

# MÓDULO IV

# QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

# INTRODUÇÃO

Nos últimos anos é comum que as instalações elétricas residenciais e comerciais tenham cargas com controles e dispositivos eletrônicos; este é o caso dos eletrodomésticos (com elementos de estado sólido), computadores pessoais, lâmpadas econômicas, etc.

# INTRODUÇÃO

A presença destas cargas origina perturbações nas ondas de tensão e corrente, tanto na sua forma quanto na sua magnitude, o qual ocasiona dano aos equipamentos e mal-estar aos usuários.

Por isso, é necessário ter um fornecimento elétrico que conserve os níveis de qualidade conforme a normalização existente e informar aos usuários quais cargas são mais sensíveis e capazes de gerar perturbações e a forma de atenuá-las para obter um melhor serviço.

# OBJETIVOS

- Identificar as fontes que produzem harmônicas.
- Reconhecer os efeitos das harmônicas nas instalações elétricas.
- Medir as harmônicas e interpretar os seus resultados.
- Reconhecer as técnicas para atenuar as harmônicas.

# CONTEÚDO

Capítulo 1: Harmônicas.

Capítulo 2: Medição de harmônicas.

Capítulo 3: Flicker.

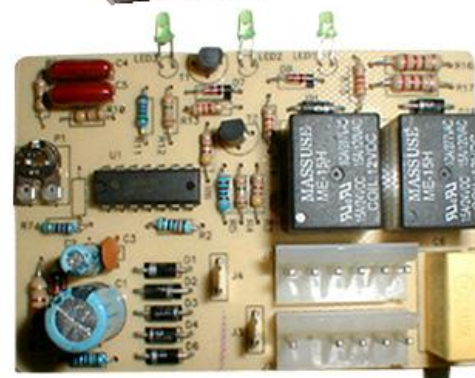
Capítulo 4: Normalização.

# **CAPÍTULO 1**

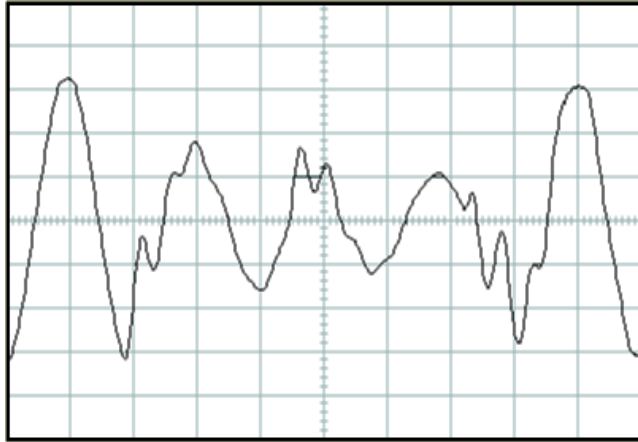
## **HARMÔNICAS**

# INTRODUÇÃO

Na atualidade é comum que as instalações elétricas residenciais e comerciais tenham cargas com controles e dispositivos eletrônicos.



# INTRODUÇÃO

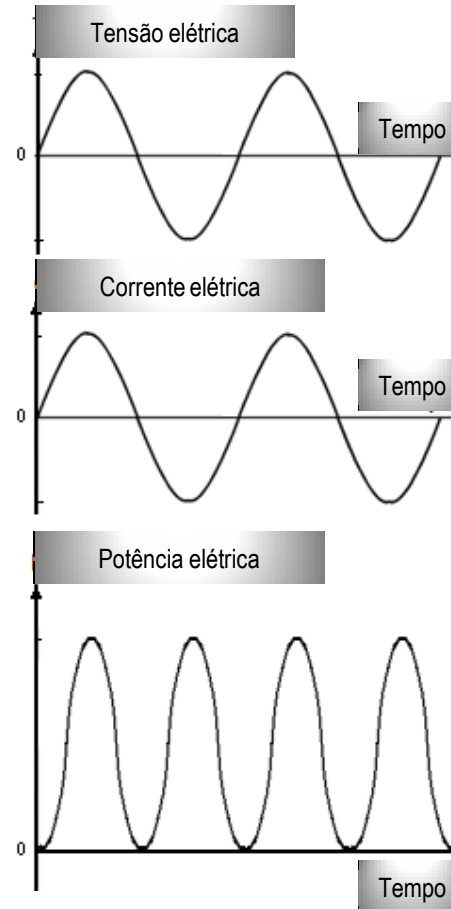


A presença destas cargas nas instalações elétricas tem originado perturbações na tensão, tanto na sua forma de onda quanto na sua magnitude, ocasionando, muitas vezes, dano aos equipamentos e mal-estar aos usuários.



# QUALIDADE DA ENERGIA

No fornecimento de energia, a tensão deveria ter uma forma de onda senoidal pura, sem alterações em amplitude, frequência ou fase, como se proviesse de uma barra infinita.



Qualidade da Energia = Qualidade da Tensão

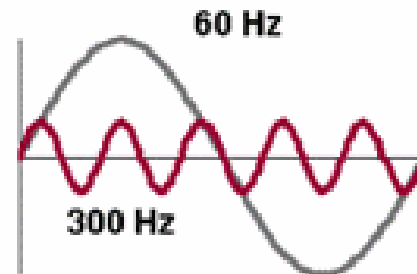
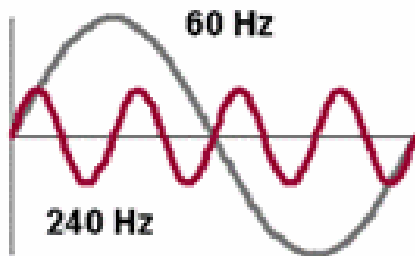
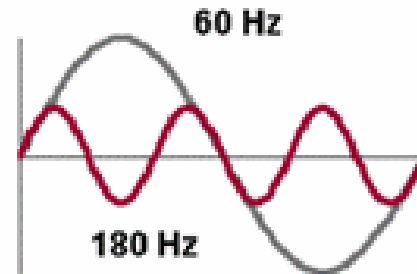
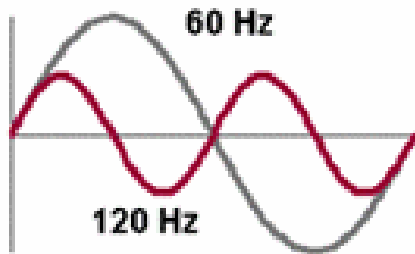
# DEFORMAÇÃO

As harmônicas deformam o sinal de corrente e/ou tensão, perturbando a distribuição elétrica e diminuindo a qualidade da energia elétrica.



# HARMÔNICAS

São ondas de tensão ou corrente cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental da rede (60 Hz).

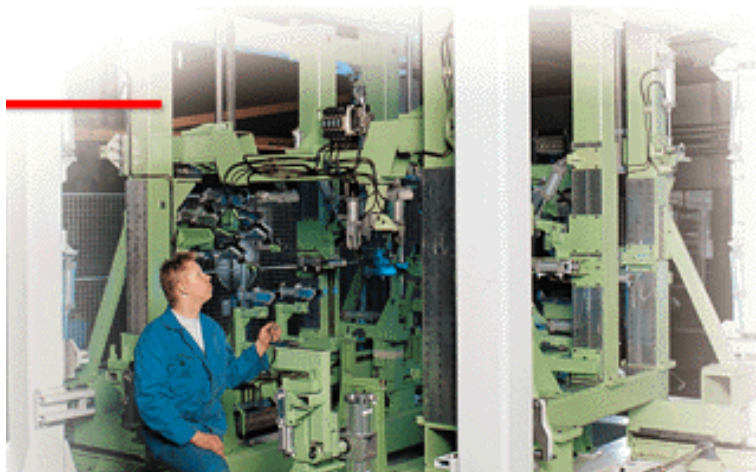


# HARMÔNICAS

1. O valor da frequência fundamental (ou harmônica de ordem 1) é 60 Hz.
2. A segunda ordem harmônica tem frequência de 120 Hz.
3. A terceira harmônica tem frequência de 180 Hz.
4. A quarta harmônica tem frequência de 240 Hz.
5. Um sinal deformado é o resultante da soma de diferentes harmônicas.

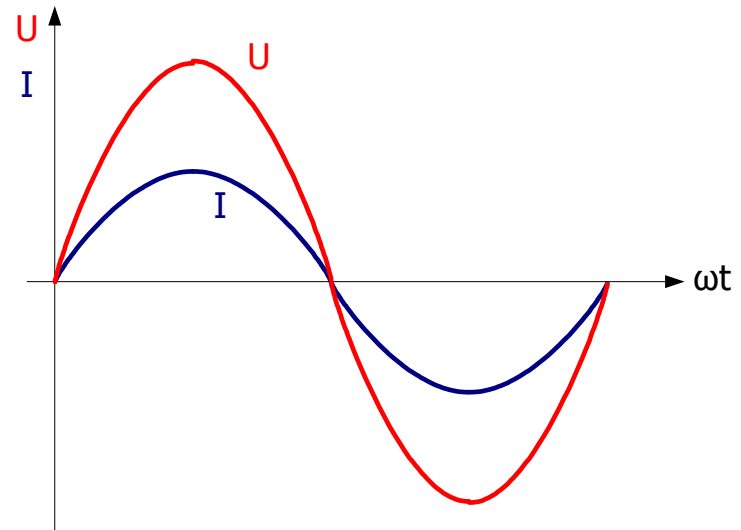
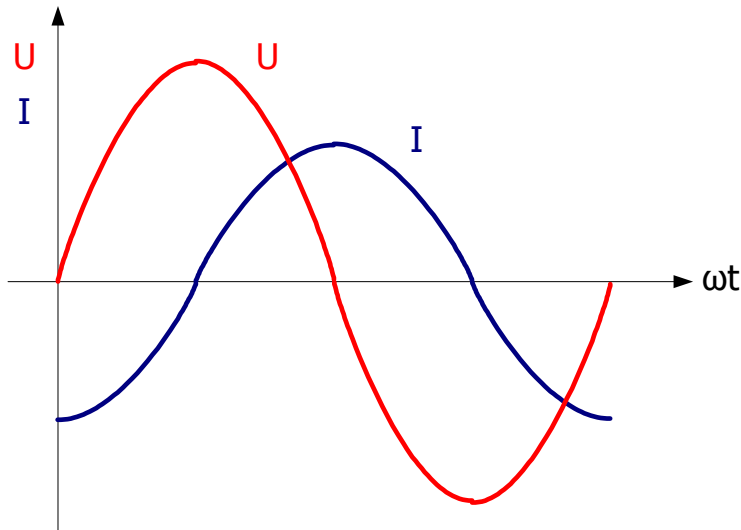
# FONTES DE HARMÔNICAS

Os equipamentos geradores de harmônicas estão presentes em todas as instalações industriais, comerciais e residenciais. As harmônicas são provocadas pelas cargas não lineares.



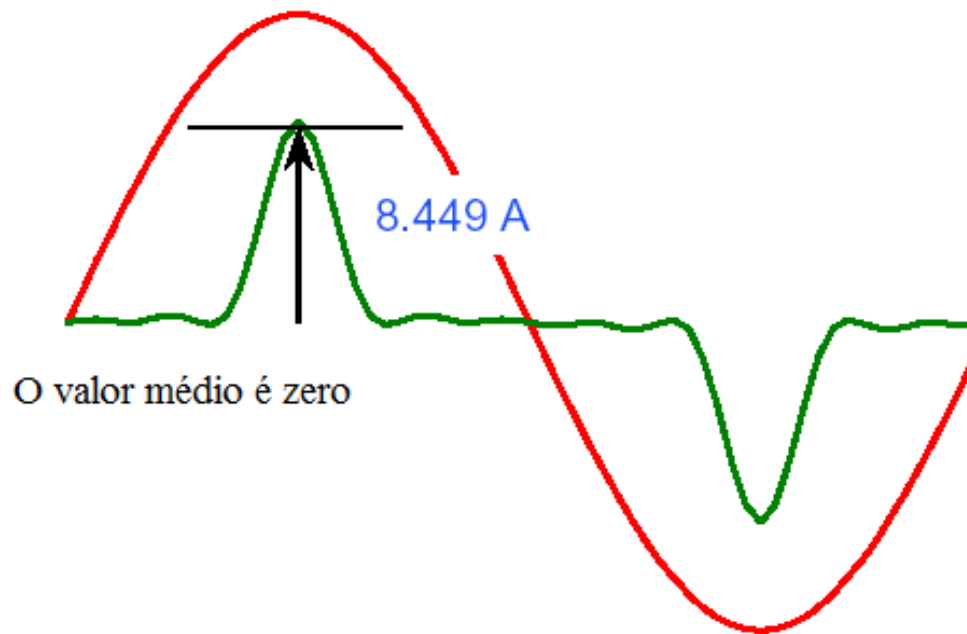
# CARGA LINEAR

Uma carga é considerada linear quando a intensidade que circula pela mesma tem a mesma forma senoidal que a tensão que a alimenta. Exemplo: lâmpadas incandescentes, aquecedor de água, transformadores de baixa potência, etc.



# CARGA NÃO LINEAR

Uma carga é considerada não linear quando a intensidade que circula pela mesma não tem a mesma forma senoidal que a tensão que a alimenta.



# CARGAS NÃO LINEARES

As cargas não lineares típicas são os equipamentos que contêm circuitos com eletrônica de potência.

Estes tipos de cargas são cada vez mais frequentes e a sua porcentagem no consumo total da instalação aumenta constantemente.





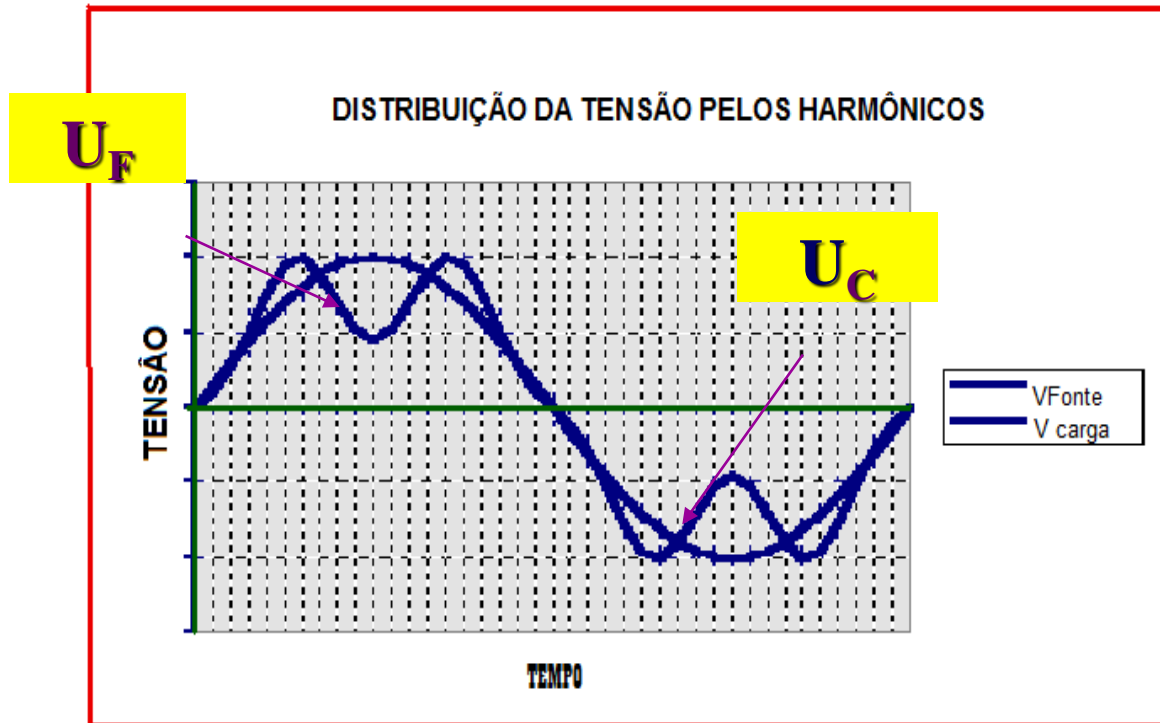
# CARGAS NÃO LINEARES

- Equipamentos de informática: PCs, fotocopiadoras, faxes, etc.
- Aplicações domésticas: equipamentos de televisão, fornos microondas, iluminação fluorescente, etc.
- Fontes de alimentação ininterrupta (UPS).



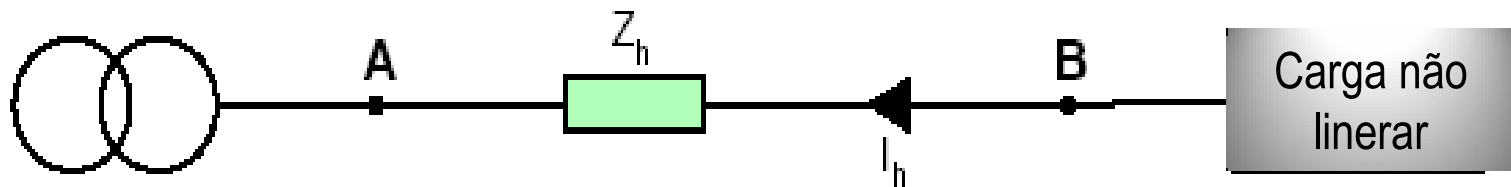
# PERTURBAÇÕES

As correntes elétricas harmônicas, por meio das impedâncias da instalação, geram harmônicas de tensão, que deformam a tensão de alimentação.



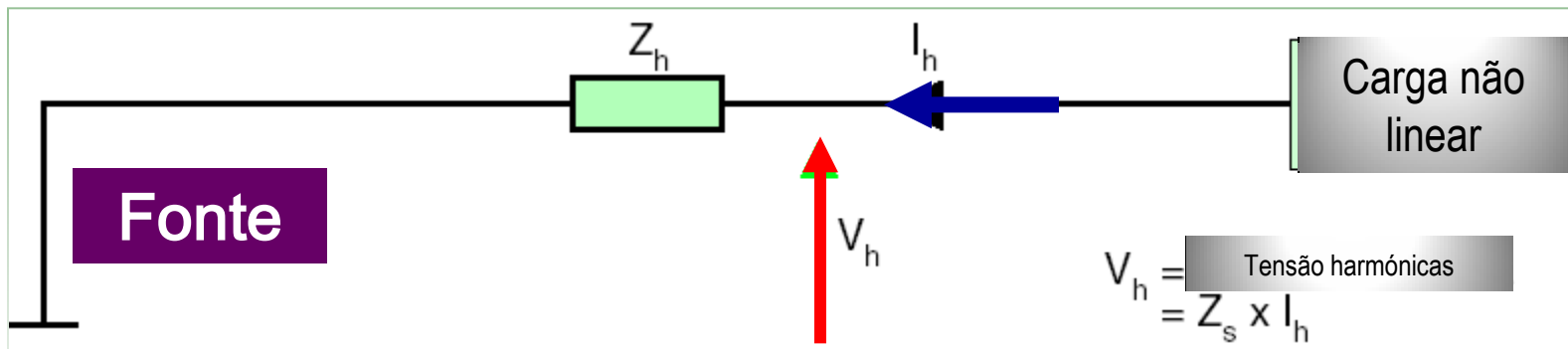
# PERTURBAÇÕES

A impedância de um condutor aumenta em função da frequência da corrente que circula pelo mesmo. Para cada ordem de harmônica existe, portanto, uma impedância  $Z_h$  do circuito de alimentação.

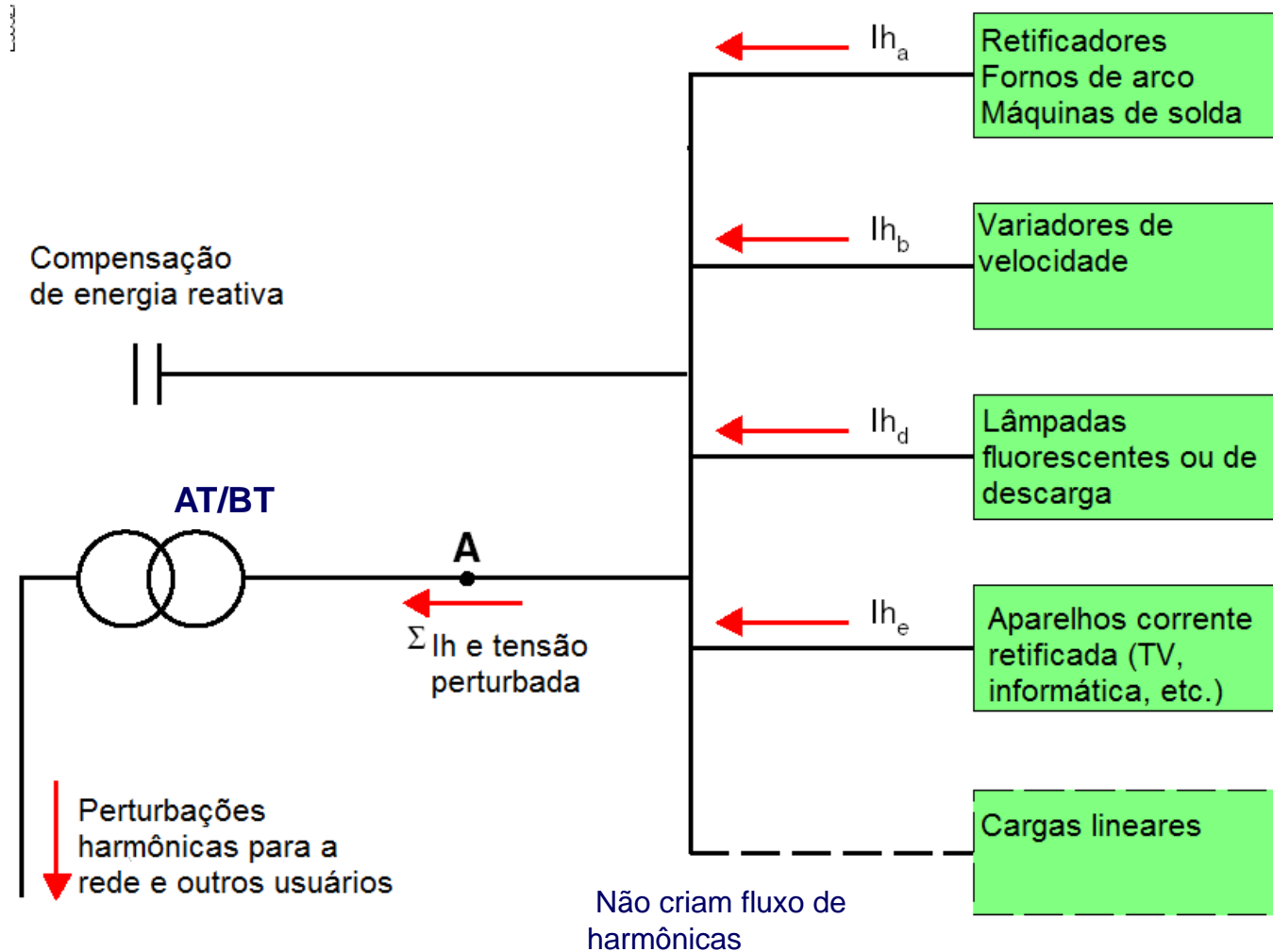


# FLUXO DE HARMÔNICAS EM UMA INSTALAÇÃO

Para entender melhor o fenômeno das correntes harmônicas pode ser útil imaginar que as cargas não lineares injetam correntes harmônicas na direção da fonte.



# FLUXO DE HARMÔNICAS EM UMA INSTALAÇÃO



# PERTURBAÇÕES OCASIONADAS PELAS HARMÔNICAS

O fluxo de harmônicas em uma instalação reduz a qualidade da energia e origina numerosos problemas:

- Sobrecarga da rede.
- Sobrecarga dos condutores neutros devido à soma das harmônicas de ordem 3.
- Perturbação das redes de comunicação ou das linhas telefônicas.



# IMPACTO ECONÔMICO DAS PERTURBAÇÕES

- O envelhecimento prematuro dos equipamentos supõe que devam ser substituídos com antecedência, a menos que tenham sido superdimensionados inicialmente.
- As sobrecargas na instalação aumentam o consumo de energia, ultrapassando a contratada. Isto implica que, se não existe um superdimensionamento da instalação, ocorrerão perdas complementares.
- As perturbações na corrente produzem disparos intempestivos dos interruptores e a interrupção das atividades.

# CONSEQUÊNCIAS DAS HARMÔNICAS

O fenômeno das harmônicas não era considerado até mais ou menos uma década atrás, pois os seus efeitos na instalação eram, geralmente, pouco importantes. No entanto, o uso massivo de equipamentos eletrônicos aumentou de forma importante este fenômeno em todas as atividades.



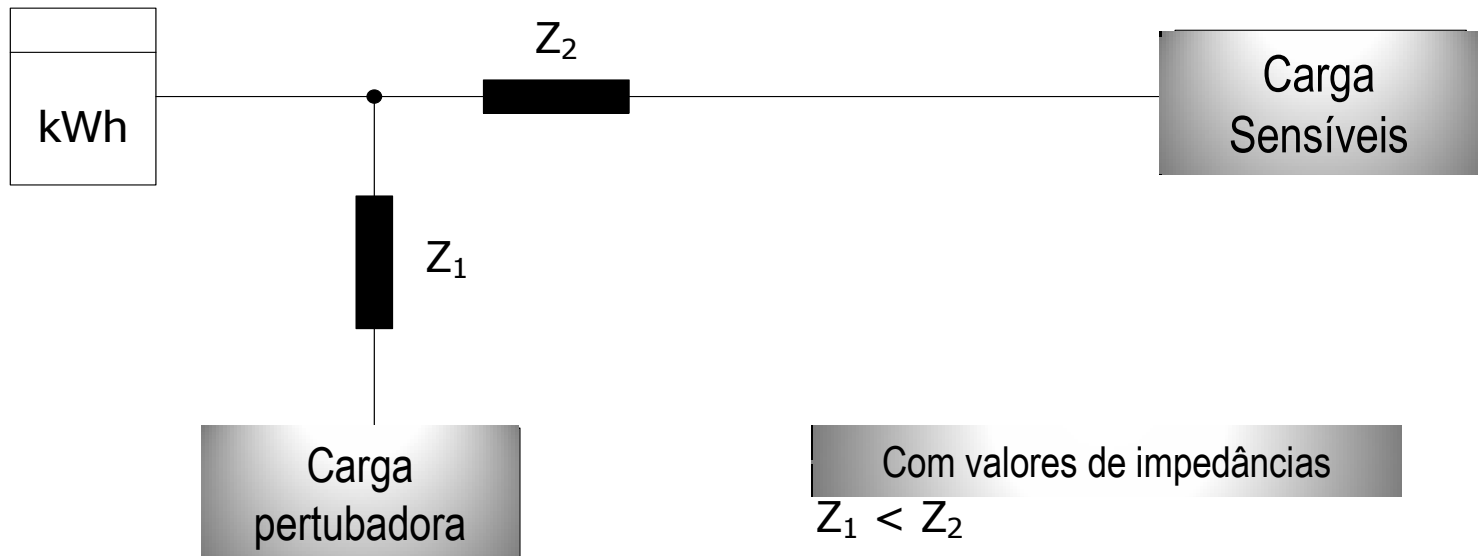
# SOLUÇÕES GERAIS

Para limitar a propagação das harmônicas na rede devem ser tomadas as seguintes medidas:

- Localizar as cargas perturbadoras o mais perto possível da fonte.
- Reagrupar as cargas perturbadoras.
- Separar as fontes.
- Utilizar transformadores em conexões particulares.
- Escolher um esquema de ligação à terra.

# LOCALIZAR AS CARGAS PERTURBADORAS O MAIS PERTO POSSÍVEL DA FONTE

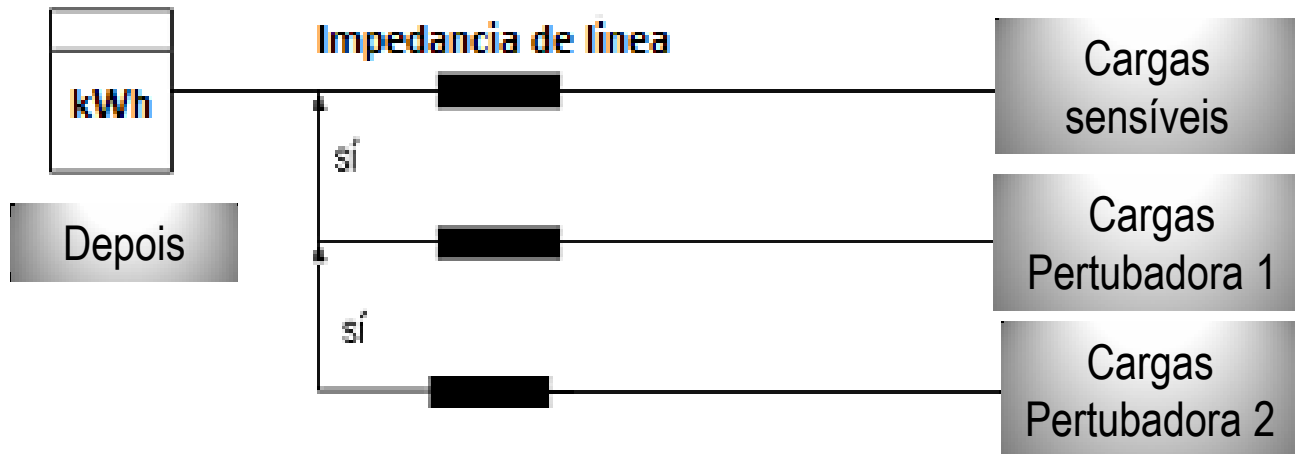
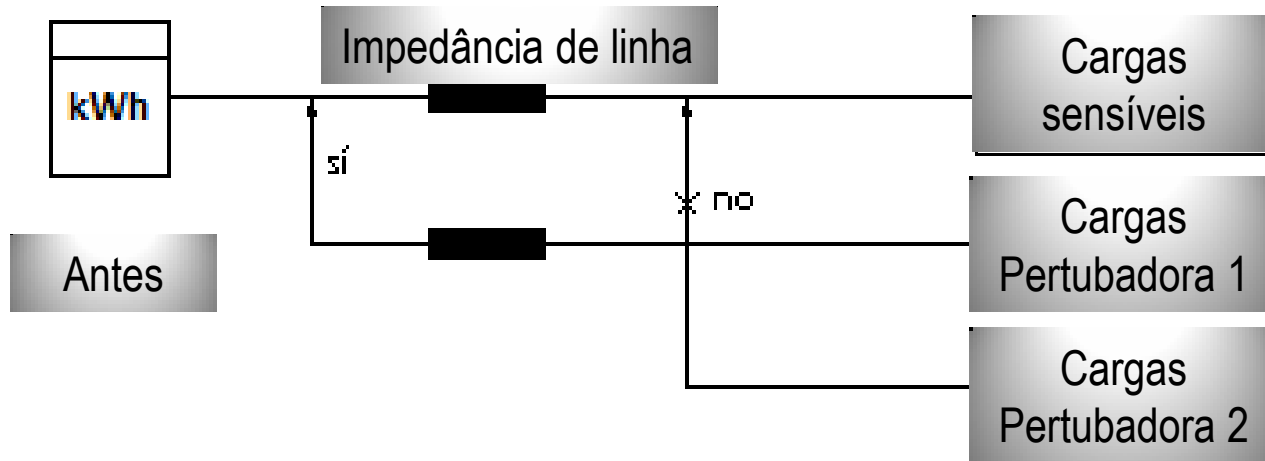
- A perturbação harmônica global aumenta a medida que a potência de curto-circuito diminui.
- Conserações econômicas à parte, é preferível conectar as cargas perturbadoras o mais perto possível da fonte.



# REAGRUPAR AS CARGAS PERTURBADORAS

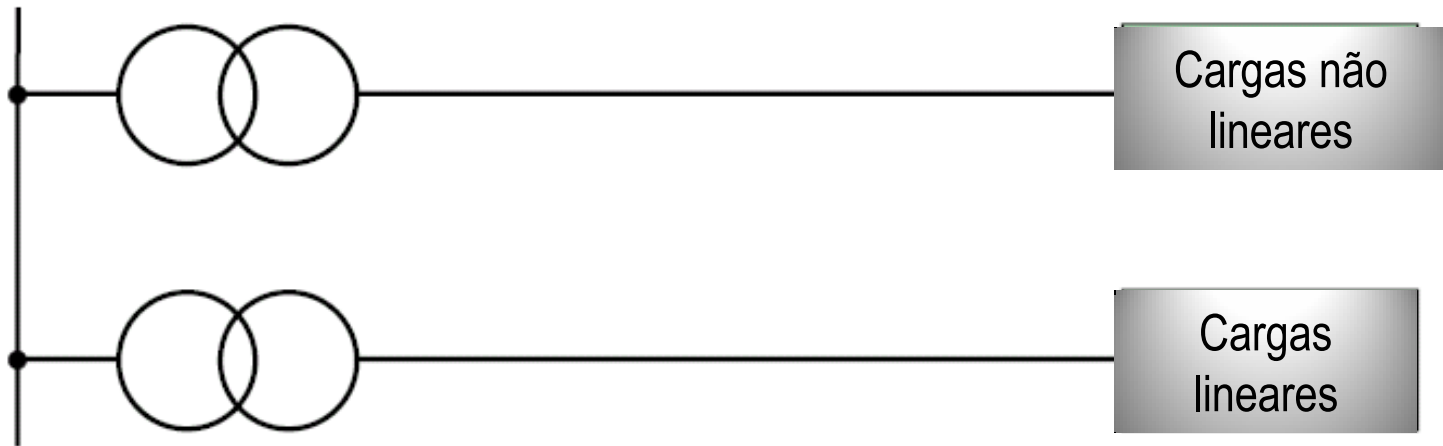
- Separar, na medida do possível, os equipamentos perturbadores dos outros. Na prática, deveriam ser alimentadas as cargas perturbadoras e as não perturbadoras com conjuntos de barras diferentes.
- Reagrupando as cargas perturbadoras, aumenta a possibilidade de recomposição angular. Isto ocorre devido a que a soma vetorial das correntes harmônicas é menor que a sua soma algébrica.

# REAGRUPAR AS CARGAS PERTURBADORAS



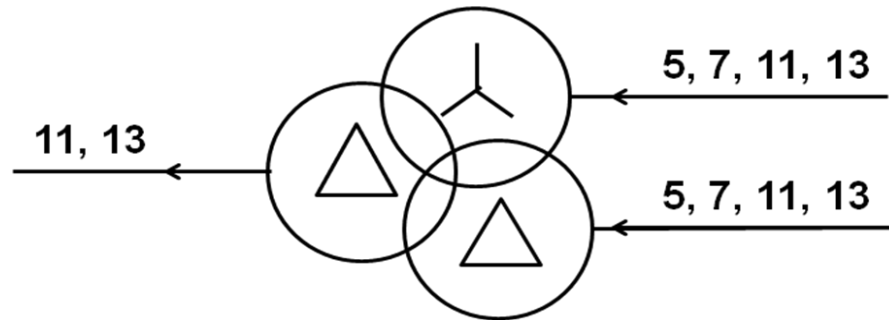
# SEPARAR AS FONTES

- Alimentando com transformadores separados, como mostrado no esquema a seguir, minimizam-se as harmônicas.
- O inconveniente desta solução é o aumento no custo da instalação.



# UTILIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES EM CONEXÕES PARTICULARES

Uma conexão triângulo-estrela/ triângulo elimina as harmônicas de ordem 5 e 7. Uma conexão triângulo-estrela elimina as harmônicas de ordem 3.



As harmônicas circulam por cada uma das fases e retornam pelo neutro do transformador no lado estrela.

# ESCOLHA DE UM ESQUEMA DE ATERRAMENTO

## Caso de esquema TNS

O condutor de neutro e o condutor de proteção PE estão completamente separados, assegurando, deste modo, uma tensão no sistema muito mais estável. Este é o sistema recomendado no caso de presença de harmônicas.

