



TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

INTRODUÇÃO

- Existem 3 tipos: capacitivo, indutivo e óptico
- São utilizados para isolar o circuito primário do circuito secundário (a isolação é obtida pelo acoplamento magnético dos dois circuitos)
- A amplitude da grandeza a ser convertida é reduzida para níveis seguros de serem utilizados em instrumentos de medição/controlado e proteção



INTRODUÇÃO



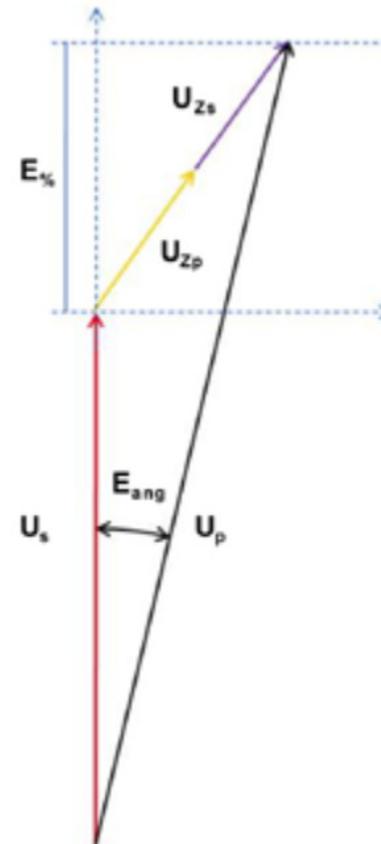
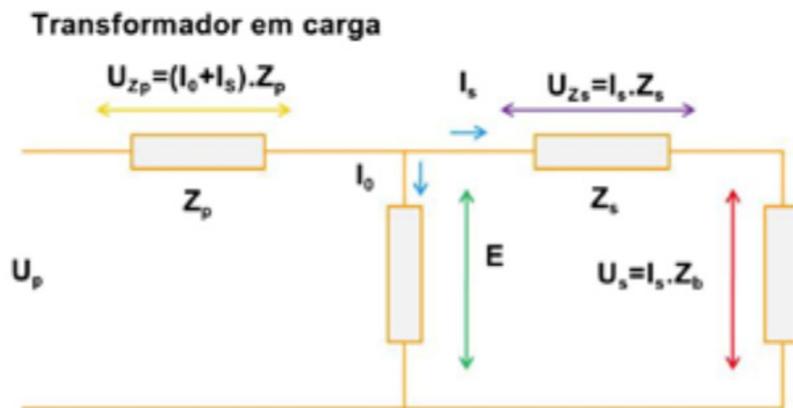
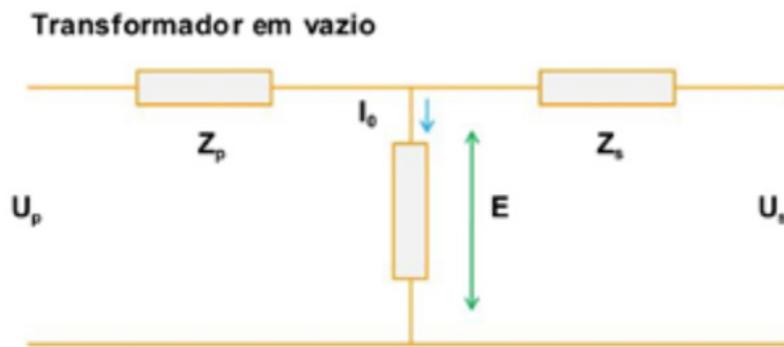
- TPs indutivos:
 - ✓ 1ário composto por elevado número de espiras (por exemplo 40.000 espiras para transformador de potencial indutivo monofásico em sistemas de 145kV) com fio de cobre de seção transversal circular reduzida e isoladas com uma ou mais camadas de verniz
 - ✓ 2dário composto por reduzido número de espiras (por exemplo 60 espiras para transformador de potencial com relação 700:1) com fio de cobre de seção transversal retangular e isoladas com uma ou mais camadas de papel isolante

FUNDAMENTOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

- A tensão secundária é padronizada em 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V
- Em condições especiais podem suprir potência para serviços de manutenção (por exemplo, 5 kVA no caso de TPs indutivos para sistemas de 145 kV)
- Atendem como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia, etc.



FUNDAMENTOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL



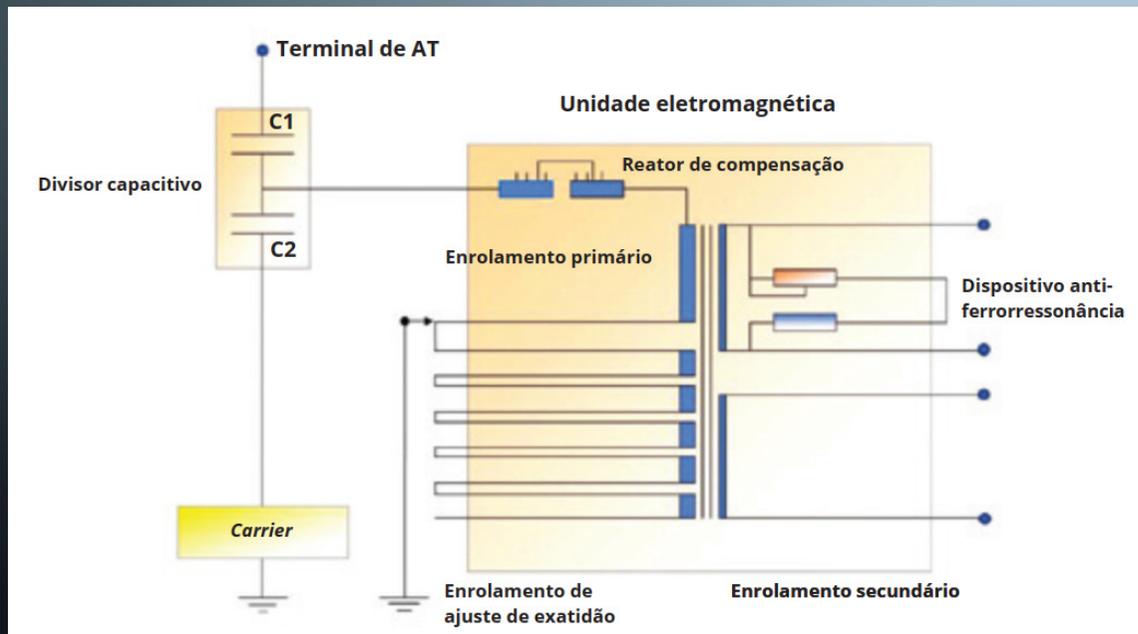
- O parâmetro de maior influência na queda de tensão interna é a resistência ôhmica do enrolamento primário
- As 2 principais diferenças são:
 - ✓ Elevada exatidão na relação de tensão
 - ✓ Minimização das quedas de tensão nos enrolamentos para evitar os efeitos nos erros de relação e de ângulo de fase

FUNDAMENTOS DE TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

- A carga no TP é limitada por requisitos de exatidão, enquanto que no transformador de potência a limitação de carga baseia-se no aquecimento
- Nos últimos anos têm sido utilizados TPs ópticos para sistemas com tensões igual ou superior a 362 kV
- Em sistemas de até 145 kV, encontram-se instalações com TPs indutivos, e acima de 145 kV TPs capacitivos



TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVO



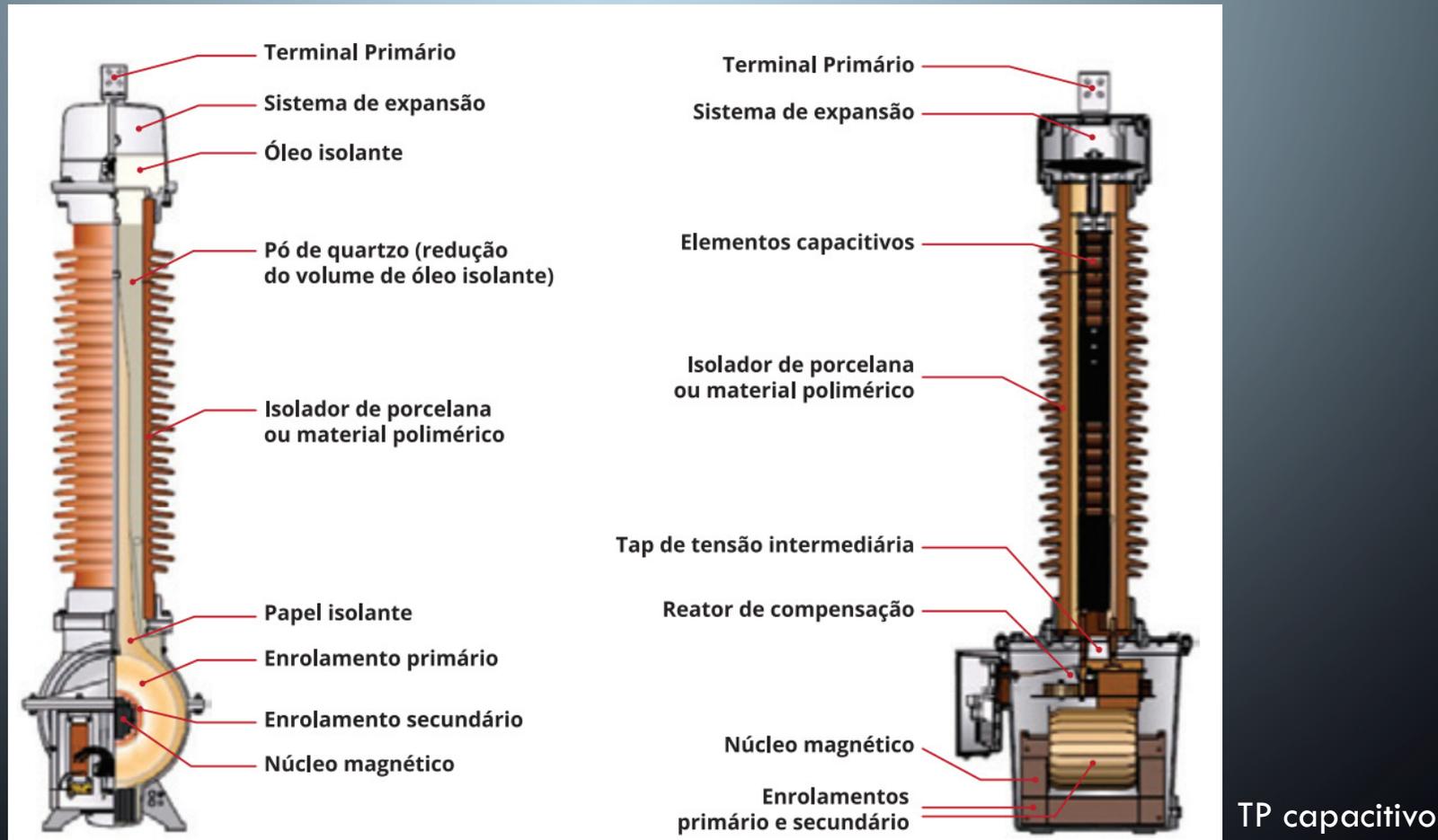
- Composto por um divisor capacitivo, cujas células que formam o condensador são ligadas em série e o conjunto fica imerso no interior de um invólucro de porcelana
- As colunas capacitivas foram introduzidas em 1920, para comunicação *carrier* em linhas de transmissão
- A tensão na saída do divisor é alta, na ordem de 15 kV, em seguida conectado a uma unidade eletromagnética convertendo a tensão de 15 kV para 115 V ou $115/\sqrt{3}$ V

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVO

- Com relação à sua resposta a transitórios de tensão, no que diz respeito à falha provocando a redução da tensão do barramento, a saída secundária pode não responder instantaneamente devido aos elementos de armazenamento de energia (quanto maior a capacitância do divisor capacitivo, maior será o tempo de resposta transitória)
- A respeito da medição de indicadores de distorção harmônica de tensão, dependendo dos valores de capacitância, a influência na resposta em frequência do TP capacitivo irá produzir ressonância harmônica em frequências baixas na ordem de 200 Hz, operando como um filtro de harmônicos para terra, impossibilitando a correta medição nos terminais secundários



COMPARAÇÃO TP INDUTIVO E TP CAPACITIVO

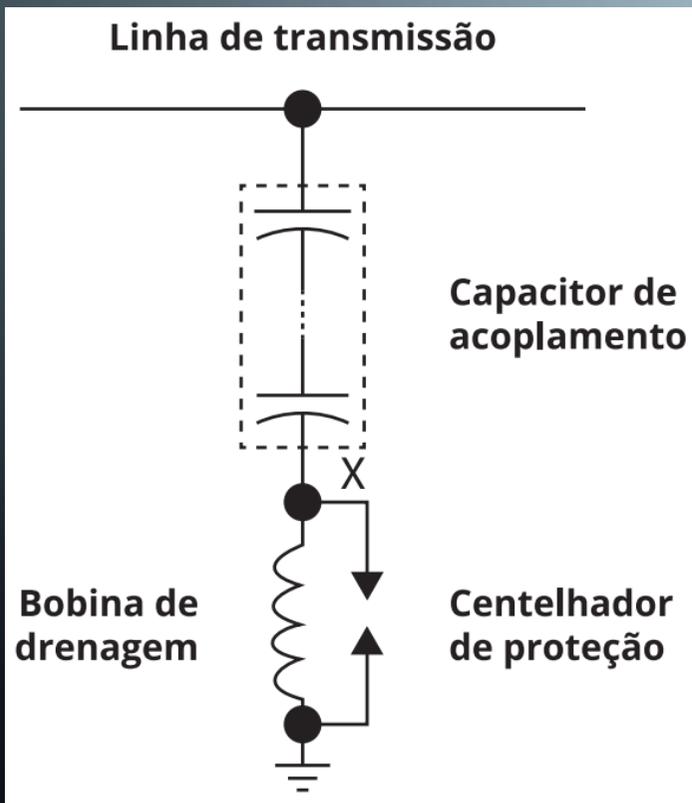


TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS ATUANDO COMO TRANSMISSOR E RECEPTOR CARRIER



- O sinal é transmitido no próprio condutor da linha de transmissão
- Utiliza-se um aparelho transmissor receptor para tratamento de sinal normalmente com frequência na faixa de 10 kHz a 300 kHz
- O divisor capacitivo dos transformadores de potencial capacitivos é utilizado como capacitor de acoplamento por apresentar baixa impedância à frequência da onda portadora e bloqueia a corrente à frequência de 60Hz, oferecendo a ela um caminho de alta impedância
- O TP é usado como parte do circuito de sintonia, em conjunto com a unidade de sintonia, ligado diretamente à linha de transmissão, evitando influências da frequência da rede de energia nos equipamentos *carrier*

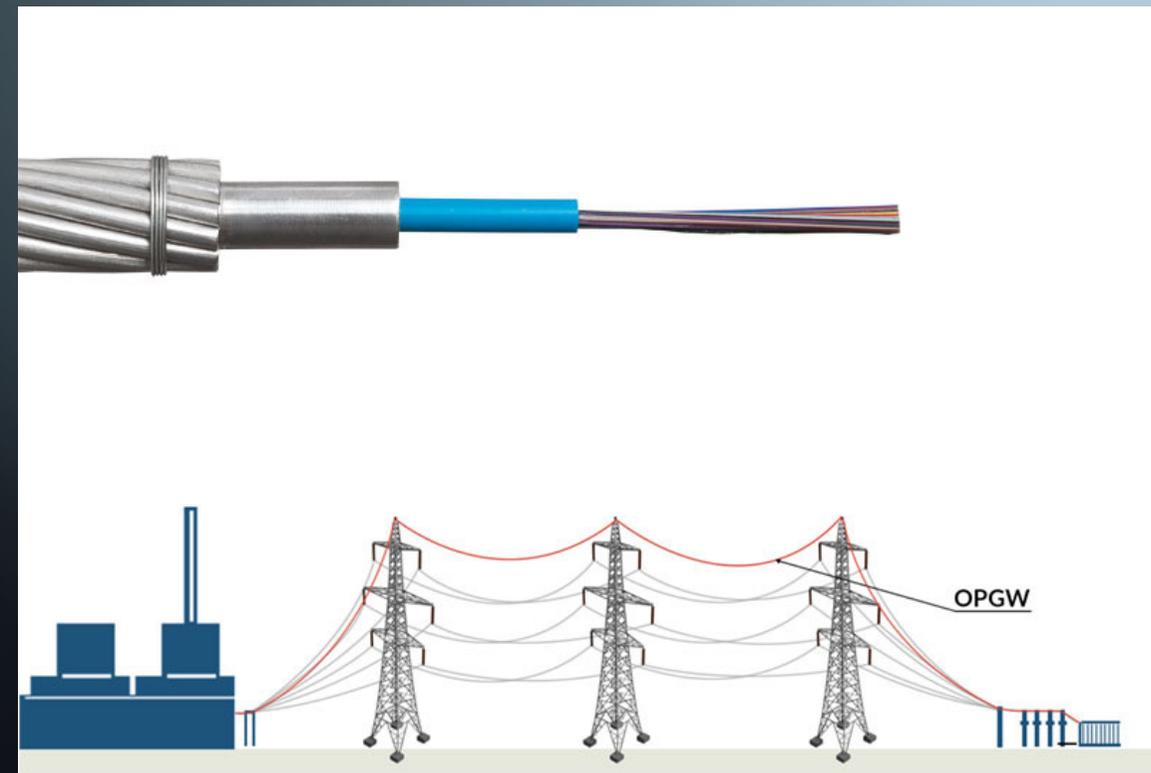
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS ATUANDO COMO TRANSMISSOR E RECEPTOR CARRIER



- Para que o potencial no ponto X seja baixo, é necessário que haja um caminho para a terra
- Porém, para que o sinal da portadora não circule à terra, é ligada à base do capacitor de acoplamento uma bobina de drenagem, projetada para ter indutância que resultará em baixa impedância à frequência industrial e alta impedância à frequência da onda portadora
- Para evitar que eventuais sobretensões, durante transitórios da linha de transmissão, danifiquem os equipamentos existentes, é conectada em paralelo com a bobina de drenagem uma unidade protetora (chave de aterramento e gap)

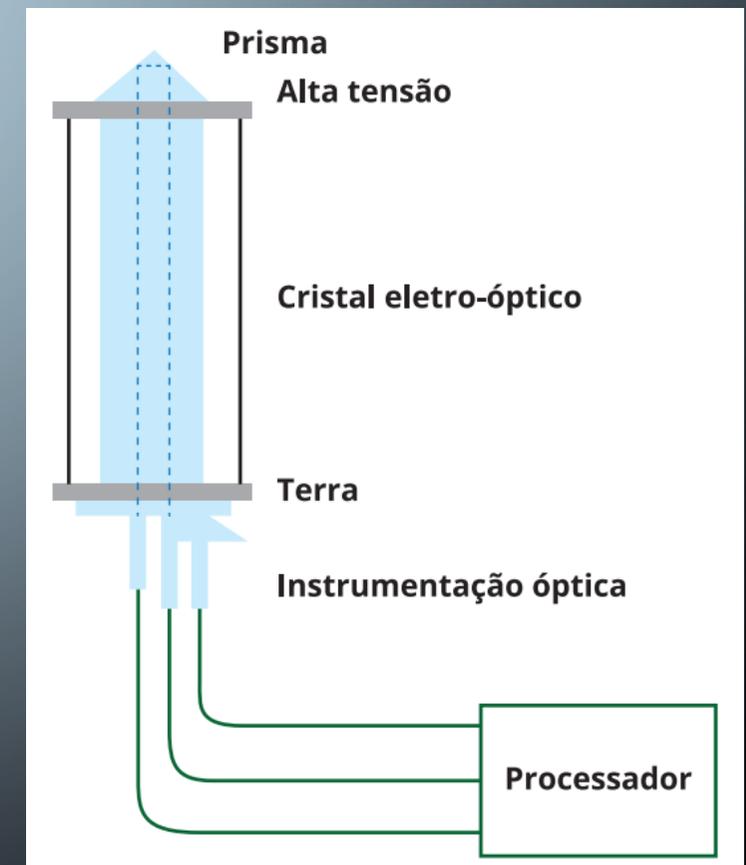
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL CAPACITIVOS ATUANDO COMO TRANSMISSOR E RECEPTOR CARRIER

- Com o avanço de instalações de fibra óptica e redução de preços dos sistemas de telecomunicação, promoveu-se a transmissão via fibra óptica

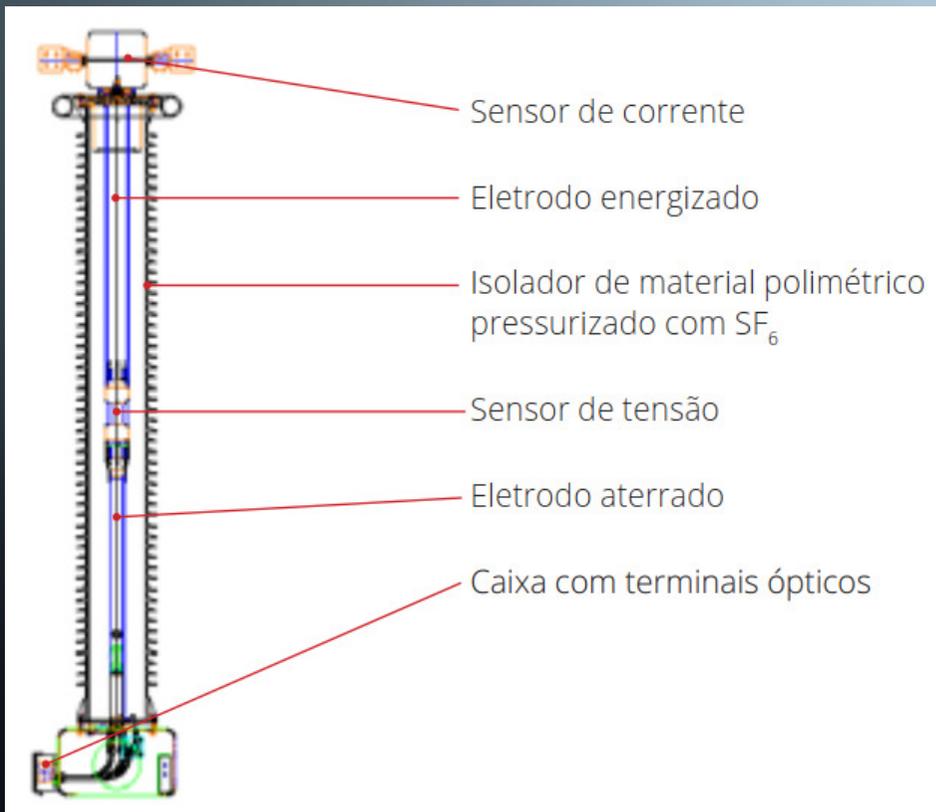


TRANSFORMADORES DE POTENCIAL ÓPTICOS

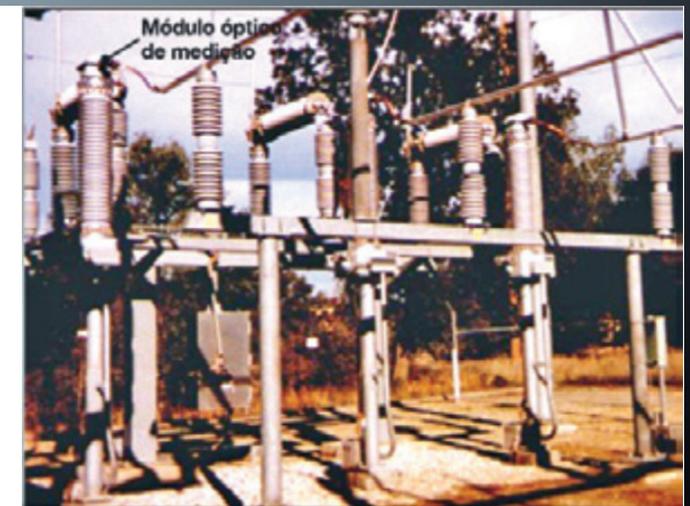
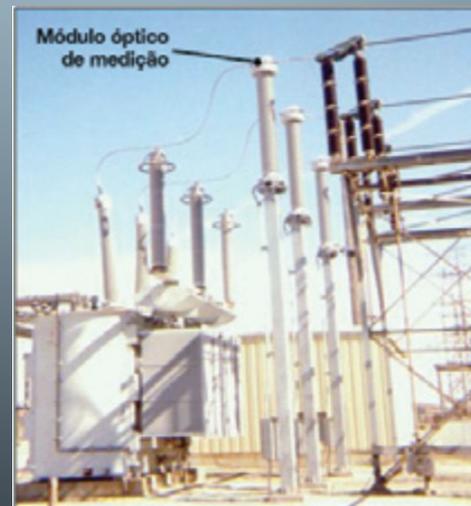
- Têm níveis superiores de confiabilidade e precisão
- Não possuem núcleo ferromagnético
- São baseados no efeito do campo elétrico sobre feixes de luz polarizados (efeito *Pockels*)
- Cristais particulares mostram mudança nos índices de refração diretamente proporcionais ao campo elétrico aplicado



TRANSFORMADORES DE POTENCIAL ÓPTICOS



- Também baseados no efeito do campo magnético sobre feixes de luz polarizados (efeito *Faraday*)



CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

- Tensão nominal do sistema
- Tensão máxima do equipamento
- Tensão suportável à frequência industrial a seco e sob chuva
- Tensão suportável nominal de impulso atmosférico, onda plena e onda cortada
- Tensão suportável nominal de surto de manobra
- Frequência nominal
- Tensão primária nominal
- Tensão secundária nominal
- Relações nominais
- Grupo de ligação
- Quantidade de enrolamentos secundários
- Classe de exatidão e carga nominal
- Carga simultânea
- Relações nominais
- Potência térmica nominal
- Capacitância mínima para TPC's
- Faixa de frequência para dispositivo *carrier* para TPC's
- Variação de frequência para TPC's

CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

- Os TP's e os transformadores de potência são os únicos equipamentos de sistema de potência em que se especifica a tensão nominal do sistema e a tensão máxima do equipamento
- Nos demais equipamentos, a tensão nominal do equipamento é a máxima tensão que o equipamento poderá ser submetido continuamente

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Submódulo 2.3

Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos

Rev. Nº.	Motivo da revisão	Data e instrumento de aprovação pela ANEEL
2.0	Versão decorrente da Audiência Pública nº 002/2011.	09/11/2011 Resolução Normativa nº 461/11
2016.12	Versão decorrente da Audiência Pública nº 020/2015.	16/12/16 Resolução Normativa nº 756/16

“7.7.1 As características dos transformadores de potencial devem satisfazer às necessidades dos sistemas: de proteção (Submódulo 2.6), de medição de faturamento (Módulo 12) e de medição indicativa para controle da operação (Submódulo 2.7)”

SISTEMA DE ISOLAÇÃO

- O sistema de isolamento é definido por três critérios: dielétricos, térmicos e ambientais
- Os requisitos dielétricos são baseados no nível de tensão ao qual o TP estará conectado e no estudo de coordenação de isolamento
- Devido à altitude de instalação ou áreas com poluição elevada, dependendo do local de instalação, podem ser especificados níveis superiores de distância de escoamento dos isoladores de porcelana ou poliméricos

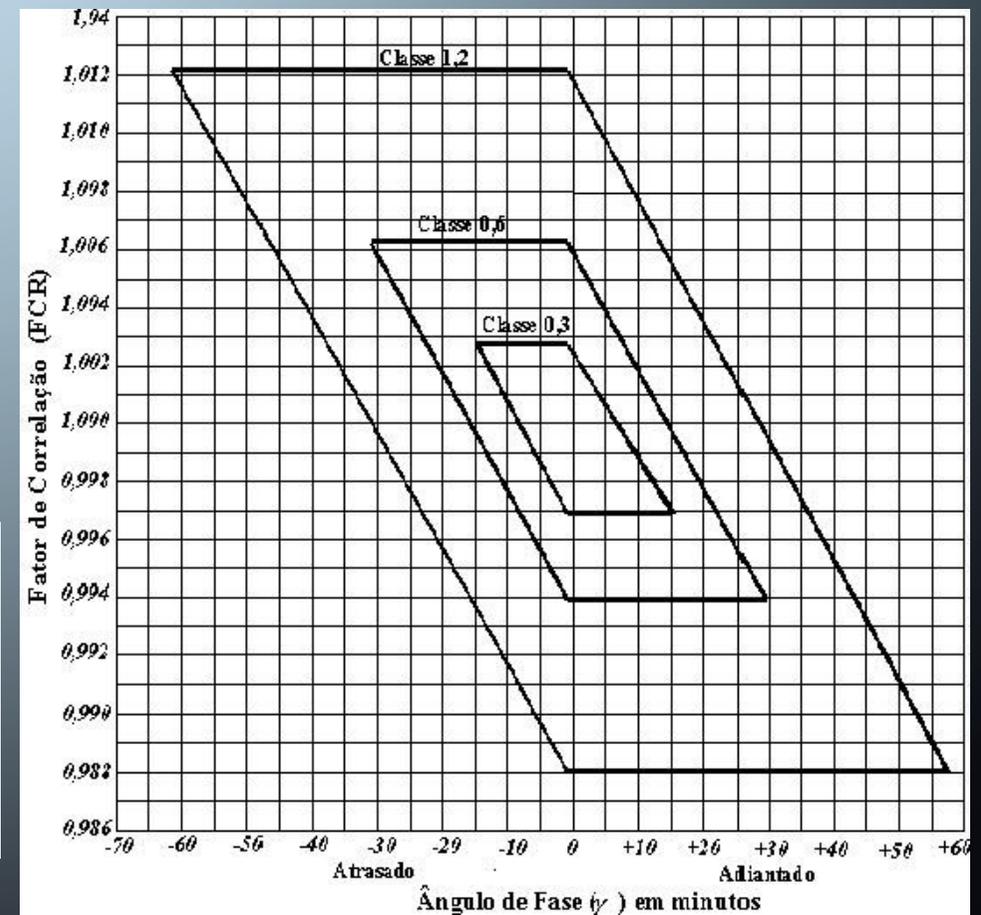
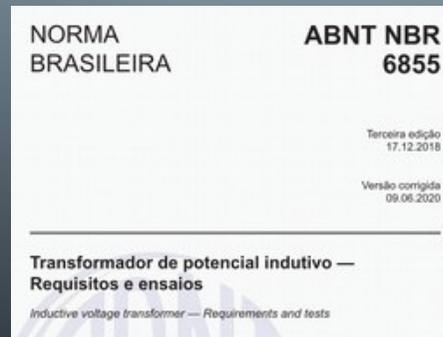
Nível de poluição	Distância de escoamento mínima (mm/kV)	Relação entre a distância de escoamento e a distância de arco
I Leve	16	≤ 3,5
II Médio	20	
III Pesado	25	≤ 4,0
IV Muito pesado	31	

SISTEMA DE ISOLAÇÃO

Grupo de ligação	Fator de sobretensão nominal	Duração	Forma de conexão do enrolamento primário e condições do sistema de aterramento
1	1,2	Contínuo	Entre fase de qualquer sistema
2	1,2	Contínuo	Entre fase e terra de um sistema com neutro eficazmente aterrado
	1,5	30 s	
3a	1,2	Contínuo	Entre fase e terra de um sistema de neutro não eficazmente com remoção automática da falha
	1,9	30 s	
3b	1,2	Contínuo	Entre fase e terra de um sistema de neutro não eficazmente aterrado, sem remoção automática da falha
	1,9	Contínuo	

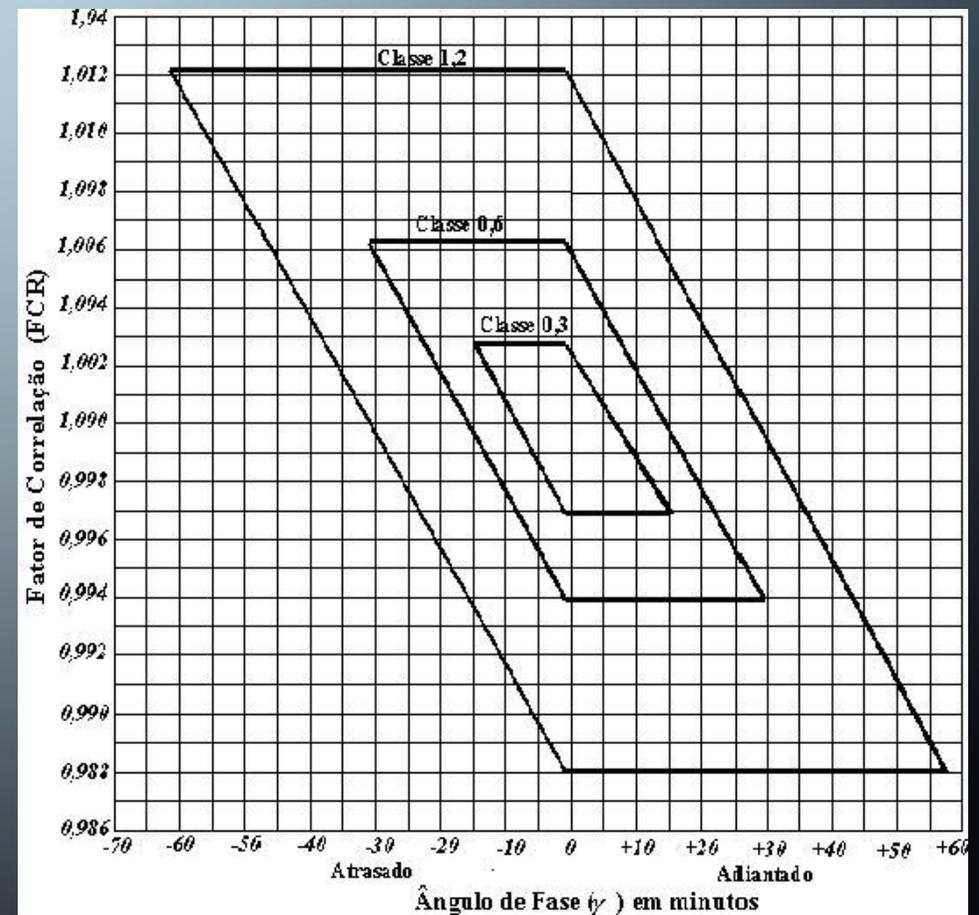
ERROS E CLASSE DE EXATIDÃO

- Para realizar a medição da tensão primária, são introduzidos erros em função da carga conectada ao enrolamento secundário
- É desejável que esses erros sejam os menores possíveis, porém, dependendo de cada aplicação, existe um limite aceitável para esses erros
- Tais limites devem ser especificados de acordo com as classes de exatidão que constam na norma NBR6855



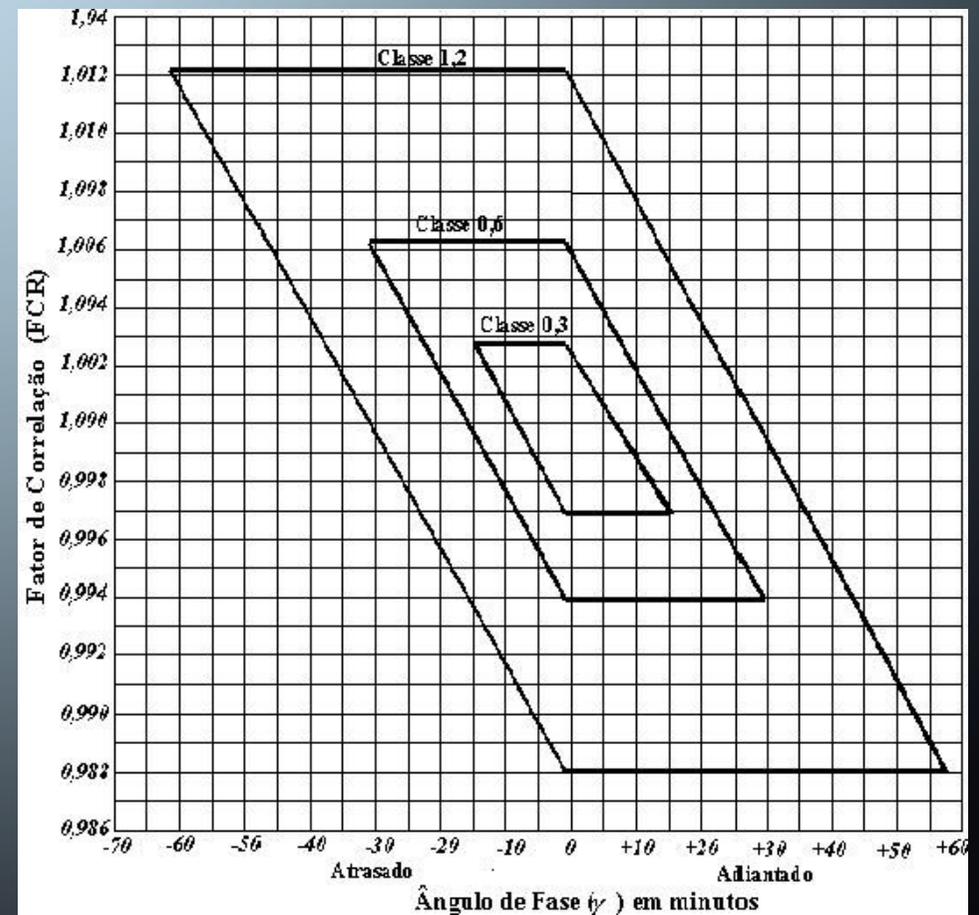
ERROS E CLASSE DE EXATIDÃO

- Os limites das classes de exatidão são definidos pelos erros de relação e angular
- Além das classes 0,3; 0,6 e 1,2, a norma NBR6855 também define as classes 3% e 6%
- As classes 3% e 6% não possuem variação do limite angular dependendo do fator de correção de relação e, sim, limites máximos para fator de correção de relação e erro angular



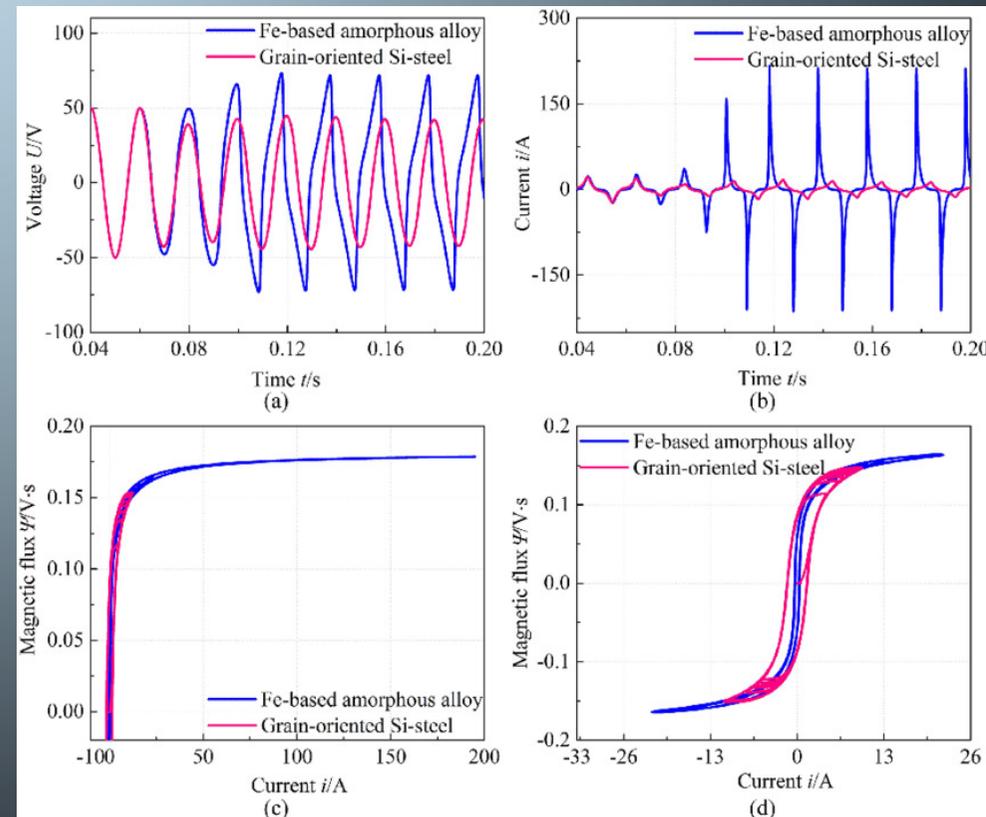
ERROS E CLASSE DE EXATIDÃO

- Utiliza-se a classe 0,3 para aplicações de medição de faturamento
- Utiliza-se a classe 0,6 e 1,2 para proteção bem como medição operacional ou indicativa
- As classes 3% e 6% devem ser especificadas para aplicação em proteção



FERRORESSONÂNCIA

- Os fenômenos relacionados a TP's podem ser provocados por transitórios gerados em operações de manobra do circuito primário em que o TP está conectado
- Pode-se obter diferentes comportamentos oscilatórios para o mesmo TP, dependendo das condições iniciais e dos valores de capacitância envolvidos no circuito
- TPs conectados entre fase e terra podem ser susceptíveis ao fenômeno quando instalados em sistemas com neutro não solidamente aterrado



FERRORESSONÂNCIA

- O princípio básico de projeto de circuitos magnéticos de dispositivos elétricos é de garantir que a densidade de fluxo magnético não supere o nível de saturação característico do material utilizado
- Este requisito deve ser considerado para as condições operacionais normais e para as condições temporárias sujeitas durante transitórios gerados no sistema elétrico
- A saturação magnética resulta em componente não linear indutiva que, combinada com as capacitâncias do circuito elétrico, pode resultar em um circuito ressonante não amortecido

