrupções, por conjunto de consumidores e por consumidor individual; e os de níveis de tensão (DRP, DRC e ICC), relativos à ocorrência da entrega de energia ao consumidor com tensões fora dos padrões de qualidade definidos pela ANEEL.



### Assimile

O advento dos sistemas de monitoração digital permitiu ir além da monitoração dos sistemas de proteção.

Nos últimos anos, tem-se observado um grande interesse na monitoração de parâmetros associados à qualidade da energia elétrica fornecida.

Esses parâmetros, de uma forma geral, podem ser agrupados em:

- a) sinais transitórios sobrepostos ao sinal de frequência fundamental;
- b) variações momentâneas de tensão;
- c) interrupções momentâneas (continuidade);
- d) desequilíbrio de tensão/corrente;
- e) variações de frequência;
- f) distorção da forma de onda (harmônicos); e
- g) flutuação de tensão/cintilação.

O volume de dados necessário para a análise de cada um destes fenômenos leva em consideração a sua característica e duração. Para os fenômenos que necessitam de um grande volume de dados para a sua caracterização, geralmente adota-se uma abordagem de registros periódicos de eventos. No caso de fenômenos lentos (“quase permanente”), cuja caracterização necessite de um pequeno volume de dados, utiliza-se uma estratégia de medição contínua (histórico).

Ao contrário dos registradores digitais de perturbações (RDP), os quais já possuem um conjunto de funcionalidades muito bem definidas e consolidadas, os registradores de parâmetros para análise da qualidade da energia elétrica (RQEE) ainda se encontram em fase de consolidação, quanto aos recursos disponíveis, capacidades de memória, capacidades de comunicação, protocolos de medição e até mesmo quanto ao preço básico desses instrumentos.

A fronteira que separa um RDP de um RQEE é bastante tênue e, muitas vezes, não parece estar bem clara para os usuários (e mesmo para alguns fabricantes) desses dois equipamentos.

De uma forma geral, as características básicas de um RQEE:

- compreende a monitoração de um conjunto de parâmetros cujo escopo é bem maior do que o do RDP;
- normalmente monitora um único circuito (4 correntes e 4 tensões);
- realiza muitos cálculos sobre os sinais monitorados;
- é configurado por uma série de triggers (disparos) associados aos problemas de QEE (o que normalmente exclui os triggers digitais);
- gera registros estatísticos de eventos aos quais podem estar associados a dados fasoriais (valores de módulo e ângulo medidos a cada ciclo) e também a dados oscilográficos;
- gera registros históricos (medição contínua);
- a sincronização temporal não é tão relevante embora necessária;
- grava normalmente um grande número de eventos, sendo grande a preocupação com estratégias que minimizem o volume de dados armazenados;
- os dados são lidos e analisados com uma filosofia voltada para o tratamento estatístico dos eventos ocorridos em certo período de tempo. Registros oscilográficos concomitantes com os eventos são disponibilizados para permitir uma melhor visualização dos fenômenos;
- pode ser instalados em TP (transformadores de potência) e TC (transformadores

de correntes) que alimentam os sistemas de medição.

As características comuns aos dois registradores constituem-se fundamentalmente pelo hardware e aquisição dos sinais de corrente e tensão, sendo que o escopo do RQEE é muito mais abrangente do que a do RDP. No entanto, existem muitas funcionalidades no RDP que são realizadas pelo RQEE, tais como a localização de defeitos e geração de triggers digitais.

Alguns parâmetros da QEE, principalmente os associados às variações momentâneas de tensão e interrupções, podem ser facilmente registrados com o auxílio de um RDP. No entanto, o volume de dados armazenados é normalmente excessivo, tornando o tratamento deles muito trabalhoso, uma vez que muitas das etapas não são realizadas de forma automática.

A medição de fenômenos de natureza "quase permanente" (harmônicos, por exemplo) pode ser realizada através de disparos oscilográficos em intervalos de tempo periódicos. Esse tipo de registro, no entanto, além de gerar um grande volume de dados, normalmente não atende totalmente aos protocolos de medição usualmente empregados. Alguns fenômenos que dependem de protocolos de medição bastante específicos (como, por exemplo, a medição de cintilação) normalmente não podem ser realizados por meio de um RDP.

Sendo assim, pelos apontamentos já apresentados, temos que o uso de RQEE ainda é incipiente, sendo que os próprios equipamentos e softwares associados encontram-se em uma fase de maturação e grande aprimoramento. A tendência é a de que os RQEEs sejam utilizados principalmente nos pontos de conexão entre os diversos agentes do setor elétrico, com o objetivo de se fazer um acompanhamento contínuo da QEE na fronteira entre as empresas, sendo que os consumidores industriais já começam a instalar seus próprios medidores.

Dessa forma, o que se visualiza para a próxima década é o desenvolvimento de equipamentos mais poderosos que tenderão a agrupar simultaneamente as duas funções (oscilografia e qualimetria) e que irão realizar a monitoração de praticamente toda a rede de transmissão e distribuição de energia elétrica.

## DEFINIÇÕES:

Vamos relembra algumas definições dos índices de qualidade de energia e vamos conhecer mais alguns:

Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC): mostra o número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal.

Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC): mostra quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc.).

Duração de interrupção por unidade consumidora (DIC) e frequência de interrupção por unidade consumidora (FIC): mostra o tempo e o número de vezes respectivamente que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado.

Duração relativa da transgressão de tensão precária (DRP): é o índice individual que se refere à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias, no período de observação definido, expresso em percentual.

Duração relativa da transgressão de tensão crítica (DRC): é o índice individual que se refere à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão críticas, no período de observação definido, expresso em percentual.

Índice de unidades consumidoras com tensão crítica (ICC): percentual da amostra com transgressão de tensão crítica (BERNARDES; AYELLO, 2015).

Um sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica – SMQEE tem a função de centralizar e fazer a estrutura adequada para analisar as informações provenientes de vários pontos da instalação elétrica, obtendo-se informações relevantes exatamente no instante em que os problemas ocorrem (BERNARDES; AYELLO, 2015).



### Exemplificando

Um SMQEE é constituído de vários dispositivos eletrônicos inteligentes (IED), microcomputadores ou estações remotas, softwares e redes para fazer a comunicação entre as partes dos sistemas.

O sistema SMQEE é utilizado para detectar e registrar ocorrências de distúrbios tanto na rede da concessionária quanto no próprio sistema do usuário; detectar e registrar formas de onda em casos de distorções harmônicas acima de certos níveis; monitorar adequadamente o perfil de carga de um determinado alimentador e sua participação no pico de demanda máxima; registrar medições do consumo de energia de vários circuitos, bem como obter tabelas de medidas de diversos tipos de grandezas elétricas para cada ponto de interesse (BERNARDES; AYELLO, 2015).



### Pesquise mais

Sobre o sistema de monitoramento da qualidade da energia elétrica, acesse o *link* disponível em: <[http://www.selinc.com.br/qualidade\\_smqee.aspx](http://www.selinc.com.br/qualidade_smqee.aspx)>. Acesso em: 9 set. 2015.



### Faça você mesmo

Pesquise sobre o monitoramento da qualidade de energia no Brasil.

### Sem medo de errar

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. A terceira parte da palestra ocorrerá após o intervalo da manhã e você precisa apresentar os índices que monitoram a qualidade e explicá-los para os participantes do evento.

Índice	Medida
Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora (DEC)	O número de horas em média que um consumidor fica sem energia elétrica durante um período, geralmente mensal.
Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora (FEC)	Quantas vezes, em média, houve interrupção na unidade consumidora (residência, comércio, indústria etc.).
Duração de interrupção por unidade consumidora (DIC)	Indicam por quanto tempo uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado.
Frequência de interrupção por unidade consumidora (FIC)	O número de vezes que uma unidade consumidora ficou sem energia elétrica durante um período considerado.
Duração relativa da transgressão de tensão precária (DRP)	Indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias, no período de observação definido, expresso em percentual.
Duração relativa da transgressão de tensão crítica (DRC)	Indicador individual referente à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias, no período de observação definido, expresso em percentual.



### Lembre-se

Leia mais sobre a qualidade de energia em:

Disponível em: <[http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2014\\_WhitePaperAcendeBrasil\\_14\\_Qualidade\\_Fornecimento\\_Energia\\_Rev\\_0.pdf](http://www.acendebrasil.com.br/media/estudos/2014_WhitePaperAcendeBrasil_14_Qualidade_Fornecimento_Energia_Rev_0.pdf)>. Acesso em: 9 set. 2015.

Qualidade no fornecimento de energia elétrica: confiabilidade, conformidade e presteza.

## Avançando na prática

Pratique mais	
<p><b>Instrução</b> Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.</p>	
Funções de RQEE	
1. Competência de fundamentos de área	Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.
2. Objetivos de aprendizagem	Estudar o monitoramento da qualidade de energia elétrica.
3. Conteúdos relacionados	Monitoramento da qualidade da energia elétrica.
4. Descrição da SP	Através das características básicas de um registrador de parâmetros para análise da qualidade da Energia Elétrica (RQEE), você deve elencar as principais funções desse tipo de registrador.
5. Resolução da SP	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorar um único circuito (4 correntes e 4 tensões);</li> <li>• realizar muitos cálculos sobre os sinais monitorados;</li> <li>• gerar registros estatísticos de eventos os quais podem estar associados a dados fasoriais (valores de módulo e ângulo medidos a cada ciclo) e também a dados oscilográficos;</li> <li>• gerar registros históricos (medição contínua).</li> <li>• ser instalados em TP (transformadores de potência) e TC (transformadores de correntes) que alimentam os sistemas de medição.</li> </ul>



### Lembre-se

A segunda versão dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, feito pela ANEEL, está disponível em: disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo5\\_V2.PDF](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Modulo5_V2.PDF)>. (Acesso em: 9 set. 2015) e é uma boa fonte de estudos sobre o monitoramento da qualidade da energia elétrica no Brasil.



### Faça você mesmo

Pesquise sobre os tipos de registradores digitais de perturbações (RDP).

## Faça valer a pena

**1.** Antes do surgimento do sistema de monitoração da qualidade da energia elétrica da ANEEL, como era o processo de monitoração feita

pelas concessionárias?

- a) As empresas periodicamente informavam os dados de interrupção à ANEEL, que era responsável por coletar e processar estes dados.
- b) Os dados são enviados por telefone para os órgãos responsáveis para o processamento de dados.
- c) A coleta é feita anualmente para saber quantos consumidores foram lesados pelas interrupções no fornecimento de energia elétrica.
- d) Recebimento dos dados enviados apenas pelos usuários à ANEEL para que haja a verificação da qualidade de energia.
- e) Acesso às informações pela ANEEL apenas da parte dos usuários sem a possibilidade de verificação com as concessionárias.

**2.** No que consiste o sistema de monitoramento da qualidade da energia que está sendo preparado pela ANEEL?

- a) Acesso independente por parte dos usuários do sistema de energia elétrica para o envio de dados.
- b) Acesso automático e direto às informações sobre a qualidade do fornecimento, sem a dependência das empresas encaminharem os dados.
- c) Acesso esporádico às informações quando estas forem solicitadas pela concessionária.
- d) Acesso contínuo a partir dos usuários da rede de distribuição de energia elétrica.
- e) Acesso dependente da agência reguladora do sistema de energia elétrica para o envio de dados.

**3.** Com o sistema de monitoração da qualidade da energia elétrica, qual é a principal função da superintendência de fiscalização dos serviços de eletricidade?

- a) Acompanha a qualidade da energia elétrica de modo eficaz e audita os dados que são fornecidos pelas concessionárias.
- b) Acompanha as interrupções segundo a sua duração diretamente no consumidor.
- c) Acompanha os dados enviados e monitora as interrupções medindo a sua frequência de ocorrência.
- d) Acompanha a qualidade de energia apenas no consumidor com os parâmetros que estão disponíveis na leitura mensal.

e) Acompanha a qualidade de energia da concessionária, analisando o caminho de distribuição.

**4.** No Sistema de Monitoração da Qualidade da Energia Elétrica, quais são os parâmetros que medem as interrupções no consumidor segundo a frequência de ocorrência?

- a) DEC e DIC.
- b) FEC E DEC.
- c) FEC e FIC.
- d) DIC E DEC.
- e) FIC e DIC.

**5.** No Sistema de Monitoração de Qualidade da Energia, qual parâmetro que se refere à duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão precárias em um período de observação definido?

- a) DRC.
- b) DRP.
- c) DFR.
- d) DRT.
- e) DFF.

**6.** Quais são os parâmetros no sistema de monitoramento de qualidade da Energia elétrica que se referem ao nível de tensão que é entregue ao consumidor fora dos padrões estabelecidos pela ANEEL?

**7.** Qual é o indicador que mede de forma individual a duração relativa das leituras de tensão, nas faixas de tensão críticas, no período de observação definido, e geralmente é expresso em percentual?



## Seção 4.4

### Equipamentos e normas para medição da qualidade da energia elétrica

#### Diálogo aberto

O IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) nos Estados Unidos e o CIGRÉ na Europa são os órgãos que são responsáveis pela padronização da qualidade de energia elétrica, nessas regiões.

Vamos abordar, nesta seção, os equipamentos e as normas utilizadas no setor elétrico para a qualidade da energia elétrica.

A seção o(a) ajudará a atingir a competência de fundamento de área, que é conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

O objetivo de aprendizagem da seção é conhecer os equipamentos e normas usados para a medição da qualidade de energia elétrica.

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia, que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. E, para finalizar sua apresentação, foi-lhe solicitado que você mostre quais são os principais órgãos e normas de monitoramento de qualidade da energia.

#### Não pode faltar

Multimedidores digitais



#### Refleta

Os multimedidores digitais são a base do SMQEE e devem cumprir requisitos específicos para o correto monitoramento da qualidade de energia elétrica (BERNARDES; AYELLO, 2015).

Elencamos alguns pontos que são necessários para que haja benefícios aplicados pelo SMQEE:

Quadro 4.2 | Aplicações do SMQEE

Medições RMS verdadeiras (true RMS)	Há a necessidade da comparação entre os valores "true RMS" versus fundamental, até a harmônica 50.
Inclusão de novas grandezas	Medidas como distorção harmônica, potência de distorção harmônica, fator K, fator de crista, flutuação de tensão e desequilíbrios de tensão e corrente são usadas para fazer o monitoramento da qualidade da energia.
Excelente precisão mesmo para condições de alta distorção harmônica	Realização de medições de energia para faturamento e rateio de custos entre departamentos dentro da indústria.

Fonte: Adaptado de Bernardes; Ayello, (2015)

### Características Gerais

A entrada da concessionária, os barramentos e os alimentadores com cargas especiais, como fornos a arco ou de indução, conversores, são os circuitos em que utilizamos os multimedidores. São utilizados para monitor a energia em períodos considerados relativamente grandes, como, por exemplo, um mês.

### Instrumentação Geral

Podemos dividir em quatro grandes blocos as medições que utilizamos os multimedidores, como mostra o quadro abaixo:

Quadro 4.3 | Aplicações do SMQEE

Leituras operacionais em tempo real em RMS	Grandezas elétricas que são usadas para fins operacionais, tais como correntes, tensões, potência ativa, reativa e aparente, fator de potência e frequência.
Leituras de demandas em RMS	Grupo de medidas específico para monitoramento de demanda nos circuitos.
Leituras de energia	São medições de energia acumulada. Consideramos as seguintes leituras: energia ativa, energia reativa, energia aparente e leituras bidirecionais das energias ativa e reativa.
Qualidade de energia	Fornecer várias grandezas que possibilitem o monitoramento da qualidade da energia elétrica de um circuito, em conformidade com as normas vigentes do IEC (Internacional Electrotechnical Commission) e da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

Fonte: Adaptado de Bernardes; Ayello, (2015)

A ANEEL mede e registra os seguintes parâmetros: a tensão em regime permanente utilizando o cálculo do DRP; o monitoramento das VTCD (variações de tensão de curta duração); a distorção harmônica total e individual, considerando até componentes de 50ª harmônica; a flutuação de tensão (PST e PLT); o desequilíbrio de tensão; o fator de potência; a variação de frequência.

### Monitoramento de distúrbios

Uma das funções dos multimedidores é ser capaz de monitorar de forma contínua os fenômenos. O operador do SMQEE solicita informações ou respostas via software aplicativo de uma condição que foi detectada pelo multimedidor ou por um disparo externo. O sistema SMQEE captura e registra as formas de onda com 60 ciclos e com 64 amostras por ciclo quando está medindo as variações de tensão de curta duração (VTCD).



#### Assimile

Há um monitoramento contínuo para as magnitudes dos valores RMS para cada canal que detecta as condições de variações de tensão de curta duração, como os afundamentos e elevações de tensão.

É possível fazer o diagnóstico dos problemas dos equipamentos que causam as subtensões e as sobretensões momentâneas, que identificam as áreas que são consideradas vulneráveis e necessitam de ações de correção.

Altos custos de operação são gerados quando há interrupções de fornecimento de energia em um processo industrial. Há uma dependência da sensibilidade de um único equipamento no processo produtivo são susceptíveis distúrbios no sistema de energia.

Se ocorrer uma interrupção ou um desligamento do sistema elétrico, fica difícil definir quais foram as causas do distúrbio, como foram originados nos circuitos remotos, se não houver o sistema de monitoramento de qualidade de energia elétrica – SMQEE.

A capacidade de monitoramento de distúrbios dos multimedidores pode ser usada para fazer a identificação de interrupções, afundamentos e elevações de tensão, e comparação da sensibilidade dos equipamentos do sistema de energia de acordo com as normas. Também pode fazer a distinção entre falhas e problemas do sistema elétrico e pode desenvolver soluções para problemas de sensibilidade de tensão.

### Outros dispositivos eletrônicos inteligentes

O SMQEE completo deve ser composto por conjuntos de IED (Dispositivos Eletrônicos Inteligentes) e não apenas de multimedidores. A combinação dos multimedidores com os IED do sistema permite o monitoramento de todos os pontos dele. A integração de medidores e relés de proteção permite associar algumas perturbações com a atuação do sistema de proteção. Por exemplo, é possível associar um afundamento de tensão devido a um curto-circuito na rede da concessionária com a queima de um motor na baixa tensão, caso tenham ocorrido no mesmo instante de tempo.

Os relés de proteção também possuem funções de monitoramento de grandezas e particularidades específicas para cada equipamento, contribuindo, assim, para o monitoramento da QEE do sistema. O Quadro 4.2 mostra os tipos de IED que auxiliam no monitoramento dos principais problemas que envolvem QEE nos equipamentos dos sistemas elétricos.

Quadro 4.4 | Distúrbios x Medidores

Distúrbio / Equipamento Monitoramento	IED responsável pelo monitoramento
VTCD – Variação de tensão de curta duração	Multimedidores
VTLD – Variação de tensão de longa duração	Multimedidores
Grandezas em regime permanente	Multimedidores
Curto secundários de TPs e TCS	Relés de proteção/multimedidores
Transformadores, disjuntores, motores, geradores	Relés de proteção/multimedidores
Serviços auxiliares: banco de baterias, retificadores, trafo auxiliar	Relés de proteção/ processador I/O
Cálculo de integralização dos índices de QEE	Multimedidores / plataformas computacionais IHM

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um exemplo de dispositivo IED do SMQEE que podemos citar é a plataforma computacional central. Essa plataforma tem as seguintes funções: fazer a concentração, cálculos e manipulação dos dados de todos os IED do sistema.

O sistema computacional tem a função de detectar e solucionar problemas como: a queima de motores de indução em circuitos de baixa tensão; sobrecarga no neutro do alimentador; isolador trincado numa rede de distribuição aérea, interna da fábrica, que provoca fuga à terra de baixo valor; galho de árvore próximo à rede que pode provocar um curto circuito; sobreaquecimento e a queima do transformador de media tensão para baixa tensão por conta de cargas não lineares; bancos de dados em forma de histórico que contém dados reais, que são usados para fazer as expansões futuras, e, como consequência, há a redução de investimentos.

Podemos elencar alguns benefícios que se tem com a instalação de um Sistema de

### Monitoramento de Qualidade de Energia Elétrica – SMQEE:

- redução de custos de consumo de energia;
- verificação da sensibilidade dos equipamentos;
- redução de custos de interrupções forçadas;
- detecções de distúrbios que vêm das concessionárias de energia;
- detecção e avaliação de custos de consumo e de interrupção de energia;
- otimização da produção pelo monitoramento feito de forma adequada de motores elétricos e transformadores;
- o consumo de energia influencia a alocação de recursos nos departamentos;
- a avaliação dos impactos causados pela poluição;
- melhoria da eficiência e da utilização dos equipamentos;
- auxílio nas ações de planejamento quando ocorrer a expansão das instalações.

### NORMAS

#### ISO – *International Organization for Standardization*

A norma da ISO é considerada uma das novas ferramentas para a melhoria do desempenho energético. A ABNT NBR ISO 50001, chamada de norma “ISO 50001 – Sistemas de Gestão da Energia: Requisitos com Guia para Uso”, é baseada nas normas nacionais e na norma europeia para o setor elétrico. São alguns objetivos dessa norma: criar sistemas e processos para a melhoria do desempenho do setor energético que são usados para melhorar a eficiência energética, o uso e o consumo da energia elétrica; fazer a redução das emissões de gases e outras emissões que prejudicam o meio ambiente. É uma norma baseada no ciclo PDCA – (P) Planejar, (D) Executar (Do), (C) Checar, (A) Atuar (ISO 50001, 2015).

#### ANEEL – Padrões para avaliação da tensão suprida

O objetivo dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no sistema elétrico Nacional – PRODIST, Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, é estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica – QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.

Através da qualidade dos serviços que são prestados, esse módulo constrói

uma metodologia que tem a função de apurar os indicadores de continuidade e os tempos de atendimentos das ocorrências consideradas emergenciais, dessa forma identificando padrões e responsabilidades (PRODIST, 2015)

Quadro 4.5 | Procedimentos de qualidade de energia elétrica definidos nesse módulo 8 – ANEEL

Consumidores com instalações conectadas em qualquer classe de tensão de distribuição.
Produtores de energia.
Distribuidoras.
Agentes importadores ou exportadores de energia elétrica.
Transmissoras detentoras de demais instalações de transmissão – DIT.
Operador Nacional do Sistema – ONS.

Fonte: Adaptado pelo autor de Prodist, (2015)

A qualidade definida pelo PRODIST é o produto em regime permanente ou transitório que precisa com seguintes parâmetros avaliados: a tensão em regime permanente, o fator de potência, os harmônicos, o desequilíbrio de tensão, a flutuação de tensão e as variações de tensão de curta duração (PRODIST, 2015).

### **IEEE Standard Association**

O IEEE-SA desenvolve normas para produtos e serviços nos setores de geração de energia, tecnologia de informação e setores de telecomunicação. Abrange cerca de 1300 normas e projetos que estão em desenvolvimento (IEEE-SA, 2015).



#### **Exemplificando**

A norma IEEE 1159-2009 (*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*) – Recomendações para a prática do monitoramento da qualidade da energia elétrica (IEEE-SA, 2015).

### **International Council on Large Electric Systems – CIGRÉ**

A organização permanente chamada CIGRÉ é do tipo não governamental, sem fins lucrativos, fundada em 1921 na França, e se dedica a tratar aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte. Possui organizações nacionais associadas. O Comitê Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – CIGRÉ-Brasil é uma sociedade civil, sem fins lucrativos, fundada em 1971, que tem por objetivo promover o intercâmbio e desenvolvimento técnico, tecnológico, e da engenharia no

Brasil, no campo da produção de energia elétrica, de sua transmissão em alta tensão e distribuição.

Alguns aspectos são tratados por essa organização, como: os aspectos elétricos e eletromecânicos da geração de energia elétrica; estudos, projetos, construção, operação e manutenção de linhas de transmissão, subestações e equipamentos ou sistemas associados; o planejamento eletroenergético de sistemas, isolados ou interligados e sua operação e racionalização ou conservação de energia; telecomunicações, controle e proteção em sistemas elétricos; o desenvolvimentos e aplicação de materiais, equipamentos e sistemas eletroenergéticos; o desenvolvimento e aplicação de métodos e técnicas destinadas à análise e desenvolvimento dos sistemas elétricos de potência; os aspectos de regulação e mercado de energia, geração distribuída, meio ambiente e tecnologia de informação (CIGRÉ-BRASIL, 2015).



### Pesquise mais

Para pesquisar mais sobre as normas de qualidade de energia vigentes do Brasil, utilize o *site* da Agência Nacional de Energia Elétrica ANEEL: Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 9 set. 2015.



### Faça você mesmo

Faça um quadro com os principais procedimentos de qualidade de energia previstos pela ANEEL.

## Sem medo de errar

Você foi convidado para palestrar sobre o monitoramento da qualidade de energia no Congresso Internacional de Qualidade de Energia que acontecerá em Paris – França, na cidade luz. E, para finalizar sua apresentação, foi-lhe solicitado que você mostrasse quais são os principais órgãos e normas de monitoramento de qualidade da energia.

**ISO – International Organization for Standardization:** a ABNT NBR ISO 50001, chamada de norma “ISO 50001 – Sistemas de Gestão da Energia: Requisitos com Guia para Uso”, é baseada nas normas nacionais e na norma europeia para o setor elétrico. São alguns objetivos dessa norma: criar sistemas e processos para a melhoria do desempenho do setor energético que são usados para melhorar a eficiência

energética, o uso e o consumo da energia elétrica; fazer a redução das emissões de gases e outras emissões que prejudicam o meio ambiente.

**ANEEL – Padrões para avaliação da tensão suprida:** os objetivos dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST e Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica são estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica – QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.

**IEEE Standard Association:** o IEEE-SA é uma entidade que desenvolve normas relacionadas a produtos e serviços, nos setores de telecomunicações, de tecnologia da informação e de geração de energia.

**International Council on Large Electric Systems – CIGRÉ** é uma organização permanente, não governamental, sem fins lucrativos, fundada em 1921, na França, que se dedica a tratar aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte.



### Lembre-se

Você pode pesquisar mais sobre essas organizações, agências e normas acessando: Disponíveis em:

<<http://www.bsigroup.com/pt-BR/ISO-50001-Gestao-de-Energia/>>.

<[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/revista\\_pd.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/revista_pd.pdf)>.

<<http://www.cigre.org/>>.

Acesso em: 9 set. 2015.

## Avançando na prática

### Pratique mais

#### Instrução

Desafiamos você a praticar o que aprendeu, transferindo seus conhecimentos para novas situações que pode encontrar no ambiente de trabalho. Realize as atividades e depois compare-as com a de seus colegas.

#### Aspectos de qualidade da energia elétrica

#### 1. Competência de fundamentos de área

Conhecer e ser capaz de analisar os aspectos técnicos da qualidade de energia elétrica aplicada aos sistemas de distribuição e transmissão de energia elétrica.

#### 2. Objetivos de aprendizagem

Conhecer os equipamentos e normas usados para a medição da qualidade de energia elétrica.

3. Conteúdos relacionados	Equipamentos e normas para a medição da qualidade da energia elétrica.
4. Descrição da SP	As normas definem aspectos que devem ser considerados quando se analisa a qualidade da energia elétrica, independente do regime em que ela se encontra. Liste quais são estes aspectos.
5. Resolução da SP	Tensão em regime permanente. Fator de potência. Harmônicos. Desequilíbrio de tensão. Flutuação de tensão. Variações de tensão de curta duração.



### Faça você mesmo

Pesquise sobre as funções dos equipamentos de medição da qualidade de energia disponíveis no mercado.

### Faça valer a pena

**1.** Qual das afirmações se refere ao sistema de monitoração da qualidade da energia elétrica?

I – Proporciona inúmeros benefícios para diversos setores, que dependem da energia elétrica para que possam dar continuidade ao processo de produção ou serviços.

II – Envolve regras para produtos e serviços nos setores de telecomunicações, de tecnologia da informação e de geração de energia.

III – Dedicar-se a tratar aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte.

- a) Apenas a I.
- b) Apenas a II.
- c) Apenas a III.
- d) II e III.
- e) I e II.

**2.** Qual das afirmações faz referência aos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST e Módulo 8 –

Qualidade da Energia Elétrica, da ANEEL?

- a) Mostra normas relacionadas a produtos e serviços, nos setores de telecomunicações, de tecnologia da informação e de geração de energia.
- b) Trata de aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte.
- c) Promove o intercâmbio e desenvolvimento técnico, tecnológico, e da engenharia no Brasil, com a utilização de normas de produtos e serviços
- d) Estabelecer os procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica – QEE, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.
- e) Estabelece a metodologia relacionadas a produtos e serviços, nos setores de telecomunicações, de tecnologia da informação e de geração de energia.

**3.** Qual das normas de Qualidade da Energia Elétrica baseia-se no PDCA – P) Planejar, (D) Executar (Do), (C) Checar, (A) Atuar?

- a) IEEE-SA.
- b) CIGRÉ.
- c) ISO 50001.
- d) PRODIST – Modulo 8.
- e) ANEEL.

**4.** Qual é o órgão internacional que foi criado para tratar de aspectos técnicos, econômicos, ambientais, organizacionais e de regulamentação relacionados a sistemas elétricos de grande porte da Europa?

- a) IEEE-SA.
- b) CIGRÉ.
- c) ISO 50001.
- d) PRODIST.
- e) ANEEL.

**5.** Qual instrumento é utilizado no sistema monitoração de qualidade de energia elétrica junto com os multimedidores digitais?

- a) MA – medidores analógicos.

- b) LCEE – leitores de consumo de energia elétrica.
- c) LID – leitores de interrupções da distribuição.
- d) OD – osciloscópio digital.
- e) IED – dispositivos eletrônicos inteligentes.

**6.** Quais são os principais benefícios do Sistema Monitoração de Qualidade de Energia Elétrica?

**7.** Quais são os objetivos da norma ABNT NBR ISO 50001 para a qualidade da energia elétrica?



# Referências

AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 1 jun. 2015.

AGÊNCIA Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>>. Acesso em: 30 set. 2015.

ALDABÓ, Ricardo. **Qualidade na energia elétrica**. São Paulo: Artliber, 2001.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 6939/1999** – “Coordenação do Isolamento – Procedimento” – 1º Projeto de Revisão da NBR 6939/1987. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão: electrical installations of buildings – Low voltage. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <[http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr\\_5410.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/normas%20e%20relat%F3rios/NRs/nbr_5410.pdf)>. Acesso em: 3 ago. 2015.

BERNARDES, R.; AYELLO, F. SMQEE – SISTEMA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA. Publicado pelo IEEE. Disponível em: <[http://www.selinc.com.br/art\\_tecnicos/SMQEE\\_SISTEMA\\_DE\\_MONITORAMENTO\\_DA\\_QUALIDADE\\_DE\\_ENERGIA.pdf](http://www.selinc.com.br/art_tecnicos/SMQEE_SISTEMA_DE_MONITORAMENTO_DA_QUALIDADE_DE_ENERGIA.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2015.

CHAPMAN, David. **Guia de aplicação de qualidade de energia**: fundamentos de tensão. 2002. Disponível em: <<http://www.leonardo-energy.org.br/wp-content/uploads/2009/06/51-afundamento-introducao.pdf>>. Acesso em: 2 jun. 2015.

COLEON, Richard. **Evolução dos dispositivos de proteção contra sobretensões**. Disponível em: <<https://richardcoleon.files.wordpress.com/2011/12/capc3adtulo-2.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2015.

COMITÉ Nacional Brasileiro de Produção e Transmissão de Energia Elétrica – CIGRÉ. Disponível em: <<http://www.cigre.org>>. Acesso em: 30 set. 2015.

COURY, D. V.; SANTOS, C. J. dos; TAVARES, M. C. Transient analysis resulting from shunt capacitor switching in an actual electrical distribution system”. **8th ICHQP Proceedings**, Greece, v. 1, p. 292-297, oct. 1998.

DECKMANN, S. M. E. POMILIO, J. A.; Avaliação da Qualidade da Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/qualidade/a7.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2015.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, H. W. **Electrical power systems quality**. New York: McGraw-Hill, 1996.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. São Paulo: Edusp; Cesp, 1998. 234 p.

GREENWOOD, A. **Electrical transients in power systems**. New York: John Wiley & Sons, 1991. 751p.

IEEE Working Group. IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. **IEEE Standards Board**, jun. 1995.

IEEE-as. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/>>. Acesso em: 30 set. 2015.

INTERNATIONAL Council on Large Electric Systems – CIGRÉ Disponível em: <<http://www.cigre.org>>. Acesso em: 30 set. 2015.

ISO 50001. Disponível em: <[http://www.crea-pr.org.br/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=1041:06-nov-abnt&id=65:seminario-de-eficiencia-energetica](http://www.crea-pr.org.br/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=1041:06-nov-abnt&id=65:seminario-de-eficiencia-energetica)>. Acesso em: 30 set. 2015.

NORMA IEEE 1159. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?reload=true&punumber=5154052>>. Acesso em: 25 ago. 2015.

PRODIST – MÓDULO 8 – ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica – <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo8\\_revisao\\_1\\_retificacao\\_1.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/modulo8_revisao_1_retificacao_1.pdf)>. Acesso em: 30 set. 2015.

SANCHES, Durval. **Interferência eletromagnética**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.















ISBN 978-85-8482-242-3



9 788584 822423 >