

Submódulo 2.3

Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos

| |
|------------------|
| Critérios |
|------------------|

| Revisão | Motivo da revisão | Data de aprovação |
|---------|------------------------------|-------------------|
| 2022.10 | Despacho ANEEL nº 2.852/2022 | 03/10/2022 |

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. OBJETIVO | 4 |
| 2. PREMISSAS E CRITÉRIOS COMUNS A TODOS OS PROCESSOS | 4 |
| 2.1. Aspectos gerais | 4 |
| 2.2. Estudos de fluxo de potência | 5 |
| 2.3. Estudos de curto-circuito..... | 10 |
| 2.4. Estudos de estabilidade eletromecânica | 11 |
| 2.5. Diretrizes para estudos de transitórios eletromagnéticos sob condições de manobra | 27 |
| 2.6. Critérios para estudos de transitórios eletromagnéticos sob condições de manobra | 43 |
| 3. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DA OPERAÇÃO DE MÉDIO PRAZO DO SIN (PAR/PEL) | 49 |
| 3.1. Aspectos gerais | 49 |
| 3.2. Critério de perda dupla ou múltipla | 49 |
| 3.3. Critério de máxima variação de tensão | 50 |
| 3.4. Critério para indicação e dimensionamento de compensação de potência reativa..... | 50 |
| 3.5. Premissas para estudos de estabilidade eletromecânica | 52 |
| 3.6. Premissas para os estudos de energização | 52 |
| 3.7. Critérios para análise de superação de equipamentos | 53 |
| 4. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA PROGRAMAÇÃO DA OPERAÇÃO ELÉTRICA | 54 |
| 4.1. Premissas para programação de intervenções | 54 |
| 4.2. Critérios para programação de intervenções | 55 |
| 5. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ANÁLISE DE PROJETO BÁSICO | 57 |
| 5.1. Estudos de fluxo de potência em sistemas CA em regime permanente | 57 |
| 5.2. Estudos para dimensionamento das instalações em sistemas CC | 57 |
| 5.3. Estudos de transitórios eletromagnéticos..... | 65 |
| 6. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTUDOS PRÉ-OPERACIONAIS | 65 |
| 6.1. Premissas para sistemas CA..... | 65 |
| 6.2. Premissas para sistemas CC..... | 65 |
| 6.3. Critérios para sistemas CA | 65 |

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.4. | Estudos de transitórios eletromagnéticos..... | 65 |
| 7. | PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE SEGURANÇA OPERACIONAL..... | 65 |
| 7.1. | Estudos de reserva de potência operativa | 66 |
| 7.2. | Estudos de controle carga-frequência..... | 68 |
| 7.3. | Estudos de recomposição do sistema | 72 |
| 8. | PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA ESTUDOS DE SEGURANÇA DE TENSÃO | 78 |
| 8.1. | Considerações Gerais | 78 |
| 8.2. | Premissas | 78 |
| 8.3. | Critérios..... | 79 |
| 9. | REFERÊNCIAS..... | 79 |

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

1. OBJETIVO

1.1. Descrever as premissas e os critérios gerais e específicos a serem adotados nos estudos elétricos referentes à Rede de Simulação que subsidiam os seguintes processos:

- (a) avaliação de solicitação de acesso, conforme Submódulo 7.1 - Acesso às instalações de transmissão;
- (b) elaboração do Plano de Operação de Médio Prazo do SIN (PAR/PEL), conforme Submódulo 3.1 – Planejamento da operação elétrica de médio prazo;
- (c) planejamento e programação da operação elétrica, conforme Submódulo 3.1 – Planejamento da operação elétrica de médio prazo, Submódulo 3.4 – Planejamento da operação elétrica com horizonte quadrimestral e Submódulo 4.1 – Programação mensal da operação elétrica;
- (d) análise de projeto básico, conforme Submódulo 7.3 – Verificação da conformidade das instalações de transmissão aos requisitos;
- (e) estudos pré-operacionais e de proteção, conforme Submódulo 7.4 – Estudos pré-operacionais de integração de instalações da Rede de Operação e Submódulo 6.13 – Diagnóstico dos sistemas de proteção e controle; e
- (f) análise de segurança operacional, conforme Submódulos 3.10 – Estudos para segurança operacional elétrica.

1.2. As premissas e os critérios descritos neste submódulo referem-se aos seguintes estudos elétricos:

- (a) fluxo de potência;
- (b) curto-circuito;
- (c) estabilidade eletromecânica;
- (d) transitórios eletromagnéticos;
- (g) reserva de potência operativa;
- (h) controle carga-frequência;
- (i) recomposição do sistema; e
- (j) segurança de tensão.

1.3. A metodologia a ser seguida na elaboração dos estudos elétricos descritos neste submódulo consta no documento de metodologia deste submódulo.

2. PREMISSAS E CRITÉRIOS COMUNS A TODOS OS PROCESSOS

2.1. Aspectos gerais

2.1.1. As premissas e os critérios descritos neste submódulo resultam da experiência nos estudos elétricos realizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS e são constantemente revistos, ampliados e modificados com base na evolução das técnicas de planejamento, projeto e operação dos sistemas e na evolução topológica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

2.1.2. As premissas e os critérios para estudos elétricos são compatíveis com os padrões de desempenho e os requisitos definidos no Módulo 2 – Critérios e Requisitos

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.1.3. Para as instalações estratégicas, identificadas com base nos critérios do Submódulo 2.2 – Definição das instalações estratégicas, são considerados tratamentos específicos descritos nos respectivos processos ou submódulos.

2.1.4. As premissas e critérios comuns a todos os processos são apresentadas neste item 2, enquanto que as premissas e critérios específicos e adicionais para cada processo são detalhadas nos itens de 3 a 9 deste submódulo.

2.2. Estudos de fluxo de potência

2.2.1. Premissas gerais

2.2.1.1. Em regime permanente, as cargas devem ser representadas com 100% de potência constante para as partes ativa e reativa. Entretanto, podem ser representadas com percentuais variáveis de potência (P), impedância (Z) e corrente (I) constantes, para se adequarem aos objetivos específicos de cada estudo.

2.2.1.2. Cargas com características especiais, como as cargas da indústria de alumínio e de motores de indução, podem ser modeladas de forma mais elaborada nos estudos de fluxo de potência, de modo a facilitar sua representação nos estudos de estabilidade eletromecânica.

2.2.1.3. Os limites de carregamento das linhas de transmissão, transformadores e autotransformadores existentes são os estabelecidos nos Contratos de Prestação de Serviços de Transmissão (CPST), a não ser que haja fatores limitantes ou restrições em equipamentos terminais, quando são adotados os limites constantes nos Cadastros de Limites Operacionais de Linhas de Transmissão e Transformadores (CD-CT) do Submódulo 5.11 – Cadastro de Informações Operacionais.

2.2.1.4. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de redes em regime permanente* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

2.2.2. Premissas para estudos de sistemas de corrente alternada (CA)

2.2.2.1. Os estudos de fluxo de potência devem abranger, além da condição operativa normal, a análise de contingências de linhas de transmissão, transformadores e outros equipamentos do sistema elétrico, com o objetivo de definir as ações necessárias para o SIN operar sem violar os limites de tensão e carregamento.

2.2.2.2. O desempenho elétrico deve ser verificado em análise de contingências nas seguintes situações:

- (a) imediatamente após o desligamento de elementos do sistema, considerando a atuação da regulação de tensão em barras controladas por unidades geradoras, compensadores síncronos e estáticos, e dos Sistemas Especiais de Proteção (SEP) associados;
 - (1) Nas análises do PAR/PEL, os SEP são considerados apenas nos dois primeiros anos do horizonte, à exceção dos SEP sistêmicos para perdas duplas ou múltiplas. Para os demais anos são propostas soluções estruturais para os problemas identificados.
- (b) após a atuação dos tapes dos transformadores com comutação sob carga que operem no modo automático; e
 - (1) Nas análises do PAR/PEL, quando a situação antes da atuação dos tapes de transformadores com comutação sob carga que operem em modo automático implicar corte de carga, essa situação deverá ser considerada na análise.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(c) após execução de medidas operativas que dependem da ação humana, tais como as listadas a seguir. No caso das análises do Plano de Operação de Médio Prazo do SIN (PAR/PEL), tais medidas operativas são empregadas apenas até que a solução estrutural esteja disponível.

- (1) chaveamento de capacitores e/ou reatores;
- (2) alteração da tensão de referência das unidades geradoras, compensadores síncronos e estáticos;
- (3) redespacho da potência ativa em usinas, parques eólicos e fotovoltaicos;
- (4) remanejamento de carga;
- (5) desligamento de circuitos;
- (6) alteração da potência transferida através de elos em corrente contínua (elos CC);
- (7) separação ou interligação de barramentos;
- (8) alteração de tapes de transformadores com comutação sob carga que operem no modo manual;
- (9) alteração do ângulo nos transformadores defasadores;
- (10) redespacho de potência reativa em usinas, parques eólicos e fotovoltaicos.

2.2.2.3. As contingências simples são simuladas com a perda de um único elemento do sistema, seja uma linha de transmissão, transformador, banco de transformadores, unidade geradora, elo de corrente contínua ou equipamento de controle de tensão, como um reator, capacitor ou compensador síncrono ou estático.

2.2.2.4. A análise de contingências para estudos em corrente alternada deve considerar:

- (a) perdas duplas de circuitos de transmissão da Rede de Operação que compartilhem estruturas ou a mesma faixa de passagem; e
- (b) perdas duplas de circuitos que atravessem regiões onde haja ocorrência de fenômenos naturais e/ou queimadas que possam atingi-los.

2.2.3. Premissas para estudos de sistemas de corrente contínua (CC)

2.2.3.1. Aspectos gerais

2.2.3.1.1. Os parâmetros elétricos e do sistema de controle dos elos CC em conexões *back-to-back* ou ponto-a-ponto considerados nos estudos são os constantes no banco de dados do ONS, ratificados e complementados pelos agentes quando necessário, conforme Submódulo 7.3.

2.2.3.1.2. As faixas de operação de todas as grandezas controladas pelo elo CC em função da estratégia de controle implementada são informadas ao ONS pelo agente responsável, como tensão CA, tensão CC, ângulo de disparo, ângulo de extinção, intercâmbio de potência reativa etc.

2.2.3.1.3. As características de manobra dos elementos de compensação reativa e filtros dos elos CC consideradas nos estudos são aquelas informadas ao ONS pelo agente responsável.

2.2.3.1.4. Os estudos elétricos referentes aos elos CC devem considerar:

- (a) situações de contingência simples em qualquer ponto da rede CA, conectada às subestações retificadora e inversora em qualquer terminal do elo CC, considerando os diversos modos de operação disponíveis ao elo CC; e
- (b) perda de elementos CC, incluindo conversores, polo e o próprio bipolo.

2.2.3.1.5. A margem de corrente pode ser considerada igual a 10% da corrente nominal, devendo ser utilizado, preferencialmente, o valor de projeto informado pelo agente responsável.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.2.3.1.6. Os estudos devem considerar todos os níveis de carga da rede CA associada para determinar a máxima potência possível a ser transmitida em cada estágio de implementação/operação dos elos CC.

2.2.3.1.7. Caso o elo CC seja especificado para sobrecargas temporárias, de 30 minutos, ou de longa duração, durante horas, devem ser investigadas as consequências de sua utilização no controle de tensão CA da região em análise.

2.2.3.2. Modos de operação dos elos CC

2.2.3.2.1. Todos os modos disponíveis de operação dos elos CC devem ser avaliados de acordo com o seu projeto, incluindo, por exemplo, as formas possíveis de paralelismo.

2.2.3.2.2. Algumas das condições a serem estudadas para obtenção da máxima potência de transmissão, considerando as limitações dos equipamentos, são as seguintes:

- (a) operação monopolar com retorno pela terra, respeitada a corrente máxima para esse tipo de operação, definida no projeto da instalação, se aplicável;
- (b) operação monopolar com retorno metálico, caso disponível; e
- (c) operação degradada, caracterizada por condições que impossibilitem a plena utilização da capacidade ou desempenho do sistema de corrente contínua.

2.2.4. Critérios para estudos de sistemas de corrente alternada (CA)

2.2.4.1. Critério de contingências simples, duplas e múltiplas

2.2.4.1.1. O desempenho do sistema deve ser tal que não haja violação dos critérios estabelecidos neste submódulo e não haja necessidade de corte de carga provocado pela ocorrência de contingências simples (critério n-1).

2.2.4.1.2. O ONS estabelece o conjunto de contingências duplas que é utilizado nos estudos elétricos, de acordo com o respectivo horizonte de análise.

2.2.4.1.3. No caso de contingências duplas, conforme descrito nos itens 2.2.2.4 e 2.2.3.1.4, é aceitável o corte controlado de carga, automático ou não, para evitar o risco de instabilidade de potência, frequência ou tensão em uma região, estado ou capital, com consequente corte descontrolado de carga, à exceção das análises desenvolvidas nos estudos do PAR/PEL, conforme item 3.1.

2.2.4.1.4. Para atendimento aos itens 2.2.4.1.1 e 2.2.4.1.3 devem ser utilizados recursos como geração térmica, restrição de intercâmbios, alteração de topologia da rede ou utilização de SEP, à exceção das análises desenvolvidas nos estudos do PAR/PEL, conforme item 3.1.

2.2.4.1.5. Adicionalmente, para atendimento ao item 2.2.4.1.3 podem ser adotados SEP de corte de carga, tais como os Esquemas Regionais de Alívio de Carga (ERAC). No caso de haver separação em ilhas, os subsistemas que resultem dessas aberturas devem se manter estáveis.

2.2.4.1.6. Podem ser adotados critérios mais restritivos que procurem preservar a continuidade do atendimento à carga para contingências duplas e, eventualmente, múltiplas nas seguintes situações excepcionais, devidamente fundamentadas em análise técnica e previamente submetidas ao Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE:

- (a) período de comissionamento e inicial de operação de novas instalações e equipamentos;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (b) após a ocorrência de perturbações de grande porte, ou desligamentos intempestivos reincidentes que tenham levado a corte de carga, até que sejam identificadas e solucionadas as causas das perturbações; e
- (c) durante a realização de eventos especiais de grande relevância, acontecimentos ou datas comemorativas de grande repercussão pública, de abrangência nacional, regional ou local, conforme [1].

2.2.4.1.7. Nas situações que caracterizem riscos iminentes para a segurança da operação do SIN, como as citadas no item 2.2.4.1.6, o ONS adota as ações necessárias e comunica à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e ao CMSE.

2.2.4.1.8. Após esgotados todos os recursos disponíveis, podem ser utilizados critérios de desempenho e segurança menos restritivos, devidamente fundamentados em análise técnica ou técnico-econômica e previamente submetidos ao CMSE e à ANEEL nas seguintes situações excepcionais:

- (a) cenários energéticos desfavoráveis, conforme avaliações eletroenergéticas conduzidas pelo ONS no âmbito do planejamento da operação energética;
- (b) restrições do sistema de transmissão, como aqueles decorrentes de topologia incompleta, em especial relacionadas à integração de sistemas elétricos isolados ao SIN;
- (c) atendimento a cargas por meio de sistemas de transmissão radiais singelos ou de um único transformador; e
- (d) situações conjunturais decorrentes de indisponibilidades de grandes troncos de transmissão.

2.2.4.2. Níveis de tensão

2.2.4.2.1. A tensão admissível a ser observada nos estudos elétricos para as condições operativas normal e sob contingências encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Tensão admissível entre fases a 60 Hz

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ | Condição operativa normal | | Condição operativa sob contingências | |
|---|---------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ |
| < 230 | – | 0,95 a 1,05 | – | 0,90 a 1,05 |
| 230 | 218 a 242 | 0,95 a 1,05 | 207 a 242 | 0,90 a 1,05 |
| 345 | 328 a 362 | 0,95 a 1,05 | 311 a 362 | 0,90 a 1,05 |
| 440 | 418 a 460 | 0,95 a 1,046 | 396 a 460 | 0,90 a 1,046 |
| 500 | 500 a 550 | 1,00 a 1,10 | 475 a 550 | 0,95 a 1,10 |
| 525 | 500 a 550 | 0,95 a 1,048 | 475 a 550 | 0,90 a 1,048 |
| 765 | 690 a 800 | 0,90 a 1,046 | 690 a 800 | 0,90 a 1,046 |

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

(2) Valores em pu tendo como base a tensão nominal de operação.

2.2.4.2.2. Os limites de tensão em barras da Rede Básica associadas ao acesso dos agentes de distribuição ou dos consumidores podem ser ajustados para atender às suas necessidades, desde que:

- (a) não seja afetado o desempenho do SIN;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(b) sejam respeitadas as limitações específicas dos equipamentos, principalmente com relação à ultrapassagem dos limites superiores das faixas admissíveis; e

(c) haja anuência do agente de transmissão envolvido.

2.2.4.3. Limites para controle de potência reativa

2.2.4.3.1. Os limites de geração e absorção de potência reativa e de tensão terminal considerados nos estudos são definidos pelas curvas de capacidade das unidades geradoras e dos compensadores síncronos. Na ausência dessas informações, devem ser utilizados os limites de tensão terminal e de geração e absorção de potência reativa estabelecidos no Submódulo 2.10 – Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão.

2.2.4.3.2. O número de unidades geradoras consideradas em operação deve ser compatível com as restrições operativas de cada unidade.

2.2.4.3.3. Os limites dos compensadores estáticos considerados nos estudos devem ser definidos por suas curvas características.

2.2.4.3.4. Para unidades geradoras eólicas e fotovoltaicas, devem ser observadas as faixas de fator de potência estabelecidas conforme Submódulo 2.10.

2.2.4.4. Limites de carregamento de capacitores série

2.2.4.4.1. Capacitores série fixos ou variáveis só podem ser submetidos a sobrecargas no máximo iguais àquelas garantidas pelos fabricantes e informadas pelos agentes.

2.2.4.4.2. Na falta dessas informações, devem ser utilizados os valores indicativos constantes na Tabela 7 do Submódulo 2.6 – Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos.

2.2.4.5. Limites de carregamento de novos equipamentos (linhas de transmissão, transformadores e autotransformadores)

2.2.4.5.1. Para novas linhas de transmissão, transformadores e autotransformadores a serem incorporados ao SIN, devem ser utilizadas as capacidades operativas de longa e de curta duração definidas no processo de outorga.

2.2.4.5.2. No processo de elaboração do PAR/PEL, quando são consideradas obras ainda sem outorgas definidas, as capacidades operativas consideradas devem ser as provenientes dos estudos de planejamento da expansão e/ou dos editais de licitação. Na falta dessas informações, devem ser utilizados valores definidos a partir da metodologia estabelecida na regulamentação [2].

2.2.4.5.3. Os critérios relacionados aos limites de carregamento de linhas de transmissão, transformadores e autotransformadores estão estabelecidos conforme [3].

2.2.5. Critérios para estudos de sistemas de corrente contínua (CC)

2.2.5.1. Aspectos gerais

2.2.5.1.1. Os estudos referentes aos elos CC devem verificar se o chaveamento dos bancos de filtros e/ou capacitores ou reatores não ocasiona, nas barras retificadora e inversora, variações de tensão CA superiores a 3% da tensão nominal de operação na frequência fundamental.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.2.5.1.2. Esse limite da variação da tensão CA deve ser observado inclusive na operação com a menor relação de curto-circuito (SCR), como por exemplo, nas condições de carga leve ou mínima do SIN com potência nominal no elo CC e carga local baixa, com a rede externa em contingência simples.

2.2.5.2. Modos de operação dos elos CC

2.2.5.2.1. As perdas resultantes de cada um dos modos de operação dos elos CC devem ser avaliadas.

2.2.5.2.2. A tensão CA nas subestações inversora e retificadora e na região sob análise deve se manter dentro dos limites estabelecidos na Tabela 1.

2.2.5.2.3. Na análise dos modos de operação dos elos CC, devem ser respeitadas as diretrizes, decorrentes do desempenho harmônico mínimo exigido do elo, ou seja, chaveamento dos bancos de filtros e de compensação reativa, de acordo com a configuração de operação e potência transmitida.

2.2.5.3. Tensão CC de operação

2.2.5.3.1. A operação do sistema CC com tensões de operação nominal e reduzida, esta última se permitida pelo projeto da instalação, devem ser avaliadas com o objetivo de verificar se o desempenho do sistema CA/CC/CA é satisfatório com a compensação reativa disponível.

2.2.5.4. Transformadores conversores

2.2.5.4.1. O desempenho do sistema CA/CC/CA e de sua compensação reativa deve ser avaliado em toda a faixa disponível de variação dos tapes dos transformadores conversores dos terminais retificador e inversor e em todas as condições de operação do sistema CC.

2.2.5.5. Compensação e balanço de potência reativa

2.2.5.5.1. A absorção e geração de potência reativa do sistema CC deve ser analisada em diversas condições de operação, como por exemplo, operação bipolar, monopolar, com tensão normal e com tensão reduzida.

2.2.5.6. Controle do sistema CC

2.2.5.6.1. A operação do elo CC em controle de potência e/ou corrente deve ser analisada para as condições possíveis de operação, de acordo com o projeto do elo, tanto para tensão CC nominal como para tensão reduzida, caso disponível. Nesta análise deve também ser consideradas as faixas de operação informadas ao ONS para o ângulo de disparo do terminal retificador e para o ângulo de extinção do terminal inversor.

2.3. Estudos de curto-circuito

2.3.1. Considerações gerais

2.3.1.1. Os estudos de curto-circuito dão subsídios para:

- o cálculo de equivalentes da rede;
- o dimensionamento elétrico e mecânico de disjuntores, chaves seccionadoras, barramentos, linhas de transmissão, transformadores, aterramento de instalações e outros equipamentos;
- a especificação de transformadores de corrente, bobinas de bloqueio e sistemas de proteção; e
- os estudos relativos ao ajuste e coordenação da proteção.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.3.1.2. Os dados de rede para os estudos de curto-circuito são os constantes no banco de dados do ONS e complementados pelas informações dos agentes, obtidos conforme estabelecido no Submódulo 3.12 – Estudos de curto-circuito.

2.3.1.3. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de curto-circuito* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

2.3.2. Premissas

2.3.2.1. A fim de que sejam obtidas as correntes máximas de curto-circuito, considera-se o sistema em regime subtransitário ($X''d$) na configuração estabelecida para o horizonte de estudo e com todos os componentes em operação.

2.3.2.2. As reatâncias de sequência positiva e zero das unidades geradoras e dos compensadores síncronos devem ser representadas pelos seus valores subtransitórios saturados.

2.3.2.3. As usinas eólicas devem ser representadas nos estudos de curto-circuito, tendo como referência a tecnologia empregada nos aerogeradores e nos valores de corrente de contribuição para curtos-circuitos correspondentes.

2.3.2.4. A contribuição dos elos CC e dos conversores estáticos para corrente de curto-circuito não deve ser considerada.

2.3.2.5. Os estudos para verificar a superação de capacidade dos disjuntores devem ser realizados para a corrente de interrupção simétrica.

2.3.3. Critérios

2.3.3.1. Os estudos para verificação da variação dos níveis de curto-circuito (monofásico, trifásico ou bifásico-terra) devem comparar quantitativamente a configuração do sistema atual com aquela um ano à frente.

2.3.3.1.1. Dessa comparação, obtém-se a indicação:

- (a) de barras com variação dos níveis de curto-circuito (monofásico, trifásico ou bifásico-terra) igual ou superior a +30% ou, igual ou inferior a -30%; e
- (b) de barras com variação dos níveis de curto-circuito (monofásico, trifásico ou bifásico-terra) igual ou superior a +10% ou, igual ou inferior a -10%, a fim de indicar as eventuais alterações nos ajustes de proteção, destacando quais são as barras de fronteira, visando à elaboração pelos agentes do Plano Anual de Reajustes das Proteções de Fronteira, conforme Submódulo 6.13.

2.3.3.2. O nível de curto-circuito na barra deve ser comparado com o menor valor da capacidade de interrupção simétrica dos disjuntores do barramento, para curto monofásico, trifásico e bifásico-terra.

2.3.3.3. Nas situações em que essa comparação atinge no mínimo 100%, deve ser efetuado um estudo mais detalhado, definido como estudo de corrente passante, com o objetivo de identificar a efetiva corrente que passa pelo disjuntor.

2.3.3.3.1. Caso a relação entre a corrente passante e a capacidade de interrupção simétrica do respectivo disjuntor atinja um valor igual ou superior a 100%, o disjuntor deve ser considerado em estado “superado”. Se essa relação atingir um valor igual ou superior a 90% e inferior a 100%, o disjuntor é considerado em estado de “alerta”.

2.4. Estudos de estabilidade eletromecânica

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.1. Premissas para estudos de sistemas de corrente alternada (CA)

2.4.1.1. As condições de carga, geração e configuração do sistema a serem utilizadas como condições iniciais nos casos de análise de estabilidade eletromecânica devem ser aquelas que caracterizem condições normais e de Rede Incompleta em regime permanente para carga pesada, média, leve e mínima.

2.4.1.2. Simulações para abertura intempestiva de elementos do sistema sem curto-circuito prévio e/ou com a aplicação de curto-circuito monofásico devem ser realizadas.

2.4.1.3. Em função da contingência analisada, deve ser considerada a atuação dos sistemas de proteção e SEP relevantes para o desempenho do sistema elétrico.

2.4.1.4. Para definição de SEP, os estudos de estabilidade eletromecânica devem ser realizados para os eventos estabelecidos na etapa de definição do escopo do estudo, considerando como referência as seguintes situações:

- (a) falta na barra com atuação correta da proteção;
- (b) falta na barra com falha de disjuntor;
- (c) falta em linhas de transmissão que compartilhem a mesma torre ou a mesma faixa de passagem, seguida da abertura de ambos os circuitos;
- (d) falta em circuitos, duplos ou não, com falha de disjuntor;
- (e) perda de todas as seções de barra de um mesmo nível de tensão; e
- (f) perda de uma interligação elétrica que provoque a abertura de outras interligações.

2.4.1.5. Em estudos de estabilidade eletromecânica, deve-se verificar a necessidade do emprego e/ou do ajuste das proteções para perda de sincronismo, no intuito de promover o bloqueio ou a permissão de atuação seletiva dos equipamentos de manobra. Assim, é possível minimizar os reflexos de distúrbios sobre o sistema que provoquem colapso de tensão ou instabilidade entre as áreas decorrentes da perda parcial ou total de interligações elétricas.

2.4.1.6. A modelagem do sistema deve atender aos seguintes aspectos:

- (a) geradores termoeletrônicos: devem ser representados pelo modelo de máquina de polos lisos, com saturação e enrolamentos amortecedores;
- (b) geradores hidroelétricos: devem ser representados pelo modelo de máquina de polos salientes, com saturação e enrolamentos amortecedores;
- (c) usinas de pequeno porte, com potência nominal inferior a 100 MW: podem ser representadas pelo modelo clássico ou simplesmente não ser representadas. Exceções podem ocorrer quando se estiver analisando o desempenho dinâmico de áreas ou subsistemas de proporções menores, quando pode ser necessária a modelagem de usinas de porte inferior ao valor aqui referenciado;
- (d) novas usinas sem dados suficientes para a devida modelagem nos estudos: devem ser utilizados valores típicos e modelos de máquinas similares;
- (e) reguladores de tensão e de velocidade e sinais adicionais estabilizantes: devem ser modelados em todas as máquinas representadas, com exceção do regulador de velocidade das máquinas térmicas com constantes de tempo superiores ao tempo de simulação do estudo;
- (f) limitadores de reguladores com constantes de tempo inferiores ao tempo de simulação e dispositivos que ativam e desativam os sinais estabilizadores adicionais devem ser sempre modelados;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (g) sistemas de excitação: devem ser representados com suas limitações relevantes;
- (h) cargas: devem ser representadas da maneira mais realista possível, por modelos estático ou dinâmico, lineares ou não lineares, a depender dos dados disponíveis;
- (i) sistemas CC: devem ser representados com base nas premissas para estudos de sistemas de corrente contínua (CC);
- (j) equipamentos *Flexible AC Transmission System* (FACTS): devem ser representados com seus controles principais; e
- (k) usinas eólicas e fotovoltaicas: devem ser representadas as usinas cujas as malhas de controle atuam com constantes de tempo compatíveis com as dinâmicas associadas aos fenômenos eletromecânicos.
- (l) proteções de distância, de sobretensão, de perda de sincronismo e SEP, como Esquemas Regionais de Alívio de Carga (ERAC) e Esquemas de Corte de Geração (ECG) devem ser considerados quando pertinentes à análise.

2.4.1.7. Caso existam, na base de dados do ONS, valores de temporização para início da atuação do limitador de sobre-excitação das unidades geradoras e dos compensadores síncronos superiores ao tempo de simulação usualmente utilizado, da ordem de 15 segundos, pode-se fazer uma avaliação do desempenho do sistema, considerando a atuação do limitador depois de 5 segundos e deve-se informar a temporização utilizada na determinação das restrições elétricas.

2.4.1.8. Se não houver informações para representação da carga em função da tensão, deve-se representá-la como 50% de potência constante, 50% de impedância constante para parte ativa e 100% de impedância constante para parte reativa.

2.4.1.9. Na ausência de valores de amortecimento da carga com a frequência, utiliza-se uma constante de 1,0 pu/pu na modelagem dos reguladores de velocidade e turbinas.

2.4.1.10. Os tempos de isolamento do defeito devem ser obtidos com base nos tempos de manobra dos elementos que dependem do arranjo físico da subestação e do tempo de atuação da própria proteção.

2.4.1.11. Os tempos indicativos de eliminação do defeito são apresentados na Tabela 2 e devem ser utilizados apenas quando não houver informação disponível no banco de dados do ONS.

2.4.1.12. Caso haja necessidade de elaborar estudos específicos, o ONS solicita aos agentes os dados de tempo de eliminação de defeitos.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Tabela 2 – Tempos indicativos de eliminação de defeitos

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ (kV) | Tempo de eliminação (ms) (operação dos relés + abertura do disjuntor) | |
|---|--|------------------------|
| | Sem falha do disjuntor | Com falha do disjuntor |
| 765 | 80 | 200 |
| 525 | 100 | 250 |
| 500 | 100 | 250 |
| 440 | 100 | 250 |
| 345 | 100 | 400 |
| 230 | 150 | 500 |
| 138 | 150 | 500 |
| 138 ⁽²⁾ | 450 | 750 |
| 88 ⁽²⁾ | 450 | 750 |
| 69 ⁽²⁾ | 800 | 1000 |

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

(2) Sem teleproteção.

2.4.1.13. Os dispositivos de proteção do banco de capacitores série não devem atuar para faltas externas, exceto para faltas que sejam eliminadas em tempo superior ao tempo máximo de eliminação da falta sem falha do disjuntor.

2.4.1.14. Para representação adequada da ocorrência de *by-pass* do banco de capacitores série, devem ser consideradas as características específicas e a atuação da proteção de cada banco, informadas pelo agente de transmissão.

2.4.1.15. O capacitor série deve ser representado conforme descrito a seguir e detalhado em [4]:

- (a) reatância nula: quando há *by-pass* monofásico com curto-circuito monofásico ou *by-pass* trifásico; ou
- (b) 2/3 da reatância nominal: quando há *by-pass* monofásico sem curto-circuito monofásico próximo.

2.4.2. Premissas para estudos de sistemas de corrente contínua (CC)

2.4.2.1. Os estudos de estabilidade eletromecânica do sistema CC devem:

- (a) otimizar os parâmetros de controle sistêmico do elo CC;
- (b) verificar o comportamento do elo CC durante faltas e transitórios do sistema CA e CC;
- (c) verificar os tempos de recuperação pós-defeito no sistema CC e CA;
- (d) verificar a necessidade de controle para amortecimento das oscilações sistêmicas;
- (e) verificar a necessidade de controle de tensão;
- (f) ajustar a rampa da sobrecarga de corrente ou da potência CC para limitar as variações de tensão e de frequência dos sistemas CA nos lados retificador e inversor; e
- (g) ajustar a redução automática da potência ou corrente CC em situações de contingência, simples ou múltipla, caso necessário.

2.4.2.2. As simulações devem permitir a representação dos elos CC em conexões *back-to-back* ou ponto a ponto.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.2.3. A simulação da influência do comportamento de um elo CC em um sistema CA e vice-versa deve ser realizada. Os controles do elo CC e da rede CA associada devem ser devidamente representados, pois influenciam os resultados dos estudos.

2.4.2.4. A representação do controle do sistema CC deve considerar:

- (a) o modelo de controle deve apresentar duas opções de funcionamento, potência constante ou corrente constante, e deve ter a possibilidade de aplicação de sinal externo para modulação da potência transmitida pelo elo CC;
- (b) os valores de limitação de potência ou de corrente devem ser representados de acordo com o projeto do elo CC;
- (c) o bloco estabilizador ou de modulação deve ser representado por uma função de transferência ajustada para permitir a modulação do sinal da corrente ou potência na rede CA. Qualquer variável ou combinação de variáveis do sistema CA ou CC pode ser utilizada como sinal de entrada para esse bloco;
- (d) em relação à dependência entre a corrente de referência e a tensão do lado CC, *Voltage Dependent Current Order Limit* (VDCOL):
 - (1) A função do VDCOL é reduzir a ordem da corrente quando a tensão CC é reduzida a menos de um valor preestabelecido, de forma que o sistema CA possa se recuperar da falta.
 - (2) Os valores $I_{cc} \times V_{cc}$ podem ser alterados dependendo da conveniência do sistema CA, mas devem respeitar as limitações do fabricante, informadas pelo agente.
 - (3) No caso de conversoras *back-to-back*, pode ser utilizada uma função AC-VDCL que reduz a ordem da corrente dependendo da tensão CA no lado mais afetado. A curva de dependência deve ser fornecida pelo agente.

2.4.2.5. A modelagem dos elos CC deve ser aquela fornecida pelo agente responsável pelos equipamentos e, na falta desse modelo, deve ser utilizado um modelo similar que considere os seguintes aspectos:

- (a) em curto-circuito monofásico em elementos CA eletricamente próximos às barras conversoras:
 - (1) Para curto-circuito próximo à barra inversora, inclusive nesta, deve ser assumida potência zero na linha CC durante o período da falta.
 - (2) Para curto-circuito próximo à barra retificadora, inclusive nesta, deve ser considerada, durante a falta, uma redução de 80% na potência da linha CC em relação ao seu valor pré-falta.
- (b) em curto-circuito monofásico em elementos da rede CA eletricamente distantes das barras conversoras (falta remota):
 - (1) Para faltas remotas no sistema receptor (lado do inversor):
 - (i) se a tensão CA de sequência positiva na barra inversora atingir valores na faixa de 70% a 80% durante a falta, pode-se assumir para fins de simulação que o inversor tem um período de potência zero de, cerca de, 16 a 32 ms durante a falta;
 - (ii) após esse período de potência zero, a potência CC deve ser rampeada ao seu valor original; e
 - (iii) o comportamento para falta remota deve, caso disponível, ser balizado no modelo fornecido pelo agente responsável pelo elo CC.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(2) Para faltas remotas no sistema gerador (lado do retificador): a redução da potência CC pode ser considerada proporcional à redução da tensão na barra retificadora.

(c) em relação à recuperação da potência CC:

- (1) Após a eliminação da falta, a recuperação da potência CC pode ser representada, simplificada para efeito de estudo, por meio de uma rampa.
- (2) O tempo de recuperação (*restart*), medido desde o instante da eliminação da falta até a potência CC atingir 90% do seu valor de referência pré-falta e estabelecido pelos estudos, deve estar na faixa de 150 a 400 ms.
- (3) Sempre que disponíveis, devem ser utilizados os valores de projeto.

(d) em relação às faltas e contingências no elo CC:

- (1) Para faltas monopulares temporárias na linha CC, os curtos-circuitos são eliminados em poucos milissegundos pela atuação do controle.
 - (i) as tentativas de religamento, com ou sem sucesso, devem ser simuladas considerando as informações de projeto do elo/linha CC; e
 - (ii) na falta das informações de projeto, podem ser considerados os valores típicos para os tempos mortos da ordem de 200 ms (1ª tentativa).
- (2) Para falta monopolar permanente na linha CC com o bloqueio de um polo:
 - (i) deve ser avaliada a possibilidade de outros polos assumirem a potência perdida até o valor limite da sobrecarga de corrente de curta duração, a fim de se obter um desempenho estável para o sistema de potência; e
 - (ii) deve ser avaliada a necessidade de desligamentos automáticos da compensação reativa/filtros CA nos lados retificador e inversor, de forma a evitar sobretensões ou riscos de autoexcitação dos compensadores síncronos ou geradores próximos ao sistema CC.

(e) em relação ao tempo de eliminação das faltas monofásicas no sistema CA: na falta de valores informados pelos agentes, devem ser considerados os valores indicativos da Tabela 2;

(f) em relação à perda intempestiva dos módulos ou conjunto de módulos (ilhas), constituídos por elementos de compensação reativa/filtros do elo CC, deve ser investigada a possibilidade de ocorrência de falha de comutação.

(1) Sugere-se considerar as condições de mínima potência de curto-circuito do sistema em análise.

2.4.2.6. A linha de transmissão CC, nos casos de sistemas CC ponto a ponto, é expressa pela sua própria constante de tempo $\tau = L/R$, onde L e R são a indutância e a resistência total da linha, respectivamente, para determinada temperatura de operação.

2.4.2.7. As limitações dos ângulos de disparo e extinção do conversor CA/CC devem ser representadas nos estudos de estabilidade eletromecânica.

2.4.2.8. O controle de disparo é, em geral, simplificado nos estudos de estabilidade eletromecânica, uma vez que são baixas as constantes de tempo envolvidas e a representação da rede CA é fasorial e de sequência positiva. Entretanto, dependendo do SCR do lado inversor, pode ser necessária uma representação mais elaborada, a ser fornecida pelo agente responsável.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.2.9. O controle de corrente CC visa manter a corrente no valor desejado (I_0) e cada estação conversora, retificadora e inversora, tem o seu próprio controle de corrente.

2.4.2.10. Durante os transitórios, o controle da corrente pode passar para o inversor e para que isso seja possível, a corrente (I_{ordem}) para o retificador deve ser maior que a corrente (I_{ordem}) para o inversor. Essa diferença, denominada “margem de corrente”, pode ser normalmente considerada como 10% da corrente nominal.

2.4.3. Critérios para estudos de estabilidade eletromecânica

2.4.3.1. O sistema de potência deve ser transitória e dinamicamente estável.

2.4.3.2. Em qualquer condição de carga, o sistema deve permanecer estável para aberturas intempestivas com ou sem aplicação de curtos-circuitos monofásicos (maior probabilidade de ocorrência) sem religamento, ainda que haja perda de algum dos elementos do sistema de transmissão, inclusive transformadores.

2.4.3.3. Nos casos das contingências simples e duplas, caracterizadas nos itens 2.2.2.3 e 2.2.2.4, que provocam aberturas de parte ou da totalidade das interligações elétricas entre as áreas do SIN, os subsistemas que resultam dessas aberturas devem se manter estáveis. Adicionalmente, o sistema deve ser dinamicamente estável nas pequenas variações de intercâmbio após a abertura parcial do conjunto de linhas que compõem uma interligação.

2.4.3.4. Além de estável, o sistema não deve estar sujeito a riscos de sobrecargas inadmissíveis em equipamentos, violação de faixas de tensão ou desligamentos indesejáveis dos elementos da rede ou da carga.

2.4.3.5. O carregamento dos equipamentos principais de transmissão deve ser avaliado em função das suas características e dos seus equipamentos terminais. Com relação aos limites de carregamento, aplicam-se os itens 2.2.4.4 e 2.2.4.5.

2.4.3.6. Em períodos de simulação que se caracterizem como de regime permanente, devem ser aplicados os critérios descritos no item 2.2.4.

2.4.3.7. Para avaliação da estabilidade eletromecânica, devem ser considerados os seguintes critérios:

- (a) a tensão mínima na primeira oscilação pós-distúrbio não pode ser inferior a 60% da tensão nominal de operação ou 63% para 500 kV;
- (b) a tensão mínima nas demais oscilações pós-distúrbio não pode ser inferior a 80% da tensão nominal de operação ou 84% para 500 kV;
- (c) a máxima variação de tensão entre o instante inicial e final da simulação dinâmica deve ser inferior a 10% da tensão nominal de operação, ou seja, $V_{final} \geq [V_{inicial} - 10\% V_{nop}]$; e
- (d) a amplitude máxima das oscilações de tensão eficaz pico a pico deve ser de 2% em valor absoluto, após 10 segundos da eliminação do distúrbio.

2.4.3.7.1. No cálculo dos limites de intercâmbio elétrico entre as áreas do SIN, deve-se utilizar a metodologia baseada nos critérios para avaliação da estabilidade eletromecânica, que já incluem a margem de segurança com relação ao limite de estabilidade adequada à operação do sistema.

2.4.3.7.2. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de estabilidade eletromecânica* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

2.4.4. Estudos de estabilidade eletromecânica após fechamento de paralelo

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.4.1. Premissas

2.4.4.1.1. O controle de tensão deve atuar de forma que as sobretensões sustentadas fiquem reduzidas aos níveis admissíveis informados pelos agentes. Na falta dos valores admissíveis, devem ser utilizados os limites máximos indicados na Tabela 1 (em carga) ou Tabela 3 e na Tabela 4.

Tabela 3 – Sobretensões dinâmicas e sustentadas admissíveis a 60Hz

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ | Máxima tensão dinâmica sem elementos saturáveis | | Máxima tensão dinâmica com elementos saturáveis | | Máxima tensão sustentada em vazio ⁽³⁾ | |
|---|---|---------------------|---|---------------------|--|----------------------|
| (kV) | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ |
| 138 | 203 | 1,47 | 193 | 1,40 | 152 | 1,10 |
| 230 | 339 | 1,47 | 322 | 1,40 | 253 | 1,10 |
| 345 | 507 | 1,47 | 483 | 1,40 | 398 | 1,15 |
| 440 | 645 | 1,47 | 616 | 1,40 | 506 | 1,15 |
| 500 | 770 | 1,54 | 735 | 1,47 | 600 | 1,20 |
| 525 | 770 | 1,47 | 735 | 1,40 | 600 | 1,15 |
| 765 | 1120 | 1,47 | 1070 | 1,40 | 800 ⁽⁴⁾ | 1,046 ⁽⁴⁾ |

(1) Valor eficaz de tensão do sistema.

(2) Base: tensão nominal de operação.

(3) Em terminal aberto de linha de transmissão durante 1 hora.

(4) Restrição imposta por limitação de equipamentos.

Tabela 4 – Valores admissíveis de tensão, entre fases, para condição de pré-abertura das linhas em vazio

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ | Tensão máxima a 60 Hz ⁽³⁾ | | Tensão máxima a 62 Hz ⁽⁴⁾ | | Tensão máxima a 64 Hz ⁽⁴⁾ | | Tensão máxima a 66 Hz ⁽⁴⁾ | |
|---|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---------------------|
| (kV) | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ | (kV) | (pu) ⁽²⁾ |
| 138 | 203 | 1,47 | 196 | 1,42 | 189 | 1,37 | 184 | 1,33 |
| 230 | 339 | 1,47 | 327 | 1,42 | 315 | 1,37 | 306 | 1,33 |
| 345 | 507 | 1,47 | 490 | 1,42 | 474 | 1,37 | 460 | 1,33 |
| 440 | 645 | 1,47 | 625 | 1,42 | 603 | 1,37 | 585 | 1,33 |
| 500 | 770 | 1,54 | 745 | 1,49 | 720 | 1,44 | 700 | 1,40 |
| 525 | 770 | 1,47 | 745 | 1,42 | 720 | 1,37 | 700 | 1,33 |
| 765 | 1120 | 1,47 | 1085 | 1,42 | 1050 | 1,37 | 1015 | 1,33 |

(1) Valor eficaz de tensão do sistema.

(2) Base: tensão nominal de operação.

(3) Valores normalizados de acordo com norma ABNT [5].

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (4) Valores obtidos a partir da referência normalizada, definida para 60 Hz.

O critério adotado para a tensão máxima a 62Hz, 64Hz e 66Hz é a manutenção da taxa de crescimento da envoltória da tensão de restabelecimento na abertura de linhas a vazio. A taxa de crescimento é mantida igual à respectiva taxa para 60Hz. Como consequência, quanto maior a frequência da rede na condição de pré-manobra, menor será a tensão máxima admitida.

2.4.4.2. Critérios

2.4.4.2.1. Os estudos eletromecânicos de fechamento de paralelo devem determinar os valores máximos permitidos para diferença de tensão, ângulo e frequência entre as barras envolvidas no fechamento de paralelo, de modo a limitar as variações instantâneas de potência acelerante e evitar esforços superiores aos permitidos nas unidades geradoras.

2.4.4.2.2. Os valores de referência para as máximas diferenças de tensão, ângulo e frequência são:

- (a) máxima diferença da tensão: 10% da tensão nominal de operação;
- (b) máxima diferença da frequência: 0,2 Hz; e
- (c) máxima defasagem angular: 10 graus.

2.4.5. Estudos de estabilidade eletromecânica após fechamento de anel

2.4.5.1. Premissas

2.4.5.1.1. Os estudos eletromecânicos de fechamento de anel devem avaliar os efeitos de fechamentos de anel elétrico na rede de transmissão sobre as unidades geradoras para evitar esforços mecânicos excessivos em seus eixos.

2.4.5.1.2. Os estudos eletromecânicos determinam os valores máximos permitidos para diferença de tensão e ângulo entre as barras envolvidas no fechamento de anel entre áreas, de forma a evitar esforços superiores aos permitidos nas unidades geradoras.

2.4.5.2. Critérios

2.4.5.2.1. Para as unidades termelétricas, o fator relevante é a fadiga cíclica, decorrente dos esforços torcionais a que o material do eixo do turbo-gerador é submetido.

2.4.5.2.2. Para as unidades hidroelétricas, a perda de vida útil causada pela fadiga cíclica a que o eixo é submetido é considerada, normalmente, irrelevante e outras restrições informadas pelos agentes podem ser relevantes.

2.4.5.2.3. A avaliação da solicitação a que o gerador é submetido quando da manobra de fechamento de anel é realizada com base na variação percentual instantânea da potência ativa gerada pela unidade, conforme Equação (1):

$$(1) \Delta P = P_{\text{ele}(t=0-)} - P_{\text{ele}(t=0+)}$$

sendo,

ΔP : percentual instantâneo da potência ativa gerada pela unidade geradora no fechamento do anel;

$P_{\text{ele}(t=0-)}$: potência ativa gerada imediatamente antes do fechamento do anel; e

$P_{\text{ele}(t=0+)}$: potência ativa gerada imediatamente após o fechamento do anel.

2.4.5.2.4. A avaliação dos efeitos de fechamento de anel deve considerar os seguintes critérios:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (a) se $\Delta P \leq 50\%$ da potência nominal aparente da unidade geradora: o fechamento de anel é permitido para unidades hidroelétricas e termoeletricas; e
- (b) se $\Delta P > 50\%$ da potência nominal aparente da unidade geradora: o agente deve ser consultado sobre a possibilidade de haver danos nos componentes da unidade, decorrentes do impacto mecânico a que esses componentes são submetidos.
 - (1) Para máquinas hidráulicas, o valor de ΔP pode ser superior a 50%, caso não haja outras restrições por parte do agente.
 - (2) Para máquinas térmicas, o fechamento do anel só é permitido se a perda de vida útil for inferior a 0,01% ou a outro limite informado pelo agente ao ONS com base em estudos específicos.

2.4.6. Estudos de estabilidade eletromecânica de sobretensões dinâmicas

2.4.6.1. Premissas

2.4.6.1.1. Nos estudos de sobretensões dinâmicas, a modelagem deve incluir:

- (a) a representação da variação dos parâmetros da rede (reatâncias da rede e da máquina) com a frequência;
- (b) o modelo de máquina síncrona abrangendo os enrolamentos amortecedores, a saturação e os reguladores de tensão, conforme descrito nos itens 2.4.1.6.(a) e 2.4.1.6.(b); e
- (c) os compensadores estáticos controláveis com as características detalhadas de controle de sobretensão.

2.4.6.1.2. Nos casos em que uma análise simplificada identificar riscos potenciais de ocorrência de autoexcitação em máquinas síncronas que possam causar sobretensões severas, deve ser efetuada uma análise detalhada da possibilidade de ocorrência desse fenômeno.

2.4.6.1.3. A autoexcitação pode ocorrer nos seguintes casos:

- (a) energização de linhas longas;
- (b) rejeição de carga envolvendo linhas longas;
- (c) perda de interligação em subestações nas quais existam bancos de capacitores e compensadores síncronos; e
- (d) perdas de interligação CA, junto às subestações conversoras CC, com filtros de harmônicas, bancos de capacitores e compensadores síncronos.

2.4.6.1.4. As simulações devem ser estendidas por um período mínimo de 8 segundos, no qual o crescimento das tensões é observado em função das sobrevelocidades dos geradores. Assim, os reguladores de velocidade devem ser representados e ajustados para obter a velocidade máxima das turbinas.

2.4.6.1.5. Nos estudos de rejeição de carga, são consideradas as configurações resultantes de contingências que sejam visualizadas como as mais severas para o sistema em estudo, simulando um tempo da ordem de 0,5 segundo.

2.4.6.1.6. Não deve ser considerada a suportabilidade dos para-raios, que deve ser objeto de estudos específicos, conforme descrito no item 2.5.

2.4.6.2. Critérios

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.6.2.1. Para contornar os riscos de autoexcitação, pode-se optar por:

- (a) implantar reforço na compensação indutiva;
- (b) alterar parte dos bancos de capacitores previstos por compensação estática controlável; ou
- (c) dotar o sistema de excitação da máquina com capacidade de corrente de campo negativa, a ser acordado entre o ONS e os agentes envolvidos.

2.4.6.2.2. Nos estudos de rejeição de carga, a compensação reativa global, capacitiva e indutiva, deve ser dimensionada para que o sistema suporte, sem violação dos critérios, a ocorrência dos seguintes eventos:

- (a) rejeição de carga simples, direta e inversa, esta última consistindo na abertura de um único terminal de linha;
- (b) rejeição múltipla, caracterizada pela abertura dos terminais de circuitos distintos na mesma extremidade simultaneamente por causa comum, tal como um curto-circuito no barramento seguido de abertura dos disjuntores da linha;
- (c) curto-circuito fase-terra seguido de rejeição de carga, exceto nos casos em que as máquinas diretamente envolvidas são do tipo regulador estático e *ceiling* variável com tensão terminal (*bus fed*), onde deve ser considerada somente a rejeição de carga; e
- (d) perda não simultânea do compensador síncrono, estático, reator, transformador ou consumidor de grande porte.

2.4.6.2.3. Os valores máximos admissíveis para as sobretensões dinâmicas são determinados a partir da curva de suportabilidade de sobretensão, a 60Hz, dos equipamentos e da tensão admissível para abertura de linhas em vazio.

2.4.6.2.4. Os valores máximos admissíveis devem ser fornecidos pelos agentes e na ausência desses valores, devem ser utilizados os limites máximos de tensão indicados na Tabela 3 e Tabela 4.

2.4.6.2.5. Os valores máximos de tensão admissíveis nos estudos de energização a 60Hz de linhas de transmissão devem ser fornecidos pelos agentes e na ausência desses valores devem ser considerados os seguintes aspectos:

- (a) os níveis de tensão em regime permanente no terminal emissor antes e depois da energização não devem exceder os valores máximos apresentados na Tabela 1;
- (b) os níveis de tensão depois da manobra no terminal aberto da linha de transmissão não devem exceder os valores de máxima tensão sustentada em vazio durante 1 hora, conforme apresentado na Tabela 3 e Tabela 4.

2.4.7. Estudos de estabilidade eletromecânica após religamento automático de linhas de transmissão

2.4.7.1. Premissas

2.4.7.1.1. Os estudos de religamento automático de linhas de transmissão no SIN tem os seguintes objetivos:

- (a) garantir a manutenção da estabilidade eletromecânica das máquinas síncronas presentes no sistema;
- (b) permitir a automação do retorno da linha de transmissão ao serviço em tempo inferior ao do religamento manual; e

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(c) avaliar, por meio de simulações dinâmicas:

- (1) se os valores das sobretensões, resultantes da manobra, estão de acordo com os critérios adotados para garantir a integridade dos equipamentos.
- (2) os efeitos dos religamentos sobre as unidades geradoras, no sentido de evitar esforços mecânicos excessivos em seus eixos, considerando as condições de operação e as diferentes topologias de rede.
- (3) as perspectivas de sucesso do religamento, considerando o tempo morto necessário para a extinção do arco secundário definido nos estudos de transitórios eletromagnéticos.

2.4.7.1.2. Os religamentos podem ser tripolares e/ou monopulares, dependendo dos equipamentos disponíveis e do esquema utilizado.

2.4.7.1.3. O religamento monopolar é o menos severo sob o ponto de vista dinâmico e em relação aos esforços nas unidades geradoras e sobretensões dinâmicas associadas.

2.4.7.1.4. A potência acelerante das usinas eletricamente próximas às subestações onde são feitas as manobras e a diferença angular da tensão no terminal seguidor, no caso do religamento automático tripolar, devem ser investigadas nos estudos de estabilidade eletromecânica.

2.4.7.1.5. A possibilidade de atuação da proteção de sobretensão a 60 Hz, em função dos valores observados na simulação e do ajuste dos relés, deve ser considerada.

2.4.7.1.6. Em linhas de transmissão equipadas com bancos de capacitores série, a ação de *by-pass* automático dos bancos e a sua reinserção automática após religamento com sucesso da linha deve ser representada, caso essa estratégia seja adotada.

2.4.7.1.7. A simulação de religamentos automáticos considera os seguintes tempos:

- (a) tempo de abertura do disjuntor na 1ª extremidade da linha a ser aberta pela atuação da proteção;
- (b) tempo de abertura do disjuntor na 2ª extremidade da linha a ser aberta pela atuação da proteção;
 - (1) No caso de comando de abertura por transferência de disparo, deve ser adicionado o tempo de transmissão do comando a esse tempo de abertura.
 - (2) O tempo de transferência de disparo pode ser adotado como 20 ms.
- (c) tempo morto necessário para extinção do arco secundário;
 - (1) Como referência, devem ser considerados os estudos de transitórios eletromagnéticos (religamento monopolar) e de estabilidade eletromecânica (religamento tripolar).
- (d) tempo de religamento do terminal líder; e
- (e) tempo de religamento do terminal seguidor:
 - (1) Caso se utilize controle de fechamento por relé de verificação de sincronismo, deve ser adicionada uma previsão de tempo para sua permissão de fechamento a esse tempo de religamento.
 - (2) O tempo de verificação de sincronismo poder ser adotado como 300 ms.

2.4.7.1.8. Para os tempos de abertura dos disjuntores, devem ser considerados os valores informados pelos agentes e na ausência desses valores, devem ser utilizados os valores indicativos da Tabela 2.

2.4.7.2. Critérios

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.7.2.1. Nos estudos de religamento automático, o fator relevante para unidades termoeletricas é a fadiga cíclica, decorrente dos esforços torcionais a que o material do eixo do turbo-gerador é submetido.

2.4.7.2.2. Para as unidades hidroeletricas, a perda de vida útil causada pela fadiga cíclica a que o eixo é submetido é considerada normalmente irrelevante. No entanto, outras restrições informadas pelos agentes podem ser relevantes.

2.4.7.2.3. A avaliação do esforço a que o gerador é submetido quando do religamento automático é realizada com base na variação percentual instantânea da potência ativa gerada pela unidade, conforme Equação (2):

$$(2) \Delta P = P_{\text{ele}(t=0-)} - P_{\text{ele}(t=0+)}$$

sendo,

ΔP : percentual instantâneo da potência ativa gerada pela unidade geradora no religamento automático;

$P_{\text{ele}(t=0-)}$: potência ativa gerada imediatamente antes do religamento automático; e

$P_{\text{ele}(t=0+)}$: potência ativa gerada imediatamente após o religamento automático.

2.4.7.2.4. A avaliação dos efeitos do religamento automático deve considerar os seguintes critérios:

- (a) se $\Delta P \leq 50\%$ da potência nominal aparente da unidade geradora: o religamento automático é permitido para unidades hidroeletricas e termoeletricas; e
- (b) se $\Delta P > 50\%$ da potência nominal aparente da unidade geradora: o agente deve ser consultado sobre a possibilidade de haver danos nos componentes da máquina, decorrentes do impacto mecânico a que esses componentes são submetidos.
 - (1) Para máquinas hidráulicas, o valor de ΔP pode ser superior a 50%, caso não haja outras restrições por parte do agente.
 - (2) Para máquinas térmicas, o fechamento do anel só é permitido se a perda de vida útil for inferior a 0,01% ou a outro limite informado pelo agente ao ONS com base em estudos específicos.

2.4.7.2.5. As contingências devem ser estudadas nos estudos de religamento automático de linhas de transmissão para verificar a condição mais crítica para o religamento, considerando os seguintes aspectos:

- (a) as contingências relacionadas à perda de carga total ou parcial, à perda de geração ou ao desligamento de circuitos;
- (b) o desligamento de circuitos com reflexos na redução da potência de curto-circuito no barramento onde se realiza a manobra e na distribuição dos impactos de potência, ao passo que a perda de carga total ou parcial se relaciona com a redução dos amortecimentos; e
- (c) o ajuste máximo do ângulo da proteção de verificação de sincronismo que deve ser compatível com o valor limite de estabilidade relativo ao defeito mais severo selecionado pelo religamento.

2.4.8. Estudos de estabilidade eletromecânica de alívio de carga por subfrequência

2.4.8.1. Premissas

2.4.8.1.1. Os estudos de alívio de carga por subfrequência devem incluir:

- (a) análise de contingências, considerando todas as condições de carga e de potência sincronizada nas condições de intercâmbios e de cargas estudadas;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (b) análise de contingências com perdas de grandes blocos de geração ou de interligações elétricas, considerando a operação das interligações nas condições de intercâmbios máximos, para se obter:
- (1) taxa média da variação de frequência em intervalos de frequência preestabelecidos;
 - (2) tempos de permanência da frequência abaixo dos patamares de referência preestabelecidos;
 - (3) maior taxa de variação da frequência em que o sistema se recupera sem atingir o valor da frequência mínima e sem necessidade de corte de carga; e
 - (4) valor da frequência do sistema após a estabilização.
- (c) análise de contingências, simples e duplas, com formação de ilhas, em que não haja recuperação da frequência ou em que o valor da frequência mínima tenha sido ultrapassado, ou em ambas as condições;
- (1) essa análise determina os montantes de corte de carga necessários para atingir as metas desejadas; e
 - (2) os cortes de carga devem ser coordenados com as ações de controle de tensão, de modo a evitar a recuperação da carga remanescente com a elevação das tensões provocadas pela redução no carregamento do sistema, o que implicaria maior afundamento da frequência, com cortes de carga adicionais desnecessários.
- (d) estudos para definição do número de estágios a serem utilizados e determinação dos valores preliminares de ajuste dos relés e dos montantes de corte de carga por estágios;
- (1) o critério de proporcionalidade no valor de corte de carga entre os agentes deve ser atendido e os valores de ajuste dos relés devem ser escolhidos de modo a garantir a atuação dos estágios na sequência desejada.
- (e) análise de contingências, simples e duplas, em outras condições de operação, para se obter:
- (1) avaliação dos ajustes preliminares dos relés, com definição de novos valores, caso necessário;
 - (2) avaliação dos montantes de corte de carga alocados preliminarmente por estágio e realização dos remanejamentos dos montantes que se fizerem necessários;
 - (3) determinação da necessidade de ajustes de retaguarda para os relés, com definição desses novos ajustes; e
 - (4) verificação da possibilidade de ocorrerem atuações desnecessárias.
- (f) análises para determinar a inércia mínima na área, de forma a garantir as condições de frequência mínima e a recuperação da frequência às possíveis condições de ilhamento em contingências no SIN, após atuação de todos os estágios do esquema de alívio de carga por subfrequência;
- (g) análises da influência da indisponibilidade de reatores ou equipamentos variáveis de suporte de reativos, em valores de potência mínima sincronizada, influenciados pela recuperação da carga remanescente com a tensão; e
- (h) análise do sistema sob o ponto de vista de estabilidade de tensão, pois durante o processo para dimensionamento do esquema de alívio de carga por subfrequência podem ocorrer colapsos de tensão.
- (1) esse problema de colapso de tensão pode não ser observado, uma vez que os recursos do programa de estabilidade utilizado, com o objetivo de facilitar a convergência dos fluxos de

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

potência transitórios, modela as cargas do sistema apenas como impedâncias constantes a partir de um determinado patamar de tensão, normalmente de 50%.

2.4.8.1.2. Os esquemas de reversão síncrono-gerador não devem ser considerados.

2.4.8.1.3. Durante o processo para quantificação do corte de carga por subfrequência, a possibilidade de ocorrerem problemas de estabilidade, provenientes da interação com controladores que não estejam completamente modelados, deve ser considerado para situações em que se verifiquem grandes variações nas grandezas elétricas do sistema.

2.4.8.2. Critérios

2.4.8.2.1. O esquema de alívio de carga por subfrequência (ERAC) deve ser dimensionado para garantir que, após sua atuação, a frequência se estabilize em 59,5 Hz em 20 segundos para o SIN e para as ilhas elétricas que possam ser formadas.

2.4.8.2.2. O esquema de alívio de carga por subfrequência deve ser dimensionado para sobrecargas no SIN com base na pesquisa da contingência mais crítica que leve a frequência a valores abaixo do nominal, sem perda de sincronismo entre as regiões.

2.4.8.2.3. O esquema deve atender também às situações de emergência regionais que determinem sobrecargas superiores àquelas previstas para o SIN.

2.4.8.2.4. A frequência mínima adotada como referência para o dimensionamento dos esquemas de alívio de carga por subfrequência (ERAC) é 57,0 Hz.

2.4.8.2.5. Nos casos de ilhamento de carga e geração em uma área com predominância de geração hidráulica, pode-se admitir a excursão da frequência até 56,0 Hz, desde que se obtenha um menor corte de carga.

2.4.9. Estudos de estabilidade eletromecânica de alívio de geração por sobrefrequência

2.4.9.1. Premissas

2.4.9.1.1. Os estudos de alívio de geração por sobrefrequência devem incluir:

- (a) análise de contingências com perdas de grandes blocos de carga ou abertura de paralelo entre regiões:
 - (1) todas as condições de carga e de potência sincronizada nas condições de intercâmbios e nos períodos estudados devem ser consideradas;
 - (2) a operação nas condições limites de intercâmbio deve ser considerada, para se obter:
 - (i) taxa média de variação da frequência em intervalos de frequência preestabelecidos;
 - (ii) tempos de permanência da frequência acima dos patamares de referência preestabelecidos;
 - (iii) maior taxa de variação da frequência em que o sistema se recupera sem atingir o valor da frequência máxima e sem necessidade de corte de geração; e
 - (iv) valor da frequência do sistema após a estabilização.
- (b) análise das contingências, simples e duplas, com formação de ilhas, sem restabelecimento da frequência ou com o valor da frequência máxima ultrapassado, ou em ambas as condições.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (1) essa análise determina os montantes de corte de geração necessários para atingir as metas desejadas.
- (2) os cortes de geração devem ser coordenados com as ações de controle de tensão para evitar problemas de atendimento dentro da ilha.
- (c) estudos para definição do número dos estágios e dos montantes de corte de geração a serem realizados e determinação dos valores preliminares de ajuste dos relés.
 - (1) o critério de proporcionalidade no valor de corte de geração deve ser atendido entre os agentes e os valores de ajuste dos relés adequados à atuação dos estágios devem ser escolhidos na sequência desejada.
 - (2) o estágio é considerado como o corte de geração relacionado a cada nível de desbalanço geração-carga.
- (d) análise de contingências, simples e duplas, em outras condições de operação, para se obter:
 - (1) avaliação dos ajustes preliminares dos relés, com a definição de novos valores, caso necessário.
 - (2) avaliação dos montantes de corte de geração alocados preliminarmente por estágio e realização dos remanejamentos necessários.
 - (3) determinação da necessidade de ajustes de retaguarda para os relés, com definição desses novos ajustes.
 - (4) verificação da possibilidade de ocorrerem atuações desnecessárias.
- (e) análises para determinação das potências sincronizadas mínimas nas usinas ou conjuntos de usinas, que devem ser realizadas caso se tenha atingido a condição limite de geração indicativa da necessidade de desligamento.
 - (1) o limite do desbalanço geração-carga adequado às condições de frequência máxima e ao restabelecimento da frequência devem ser determinados, a fim de atender as possíveis condições de ilhamento em contingências no SIN, após atuação de todos os estágios definidos pelos estudos de alívio de geração por sobrefrequência.
- (f) durante o processo para dimensionamento do esquema de alívio de geração por sobrefrequência, deve ser considerada a possibilidade de ocorrerem problemas de estabilidade, provenientes da redução do nível de amortecimento do sistema remanescente ou da interação com controladores que não estejam completamente modelados para situações com grandes variações nas grandezas elétricas do sistema.

2.4.9.1.2. O esquema de alívio de geração por sobrefrequência deve ser dimensionado para situações de excesso de geração no SIN, com base na contingência mais crítica que leve a frequência a valores superiores ao nominal, sem perda de sincronismo entre as regiões.

2.4.9.1.3. O esquema de alívio de geração por sobrefrequência deve atender também às situações de emergência regionais que determinem sobrecargas superiores àquelas previstas para o SIN.

2.4.9.2. Critérios

2.4.9.2.1. A frequência máxima a ser observada, após os distúrbios, deve ser compatível com as características da carga e dos equipamentos do sistema envolvido.

2.4.9.2.2. Nas situações de difícil contorno, devem ser analisados esquemas alternativos que considerem também o ilhamento ou o bloqueio de unidades térmicas.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.4.9.2.3. O esquema de alívio de geração por sobrefrequência deve ser dimensionado para garantir que, após sua atuação, a frequência se estabilize em 60,5Hz em 20 segundos para o SIN e para as ilhas elétricas que possam ser formadas.

2.5. Diretrizes para estudos de transitórios eletromagnéticos sob condições de manobra

2.5.1. Processos relacionados

2.5.1.1. Neste item estão definidas as diretrizes para os estudos de transitórios eletromagnéticos requeridos nos estudos pré-operacionais e de recomposição no Submódulo 7.4 e Submódulo 3.10, nos estudos de acesso no Submódulo 7.1, de superação de equipamentos no Submódulo 3.12 e nos estudos que definem o projeto básico de instalações de transmissão no Submódulo 7.3.

2.5.1.2. Os dados para os estudos de transitórios eletromagnéticos com horizonte até os estudos do PAR/PEL são os disponíveis no banco de dados do ONS, complementados pelas informações solicitadas aos agentes responsáveis pelas instalações. Caso disponíveis, devem ser utilizadas as características "como efetivamente implantadas" descritas no Submódulo 7.3.

2.5.1.2.1. Para estudos além do horizonte do PAR/PEL, a base de dados utilizada é a do órgão responsável pelo planejamento da expansão (longo prazo).

2.5.1.3. Os estudos de projeto básico, referentes à fase de engenharia de sistemas, são de responsabilidade dos agentes de transmissão envolvidos e têm por finalidade definir as características para especificação das instalações e dos equipamentos que serão integrados às instalações de transmissão por meio dos processos de leilão ou de autorização.

2.5.1.4. Os estudos pré-operacionais, necessários à inclusão de novas instalações nos procedimentos operacionais da Rede Básica, são de responsabilidade do ONS e têm o objetivo de quantificar em detalhe todos os impactos da nova instalação sobre a Rede Básica existente.

2.5.1.4.1. Em relação aos estudos de projeto básico, os estudos pré-operacionais tratam de uma avaliação complementar das solicitações transitórias e temporárias decorrentes de manobras ou de defeitos, na qual devem ser considerados a representação detalhada dos equipamentos do sistema envolvido e os parâmetros reais dos equipamentos correspondentes às novas instalações.

2.5.1.5. Os estudos de acesso, referentes à fase de engenharia de sistemas, são de responsabilidade do acessante e têm por finalidade definir as características para especificação das instalações e dos equipamentos do próprio acessante, bem como avaliar os impactos causados pela inserção do empreendimento na operação da Rede Básica.

2.5.1.5.1. Enquadram-se nos estudos de acesso aqueles relacionados aos empreendimentos que ocasionem seccionamento de linhas de transmissão da Rede Básica ou inserção de novas unidades geradoras.

2.5.1.5.2. Os estudos de acesso devem ter o mesmo nível de detalhamento que os estudos de projeto básico ou pré-operacionais, dependendo do tempo para entrada em operação da instalação.

2.5.1.6. Os estudos de recomposição definem os procedimentos operacionais para o restabelecimento do sistema após perturbação geral ou parcial e são de responsabilidade do ONS, com anuência dos agentes envolvidos.

2.5.1.6.1. Os estudos de recomposição estabelecem, para os corredores preferenciais do SIN, os procedimentos a serem observados pela operação das usinas e subestações quando do restabelecimento da rede de forma fluente ou coordenada com os centros de operação do sistema.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.5.1.6.2. Nos estudos de recomposição do sistema, devem ser investigados os corredores preferenciais indicados pelos estudos de fluxo de potência e de estabilidade eletromecânica, responsáveis, inicialmente, pela definição dos montantes máximos de tomada de carga, da configuração mínima de reatores e das tensões máximas pré-energização de regime permanente e dinâmico.

2.5.1.6.3. Nos estudos de recomposição, os estudos de transitórios eletromagnéticos devem verificar se as condições estabelecidas pelos estudos de regime permanente e estabilidade eletromecânica não violam as máximas capacidades dos equipamentos durante as manobras de energização das linhas de transmissão, transformadores e nas rejeições de cargas.

2.5.1.7. Os estudos de superação de equipamentos são de caráter cíclico e visam avaliar a suportabilidade dos equipamentos existentes em relação às solicitações impostas pela evolução da rede. Tais estudos são de responsabilidade dos agentes envolvidos e se prestam a indicar a necessidade da substituição de equipamentos de manobra, superados ou tecnologicamente obsoletos, por outros adequados às condições atuais de operação do sistema.

2.5.2. Documentos de referência

2.5.2.1. Na execução dos estudos de transitórios eletromagnéticos, devem ser observadas as disposições dos documentos de referência.

2.5.2.2. No caso dos estudos de projeto básico, deve-se referir ao edital de licitação do empreendimento ou, no caso de autorização, aos requisitos mínimos estabelecidos nos Procedimentos de Rede e documentos específicos das instalações já existentes, quando for o caso. Ressalta-se que a lista de estudos necessários, apresentados nos editais, se referem aos estudos mínimos a serem executados e, portanto, estudos adicionais poderão ser solicitados pelo ONS, a depender das particularidades da instalação.

2.5.2.3. No caso dos estudos pré-operacionais, o termo de referência do estudo deve ser considerado.

2.5.3. Modelagem dos componentes e equipamentos

2.5.3.1. Nos estudos de transitórios eletromagnéticos, a modelagem dos componentes e equipamentos deve ser adequada à representação dos fenômenos a serem analisados.

2.5.3.2. Nos estudos pré-operacionais e de recomposição, devem-se utilizar, preferencialmente, dados obtidos dos ensaios ou do “como efetivamente implantados”, descritos no Submódulo 7.3. Na falta desses, dados do projeto básico do empreendimento podem ser utilizados. Se mesmo esses não estiverem disponíveis, dados típicos podem ser utilizados após a sua ratificação pelos agentes responsáveis.

2.5.3.3. Nos estudos de projeto básico, algumas vezes os parâmetros referentes à modelagem de alguns equipamentos não estão disponíveis, pois a modelagem final somente será obtida a partir dos testes de fábrica. Exemplo típico desse caso é a característica de magnetização de transformadores. Nessas situações, dados típicos e/ou preliminares do fornecimento podem ser utilizados e cabe ao agente envolvido a responsabilidade pela comprovação da sua aplicabilidade.

2.5.3.3.1. Para os estudos de projeto básico, a tensão de pré-manobra nos estudos de chaveamento deve ser igual à máxima tensão operativa referente à classe de tensão da rede. Caso as condições de fluxo de potência não permitam que a tensão do barramento onde a manobra será realizada atinja a máxima tensão operativa, valor inferior a este pode ser utilizado, contanto que seja respeitado um valor mínimo igual à tensão nominal da rede.

2.5.3.4. Nos estudos pré-operacionais e de recomposição, a tensão pré-manobra deve respeitar os valores convergidos para o caso base de regime permanente ou aqueles definidos pelos estudos de estabilidade

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

eletromecânica. Caso possível, podem ser utilizados os limites máximos permissíveis na barra de manobra, contanto que esses limites não sejam violados nos demais barramentos do sistema.

2.5.3.4.1. Para os estudos pré-operacionais e de recomposição, as simulações poderão representar os para-raios dos reatores shunt e dos reatores de neutro, casos existentes, em adição aos para-raios da própria linha de transmissão, visando evitar que restrições operativas sejam impostas ao sistema. Nessas condições, recomenda-se que não seja excedida 80% da capacidade de absorção desses para-raios.

2.5.3.4.2. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de transitórios eletromagnéticos* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

2.5.4. Estudos de manobras em equipamentos

2.5.4.1. Estudos estatísticos

2.5.4.1.1. Os estudos estatísticos devem ser realizados para as situações em que seja necessário quantificar as solicitações transitórias, considerando a simulação dos parâmetros e as características probabilísticas dos equipamentos de manobra.

2.5.4.1.2. Em função da influência da aleatoriedade nos instantes de operação dos disjuntores, os estudos estatísticos devem ser efetuados por análise probabilística com a execução de, pelo menos, duzentos casos, de forma a assegurar a representatividade estatística dos estudos.

2.5.4.1.3. O disjuntor manobrado deve ser modelado como chave estatística. Os tempos de operação individuais de cada uma das três fases devem seguir uma distribuição gaussiana de probabilidades associada à dispersão do instante de fechamento entre os contatos principais (ou contatos auxiliares). Os tempos médios de operação do conjunto das três fases, em cada manobra, devem ser distribuídos uniformemente ao longo de um ciclo da frequência fundamental.

2.5.4.1.4. Na modelagem de disjuntores dotados de resistores de pré-inserção, tanto os contatos principais quanto os auxiliares devem ser modelados como chaves estatísticas. A operação dos contatos principais deve ocorrer de forma dependente daquela associada aos contatos auxiliares, após o tempo de inserção dos resistores das três fases, levando-se em conta sua dispersão e tempo médio.

2.5.4.1.5. Na modelagem de disjuntores dotados de dispositivos sincronizadores (dispositivos de manobra controlada), é necessário definir-se previamente, com auxílio de simulação determinística, o instante ideal de fechamento de cada polo do disjuntor.

2.5.4.1.6. O instante ideal de fechamento de cada polo do disjuntor é adotado como o tempo médio de operação de cada polo, que deve ser representado por chave estatística com distribuição gaussiana. As dispersões em torno dos tempos médios de cada polo são representadas pelo desvio padrão do tempo de fechamento do conjunto disjuntor-sincronizador. Essas dispersões são função da precisão mecânica do disjuntor, da precisão do sincronizador, bem como da variação da taxa de decremento da rigidez dielétrica do *gap* entre os contatos durante o fechamento do disjuntor.

2.5.4.1.7. A modelagem de disjuntores com sincronizadores deve seguir as diretrizes do CIGRE, conforme [6][7], que apresentam detalhes relevantes sobre as condições de manobra às quais usualmente se aplica o chaveamento controlado, considerando as informações garantidas pelo fabricante e fornecidas pelo agente.

2.5.4.1.8. Nos estudos pré-operacionais e de recomposição, adotam-se os parâmetros informados pelos agentes, conforme item 2.5.1.2.

2.5.4.1.9. Energização de linhas de transmissão:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (a) para condição de fechamento mais crítica, determinada pelas simulações probabilísticas, devem ser simuladas manobras com e sem aplicação de curto-circuito fase-terra no terminal remoto da linha e com e sem reatores para circuitos com compensação em derivação (compensação *shunt*):
 - (1) as indisponibilidades dos reatores deverão ser restritas somente aos reatores manobráveis;
 - (2) no caso dos estudos de projeto básico, a aplicação do defeito também deve ser simulada em ambos os terminais e no meio da linha;
- (b) no caso de estudos de surtos de manobra, as linhas de transmissão devem ser modeladas considerando seus parâmetros distribuídos:
 - (1) no caso particular de linhas curtas, por exemplo, naquelas em que o tempo de tráfego das ondas eletromagnéticas é inferior ao passo de integração, a modelagem pode ser realizada por seções Π (II);
 - (2) nos casos em que o amortecimento das sobretensões for crítico para a análise do fenômeno, a dependência dos parâmetros da linha de transmissão com a frequência deve ser representada.

2.5.4.1.10. Energização de transformadores:

- (a) a modelagem do equipamento a ser energizado deve ser suficientemente detalhada para reproduzir a característica de saturação e os parâmetros de sequência;
- (b) nos estudos pré-operacionais, os transformadores trifásicos devem ser simulados por representação matricial dos acoplamentos entre fases, com o fenômeno da saturação do núcleo ferro-magnético representado por um elemento não-linear conectado a um dos terminais;
- (c) nos estudos pré-operacionais e de recomposição, para os autotransformadores deve ser utilizado o modelo com representação dos enrolamentos série e comum com o fenômeno da saturação do núcleo ferro-magnético, representado por um elemento não-linear conectado a um dos terminais;
- (d) nos estudos pré-operacionais, deve ser utilizado na modelagem da saturação o laço de histerese baseado, preferencialmente, na característica de magnetização proveniente de ensaios no equipamento ou dos dados de projeto do equipamento:
 - (1) na falta dessas informações, deve-se obter do agente a ratificação dos dados típicos a serem adotados;
 - (2) nesse último caso, deve ser realizada uma análise de sensibilidade de forma a avaliar a influência da curva de saturação ou laço de histerese nas solicitações transitórias de tensão e corrente de *inrush* produzidas pela manobra.
- (e) as simulações estatísticas devem apontar pelo menos os casos mais severos com relação as tensões, correntes de *inrush* de fase e de neutro e energias dissipadas nos para-raios.
- (f) a manobra de energização deve considerar o fluxo magnético residual em seu valor máximo em uma das fases, conforme as seguintes diretrizes:
 - (1) a definição do valor de fluxo residual máximo deve basear-se nas informações contidas em relatórios de ensaios do fabricante – característica normal de saturação, característica de perda total em vazio e razão entre perda por histerese e perda total – e deve ser informado pelo agente responsável;
 - (2) na ausência dessas informações, devem ser adotados os valores típicos de literatura para estimativa do fluxo residual;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (3) caso a energização do transformador seja feita através de um sincronizador padrão, isto é, com estratégia de fechamento no pico da tensão de energização, o pico escolhido deverá ser aquele de polaridade oposta ao fluxo residual representado na primeira fase a fechar;
- (4) a modelagem do disjuntor, quando equipado com um sincronizador padrão, deverá ser realizada conforme item 2.5.4.1.7.
- (g) nos estudos do projeto básico, devem ser utilizados os dados referentes ao projeto do transformador em processo de aquisição, mesmo que ainda preliminares, sendo admitidos apenas na ausência de melhores informações, valores típicos para os parâmetros dos demais transformadores da rede retida de simulação;
- (h) nos estudos de energização de transformadores em subestações com mais de um transformador, deve ser analisada a manobra do transformador com pelo menos um dos demais transformadores em vazio nos estudos de projeto básico; e
 - (1) Para os estudos pré-operacionais, não será considerada a energização de transformador com outras unidades energizadas em vazio no mesmo barramento.
- (i) não se aplicam à manobra de energização de transformadores, os requisitos de desempenho harmônico definidos no Submódulo 2.9 – Requisitos mínimos de qualidade de energia elétrica para acesso ou integração à Rede Básica, por serem as correntes de *inrush* um fenômeno transitório/temporário.

2.5.4.1.11. Energização de banco de capacitores em derivação:

- (a) na existência de banco de capacitores eletricamente próximos ao banco a ser energizado, devem ser analisadas as hipóteses de energização na configuração *back-to-back* de todos os bancos de um mesmo barramento, a fim de quantificar o nível das suas sobretensões e os níveis das sobretensões e sobrecorrentes nos barramentos dos demais bancos que possam ser amplificados em função das condições ressonantes do sistema;
- (b) devem ser quantificadas as sobretensões nos terminais remotos das linhas de transmissão com baixo carregamento, conectadas radialmente ao barramento do banco ou terminadas por transformadores levemente carregados;
- (c) para cada manobra estatística, devem ser realizadas duas simulações determinísticas para:
 - (1) detalhar no tempo a máxima tensão; e
 - (2) detalhar no tempo a máxima corrente de energização do banco de capacitores.

2.5.4.1.12. Religamento tripolar:

- (a) os estudos de religamento tripolar avaliam as sobretensões transitórias e as energias dissipadas nos para-raios causadas pelo religamento de linhas de transmissão;
- (b) esses estudos têm o objetivo de estabelecer as condições para a viabilização (por meio do estudo do projeto básico) e ativação (por meio do estudo pré-operacional) desses religamentos, de acordo com os critérios estabelecidos para os estudos de transitórios eletromagnéticos;
- (c) o sistema sob estudo deve ser modelado da seguinte forma:
 - (1) na modelagem das máquinas síncronas existentes na região em análise, devem ser considerados os efeitos subtransitórios e, se houver dados disponíveis, os efeitos de saturação magnética;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (2) caso o trecho em questão seja suficientemente longo e existam linhas em paralelo na mesma faixa de passagem, devem ser considerados os acoplamentos capacitivos mútuos, por meio da representação adequada dos parâmetros das linhas de transmissão no trecho em análise, bem como as transposições existentes; e
- (3) os defeitos devem ser representados por curtos-circuitos francos fase-terra.
- (d) devem ser analisadas somente as indisponibilidades dos reatores manobráveis;
- (e) devem ser simulados religamentos com e sem sucesso;
- (f) devem ser realizadas simulações determinísticas para a condição mais crítica de religamento com os para-raios representados;
- (g) nos estudos de religamento tripolar, deve ser observada a seguinte sistemática:
 - (1) aplicar defeito monofásico franco em um dos terminais da linha;
 - (2) se houver compensação série na linha a ser religada, e utilizar as informações detalhadas do equipamento, obtidas do “como efetivamente implantados” conforme Submódulo 7.3, ou na falta destes dados, informadas pelo agente responsável;
 - (3) caso as informações que permitam identificar o tempo necessário para o *bypass* do banco, após a aplicação de defeito, não estejam disponíveis, realizar *by-pass* do capacitor série no terminal da linha do defeito considerando os seguintes tempos:
 - (i) bancos de capacitores com *gap* de disparo forçado: 10 ms após a aplicação do defeito próximo ao capacitor ou 40 ms após a aplicação do defeito remoto ao capacitor;
 - (ii) bancos de capacitores desprovidos de *gap*: acrescentar aos tempos anteriores o tempo de fechamento do disjuntor de *by-pass*.
 - (4) realizar a abertura tripolar do terminal mais próximo do defeito, conforme o tempo previsto pela proteção de linha;
 - (i) na falta dessa informação do sistema de proteção, utilizar o valor indicado na Tabela 2.
 - (5) realizar a abertura tripolar do terminal oposto ao defeito no tempo de transferência de disparo previsto pela proteção de linha;
 - (i) na falta dessa informação, utilizar o tempo de 20 ms após a abertura do terminal mais próximo da falta.
 - (6) nos casos de religamento com sucesso, para representar a carga residual da linha aberta, manter o curto-circuito aplicado na linha após sua total abertura, eliminá-lo em um tempo da ordem de três ciclos após a abertura da última fase e considerar um tempo morto de até 500 ms;
 - (7) se houver compensação série na linha, reinserir os bancos de capacitores série antes do religamento da linha, caso a proteção do equipamento permita;
 - (8) religar a linha por um dos terminais após o tempo morto e seguir os mesmos procedimentos utilizados para energização de linha de transmissão, descritos no item 2.5.4.1.9;
 - (9) nos estudos de projeto básico, adotar o tempo morto de 500 ms; e
 - (10) nos estudos pré-operacionais, definir o tempo morto em função dos resultados obtidos nos estudos de estabilidade eletromecânica.

2.5.4.1.13. Religamento monopolar:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (a) na etapa de projeto básico, os estudos de religamento monopolar têm por finalidade:
- (1) verificar a viabilidade da implementação do religamento monopolar na linha em análise, determinando o tempo morto mínimo para tal;
 - (2) identificar a possibilidade da ocorrência de situações de ressonância, que podem ocorrer inclusive em função do grau de compensação da linha; e
 - (3) identificar a necessidade de utilização de reatores de neutro e/ou outros dispositivos de mitigação de correntes de arco secundário e subsidiar a sua especificação.
- (b) nos estudos de projeto básico, as avaliações de religamento monopolar devem considerar:
- (1) avaliações de regime permanente, visando definir as correntes de arco secundário e a tensão na fase aberta em todas as condições operativas (faixa de frequência de 56 a 66 Hz), com o objetivo de identificar possíveis condições de ressonância na fase aberta e confirmar o atendimento dos critérios relativos à magnitude da corrente de arco secundário;
 - (2) avaliações de transitórios eletromagnéticos envolvendo manobras de extinção do arco secundário (obtenção das curvas de Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT)); e
 - (i) os resultados desta parte do estudo permitirão complementar a análise da probabilidade de extinção do arco secundário nas linhas de transmissão em estudo.
 - (3) estudos de transitórios eletromagnéticos envolvendo manobras de religamento monopolar com sucesso, para determinar os níveis das sobretensões em ambos os terminais das linhas de transmissão analisadas e os níveis de absorção de energia dos para-raios instalados.
- (c) as alíneas (a) a (f) do item 2.5.4.1.12 aplicam-se também aos estudos de religamento monopolar, quando se fecha o terminal remoto, independentemente de existirem circuitos paralelos;
- (d) nos estudos pré-operacionais, os estudos de religamento monopolar devem quantificar os valores de correntes de neutro nas transformações eletricamente próximas à manobra durante a operação desequilibrada, conforme a seguinte sistemática:
- (1) aplicar defeito monofásico franco em um dos terminais da linha;
 - (2) se houver compensação série na linha a ser religada, utilizar as informações fornecidas pelo agente responsável, ou na ausência destas, utilizar os dados do “como efetivamente implantados” e do projeto básico, conforme Submódulo 7.3;
 - (3) caso as informações que permitam identificar o tempo necessário para o *bypass* do banco, após a aplicação de defeito, não estejam disponíveis, realizar *bypass* do capacitor série no terminal da linha do defeito considerando os seguintes tempos:
 - (i) bancos de capacitores com *gap* de disparo forçado: 10 ms após aplicação do defeito próximo ao capacitor ou 40 ms após aplicação do defeito remoto ao capacitor; e
 - (ii) bancos de capacitores desprovidos de *gap*: acrescentar aos tempos anteriores o tempo de fechamento do disjuntor de *by-pass*.
 - (4) realizar a abertura monopolar do terminal mais próximo do defeito, conforme o tempo previsto pela proteção de linha;
 - (i) na ausência dessa informação do sistema de proteção, utilizar o valor indicado na Tabela 2.
 - (5) realizar a abertura monopolar do terminal oposto ao defeito no tempo de transferência de disparo previsto pela proteção de linha;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (i) na ausência dessa informação, utilizar o tempo de 20 ms após a abertura do terminal mais próximo da falta.
- (6) nos casos de religamento com sucesso, para representar a carga residual da linha aberta, manter o curto-circuito aplicado na linha após sua total abertura, eliminá-lo em um tempo da ordem de três ciclos após a abertura da última fase e considerar um tempo morto de até 500 ms;
- (7) se houver compensação série na linha, reinserir os bancos de capacitores série antes do religamento da linha, caso a proteção do equipamento permita;
- (8) religar a linha por um dos terminais após o tempo morto e seguir a mesma sistemática utilizada para energização de linha de transmissão, descrita no item 2.5.4.1.9;
- (9) adotar o tempo morto conforme item 2.5.4.2.3.

2.5.4.1.14. Oscilação subsíncrona e estimação da perda de vida do eixo de geradores causada por fadiga torcional:

(a) considerações gerais:

- (1) a terminologia empregada nos estudos de oscilação subsíncrona e de estimação da perda de vida do eixo de geradores causada por fadiga torcional é definida em [8];
- (2) as oscilações subsíncronas englobam basicamente dois fenômenos:
 - (i) ressonância subsíncrona, que tem origem nos sistemas compensados por capacitores série; e
 - (ii) oscilações subsíncronas dependentes de controladores de ação rápida (*Device dependent subsynchronous oscillation*).
- (3) a fadiga torcional é o resultado da perda cumulativa de vida do eixo mecânico turbina-gerador, que tem sua origem nos elevados torques transitórios aos quais o eixo turbina-gerador fica sujeito durante sua vida útil.
 - (i) as causas dos elevados torques transitórios estão relacionadas às faltas e manobras no sistema elétrico, notadamente, aos religamentos de linha; e
 - (ii) a presença de capacitores série eletricamente próximos aos geradores térmicos, mesmo sem demandar medidas mitigadoras, tende a elevar os níveis dos torques transitórios no eixo dos geradores.

(b) diretrizes:

- (1) os estudos de ressonância subsíncrona devem ser efetuados sempre que os bancos de capacitores série, existentes ou planejados, impõem riscos à integridade dos eixos turbina-gerador das máquinas térmicas eletricamente próximas, existentes ou planejadas;
- (2) os estudos devem investigar os seguintes fenômenos de autoexcitação dos geradores térmicos:
 - (i) efeito gerador de indução; e
 - (ii) interação torcional.
- (3) devem também avaliar os impactos torcionais sobre o eixo turbina-gerador causados pelo fenômeno de torque transitório, isto é, pela amplificação de torque, e quantificar a perda de vida útil dos eixos envolvidos e o risco de dano por fadiga mecânica desses eixos;
- (4) os estudos de oscilações subsíncronas dependentes de controladores de ação rápida devem ser realizados sempre que os sistemas de corrente contínua em alta tensão (CCAT), controladores

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Flexible AC Transmission Systems (FACTS), excitatrizes estáticas etc. possam interagir de forma a excitar os modos torcionais dos eixos turbina-gerador de máquinas térmicas eletricamente próximas, existentes ou planejadas;

- (i) normalmente, nesses casos, a mitigação dos possíveis impactos sobre o eixo turbina-gerador pode ser feita por meio do reajuste dos sistemas de controle dos equipamentos envolvidos.
- (5) os estudos de efeito gerador de indução e interação torcional devem ser desenvolvidos no domínio da frequência com a utilização das seguintes técnicas: análise de resposta em frequência ou, alternativamente, análise de autovalores:
 - (i) eventuais simulações no domínio do tempo devem incorporar o acoplamento bilateral do eixo turbina-gerador/sistema de potência;
 - (ii) para efeitos de análise do fenômeno de interação torcional, devem ser considerados os amortecimentos modais do eixo turbina-gerador na condição sem carga, na qual os amortecimentos no eixo turbina-gerador são mínimos, e os riscos de desestabilização torcional, maiores;
 - (iii) as configurações radiais entre a linha de transmissão compensada e o gerador térmico sempre merecem atenção especial por conduzirem usualmente a casos severos; e
 - (iv) os riscos dessas configurações degradadas, que conduzem a casos severos, devem ser explicitados.
- (6) o resultado das análises apresentadas nos itens 2.4.5 e 2.4.7 pode exigir um estudo mais detalhado com a utilização de modelo computacional “massa-mola” da máquina, obtido junto ao fabricante, a ser realizado pelo agente responsável para análise dos transitórios eletromagnéticos, com a quantificação dos torques transitórios máximos e a obtenção de uma estimativa de perda de vida do eixo em decorrência da fadiga torcional;
- (7) os estudos de torques transitórios devem ser realizados no domínio do tempo, considerando a modelagem do eixo turbina-gerador e o seu acoplamento bilateral com o sistema de potência;
- (8) na realização dos estudos de oscilação subsíncrona e de estimação da perda de vida do eixo turbina-gerador das máquinas térmicas, deve ser empregada metodologia correspondente à etapa de cálculos e simulações computacionais, considerando os seguintes aspectos:
 - (i) redução do sistema turbina-gerador a um sistema equivalente multimassas de ordem reduzida, representado pelas inércias, pela constante de rigidez entre seções do eixo (*shaft stiffness*) e pelos coeficientes de amortecimento obtidos por cálculo, estimativa ou medição;
 - (ii) cálculo dos modos de oscilação do conjunto turbina-gerador, frequências naturais torcionais, fatores de interação modal (*mode shapes*), inércias modais e coeficientes de amortecimento modal obtidos por cálculo, estimativa ou medição;
 - (iii) verificação de possíveis condições de autoexcitação elétrica, que podem originar-se do efeito gerador de indução e da interação torcional, por comparação da resposta em frequência vista do neutro do gerador, isto é, a partir do rotor em direção ao resto do sistema elétrico. Alternativamente, a técnica de análises por autovalores pode também ser utilizada para esse propósito;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (iv) determinação dos impactos torcionais, ou seja, dos torques transitórios máximos causados por aplicação de diferentes tipos de defeitos, condições degradadas do sistema elétrico, diferentes tempos de abertura de linhas de transmissão após a ocorrência de defeito, religamento monopolar e tripolar com e sem sucesso, fechamento fora de sincronismo;
- (v) os estudos descritos no item anterior 2.5.4.1.14.(b)(8)(iv) devem ser realizados com e sem a representação de eventuais bancos de capacitores série, existentes ou planejados, que aumentem os torques transitórios nos eixos dos geradores. Para cada evento simulado devem ser pesquisadas as piores condições em termos do ponto da ocorrência de defeito, instante de fechamento dos polos dos disjuntores e de manutenção ou reacendimento de arco (para os casos de religamento sem sucesso). Outros fatores, tais como saturação de equipamentos, disjuntores equipados com resistores de pré-inserção ou sincronizadores, varistores de óxido metálico etc. devem ser representados;
- (vi) estimativa da perda de vida das seções de eixo em função da fadiga torcional por meio do método de *rainflow cycles*.
- (9) na estimativa da perda de vida das seções de eixo em função da fadiga torcional, devem ser considerados os seguintes parâmetros, além de outros que o agente responsável julgar necessário:
 - (i) rigidez estática do material do eixo;
 - (ii) diâmetros interno e externo de cada seção;
 - (iii) fatores de redução da rigidez decorrentes da rugosidade do eixo;
 - (iv) fatores de redução da rigidez por conta dos pontos de concentração de *stress*; e
 - (v) fatores de redução da rigidez por conta da dimensão das várias seções retas do eixo.
- (10) para os diversos eventos simulados, devem ser apresentados os seguintes resultados sob forma de tabelas comparativas e registros gráficos:
 - (i) valores estatísticos do torque eletromagnético e do torque mecânico nas várias seções de eixo (torques máximo, médio e desvio padrão);
 - (ii) percentuais de perda de vida das seções de eixo decorrentes da fadiga torcional;
 - (iii) curvas torque versus tempo, relativas aos piores casos simulados; e
 - (iv) histogramas comparativos das distribuições de probabilidade dos valores de torque mecânico máximo.

2.5.4.2. Estudos determinísticos

2.5.4.2.1. Os estudos determinísticos devem ser realizados naquelas situações em que se procede à quantificação das solicitações transitórias com base na simulação de parâmetros e nas características previamente definidas dos equipamentos, notadamente, na operação de abertura de disjuntores ou reprodução dos piores casos de um estudo estatístico.

2.5.4.2.2. Rejeição de carga:

- (a) os estudos de rejeição de carga visam identificar as piores situações de sobretensão para esse tipo de manobra, sendo essas sobretensões individualizadas em duas fases distintas:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|--|------------|------------------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (1) transitórias, que ocorrem nos primeiros ciclos após a rejeição; e
 - (2) temporárias, que se desenvolvem nos ciclos subsequentes;
- (b) a rede deve ser representada de forma a reproduzir a situação de fluxo máximo de potências ativa e reativa na linha de transmissão ou transformador, com fluxo injetado pelas fontes ou equivalentes de rede alimentando as cargas rejeitadas;
- (c) nos estudos de projeto básico, a rejeição deve levar em conta os fluxos da ordem da capacidade da linha de transmissão, mesmo que esse fluxo seja superior ao praticado pela operação do sistema e que tenha de ser artificialmente aumentado; nesses estudos devem ser simuladas a rejeição sem aplicação de defeito e a rejeição com a aplicação de defeito monofásico posterior à rejeição, no instante de máxima tensão;
- (d) para determinar as sobretensões transitórias e energias absorvidas pelos para-raios, devem ser simuladas rejeições de carga com e sem a aplicação de curtos-circuitos monofásicos nos pontos onde ocorrer a rejeição;
- (e) a indisponibilidade dos reatores dever ser restrita somente às unidades manobráveis;
- (f) nos estudos pré-operacionais, nos eventos de aplicação de curto-circuito, devem ser simulados casos em que se considerem as hipóteses da ocorrência do curto-circuito antes e após a rejeição; para tais situações, o instante de tempo de ocorrência da falta corresponde, respectivamente, ao do valor máximo (pico) da senóide na frequência fundamental e ao do valor máximo da sobretensão transitória após abertura;
- (g) nos estudos de recomposição, a rejeição de carga tem como objetivo definir os montantes máximos da tomada fluente de carga e a configuração mínima dos reatores do sistema;
- (h) deve ser considerada a hipótese de ocorrerem rejeições de carga totais (ou parciais, em casos específicos), simultâneas ou não, quando o sistema estiver operando com sua configuração completa, em contingência, ou ainda, quando estiver em processo de recomposição, após perturbação geral ou parcial;
- (i) devem ser consideradas, de acordo com o arranjo da subestação, as hipóteses de abertura simples e dupla de linhas de transmissão;
- (j) para efeitos das simulações computacionais, são consideradas como aberturas simples:
- (1) abertura dos disjuntores conectados a um dos terminais de uma linha;
 - (2) abertura dos disjuntores conectados a um dos terminais de uma linha pertencente a um conjunto de linhas paralelas situadas em torres distintas;
 - (3) abertura simultânea, na mesma subestação (no mesmo nível de tensão), dos disjuntores conectados aos terminais de duas linhas situadas na mesma torre, que leve à ocorrência de circuitos radiais em vazio, alimentados a partir de uma única subestação (no mesmo nível de tensão); e
 - (4) abertura simultânea, na mesma subestação (no mesmo nível de tensão), dos disjuntores conectados aos terminais de duas linhas paralelas na mesma torre (circuito duplo), cujo arranjo da subestação possibilite a sua abertura a partir de um único evento que leve à ocorrência de circuitos radiais em vazio, alimentados a partir de uma única subestação (no mesmo nível de tensão).
- (k) para efeitos das simulações computacionais, são consideradas como aberturas duplas:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|--|------------|------------------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (1) abertura simultânea, na mesma subestação (no mesmo nível de tensão), dos disjuntores conectados aos terminais de duas ou mais linhas paralelas situadas em torres distintas, que leva à ocorrência de circuitos radiais em vazio alimentados a partir de uma única subestação (no mesmo nível de tensão); e
- (2) abertura simultânea, em duas subestações adjacentes, dos disjuntores conectados aos terminais de duas linhas quaisquer, que leva à ocorrência de circuitos (ou trechos) radiais em vazio alimentados a partir de uma única subestação (no mesmo nível de tensão).
- (l) na definição dos intervalos de tempo utilizados na simulação, para a abertura dos disjuntores com o objetivo de eliminar o curto, deve-se considerar o tempo total de atuação da proteção e o próprio tempo de abertura do disjuntor;
 - (1) deve ser também considerar a abertura do terminal remoto da linha por transferência de disparo da proteção.
- (m) nos estudos pré-operacionais, devem ser pesquisadas as sequências de abertura das fases do disjuntor e escolhidas as que produzirem as maiores sobretensões transitórias;
- (n) nos casos de rejeição decorrente de curto-circuito fase-terra, pode-se admitir a atuação da proteção de sobretensão; e
- (o) não deve ser admitida a superação dos limites estabelecidos pelo fabricante e informados pelo agente responsável para os níveis de corrente drenada e de energia absorvida pelos para-raios de óxido metálico expostos à manobra.

2.5.4.2.3. Extinção de arco secundário no religamento monopolar:

- (a) soluções técnicas devem ser priorizadas, no sentido de garantir uma probabilidade adequada de sucesso na extinção do arco secundário em tempos inferiores a 500 ms, conforme critério estabelecido no item 2.6.10.1;
- (b) nos casos em que for demonstrada por meio de estudos a inviabilidade técnica de atender a diretriz do item anterior 2.5.4.2.3.(a), pode-se optar pela utilização do critério do item 2.6.10.2 para tempos de extinção superiores a 500 ms;
- (c) nos casos em que somente a solução técnica para tempo morto acima de 500 ms é possível, devem ser avaliadas as implicações de natureza dinâmica para Rede Básica, advindas da necessidade de operar com tempo morto mais elevado;
- (d) devem ser evitadas soluções que possam colocar em risco a segurança do sistema elétrico, como a utilização de chaves de aterramento rápido em terminais de linha adjacentes a unidades geradoras, onde a ocorrência de curtos-circuitos devido ao mau funcionamento dos equipamentos e dos sistemas de proteção e controle possa causar severos impactos à rede;
- (e) devem ser utilizadas preferencialmente soluções de engenharia que não demandem equipamentos com fabricação especial, tais como reatores de neutro que resultem em isolamento superior a 72,5 kV para o neutro de reatores em derivação; e
- (f) nos estudos pré-operacionais, a definição do tempo morto do religamento deve ser realizada com base nos estudos dinâmicos, nos ajustes de proteção, na existência de circuitos paralelos e na existência de outros condicionantes operacionais.

2.5.4.2.4. Tensão de Restabelecimento Transitória (TRT):

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(a) considerações gerais:

- (1) a condição de falta em regime permanente deve ser calculada pelo programa de cálculo de curto-circuito para a condição de linha desconectada (*line-out*);
- (2) para definição do caso base, os equivalentes do sistema (impedâncias equivalentes) devem ser calculados conforme item 2.5.5; e
- (3) a condição de polo preso de disjuntor não deve ser considerada.

(b) questões aplicáveis à abertura de faltas:

- (1) linhas de transmissão: devem ser representadas por um modelo de parâmetros distribuídos sem correção no domínio da frequência;
- (2) transformadores e reatores: pode-se desconsiderar na modelagem o efeito da saturação, as perdas no ferro, a correção da impedância de curto-circuito com a frequência e as capacitâncias internas;
- (3) para abertura de disjuntores que manobram transformadores, as capacitâncias para terra e entre enrolamentos, quando disponíveis, devem ser consideradas para transformadores trifásicos e monofásicos, em conjunto com a impedância de curto-circuito, de forma a representar, aproximadamente, as frequências naturais de oscilação do transformador;
- (4) reatores: uma capacitância equivalente em paralelo à reatância indutiva pode ser adotada, de forma a reproduzir a frequência natural de oscilação do reator;
- (5) as cargas não necessitam ser representadas;
- (6) as capacitâncias concentradas dos elementos conectados aos barramentos de ambos os terminais do disjuntor, como por exemplo, transformadores de instrumento e filtros, devem ser consideradas; e
- (7) o arco elétrico no disjuntor não deve ser representado.

(c) curto-circuito nos terminais do disjuntor (lado linha e lado barra):

- (1) a falta terminal trifásica não aterrada, com observação da abertura do primeiro polo do disjuntor, deve ser considerada; e
- (2) nos estudos de projeto básico, devem também considerar adicionalmente, no mínimo, os defeitos trifásico aterrado e monofásico.

(d) defeito quilométrico:

- (1) as faltas quilométricas, com foco no último polo a interromper, devem ser consideradas [9][10];
- (2) a falta deve ser aplicada a uma distância do terminal da linha, de forma a se obter uma corrente de aproximadamente 90% da falta terminal correspondente; e
- (3) caso o disjuntor analisado seja de tecnologia a ar-comprimido, o valor da corrente de falta a ser pesquisado é de aproximadamente 75% da falta terminal correspondente e para disjuntores a óleo, esse valor é de 60%.

(e) abertura de linha em vazio:

- (1) atenção especial deve ser dada à modelagem de componentes nos terminais da linha que possam contribuir para o escoamento de sua carga residual, quando a linha é desconectada da rede;
 - (i) exemplo típico é a existência de transformador de potencial (TP) indutivo ou reator em derivação conectado diretamente na linha.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (2) a linha deve ser manobrada nas diferentes condições de compensação reativa previstas;
- (3) nos estudos de projeto básico, essa situação deve ser simulada com as fontes ajustadas na frequência fundamental (60 Hz) e com tensão de pré-manobra igual à máxima tensão operativa da rede, com aplicação de falta monofásica e abertura das fases são:
 - (i) caso a região do sistema onde o disjuntor será instalado esteja sujeita a sobrefrequências em regime dinâmico, a simulação de abertura de linha a vazio deve considerar a máxima sobrefrequência identificada nos estudos.
 - (ii) devem ser identificados a máxima corrente capacitiva a ser interrompida e os valores de TRT aos quais o disjuntor fica sujeito, comparando-os com a sua especificação.

(f) abertura de banco de capacitores em derivação:

- (1) a condição de potência de curto-circuito reduzida na subestação onde o banco está instalado deve ser analisada, no intuito de maximizar sua influência na crista da TRT capacitiva.

(g) manobra em discordância de fases:

- (1) o objetivo dos estudos de manobra em discordância de fases é verificar a solicitação máxima de tensão através do polo do disjuntor nesta condição de manobra;
- (2) o limite máximo da tensão através do disjuntor manobrado, estabelecido no projeto básico e refletido na especificação do disjuntor, deve ser observado;
 - (i) na falta dessa informação, os valores normalizados para a classe de tensão do disjuntor devem ser adotados como limite.
- (3) nos estudos de projeto básico, deve ser identificada a condição mais crítica de tensão através dos polos do disjuntor, imposta pela rede para abertura em discordância de fases.
 - (i) a abertura durante defasagens angulares “sistêmicas” inferiores a 180° pode, eventualmente, ocasionar solicitações de TRT superiores àquelas definidas em norma, por classe de tensão e com o fator de 1º polo normalizado, para a abertura em oposição de fases dos disjuntores;
 - (ii) nesses casos, pode ser necessário maior refinamento da modelagem e, em algumas situações, investigações de caráter eletromecânico (tensão e ângulo) do contexto no qual se dará a efetiva abertura do disjuntor.

2.5.4.2.5. Estudo de interrupção de corrente de curto-circuito com elevado grau de assimetria:

- (a) estudos para determinação da corrente de curto-circuito são necessários em situações de disjuntores localizados próximos a usinas, nas vizinhanças das quais a ocorrência de falta geralmente ocasiona uma corrente de curto-circuito com elevado grau de assimetria;
- (b) é necessária a investigação do grau de assimetria da corrente de curto-circuito (X/R), que deve ser considerada na especificação do equipamento;
- (c) a componente simétrica e a assimetria da corrente de curto-circuito (X/R) devem ser determinadas para as condições de curto trifásico simultâneo nas três fases e curto monofásico para inclusão como requisitos para disjuntores e equipamentos associados;
- (d) em situações específicas de operação de máquinas síncronas, aliadas a ocorrência de faltas trifásicas evolutivas, podem ocorrer elevadas assimetrias que acarretam retardo da primeira passagem pelo zero da corrente de curto-circuito;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (1) este fenômeno, de baixíssima probabilidade de ocorrência, pode eventualmente se manifestar em situações de suprimento a cargas puramente capacitivas, devendo ser investigado para os casos de compensadores síncronos e de unidades geradoras que operem como síncronos.

2.5.4.2.6. Estudo de correntes induzidas por linhas de transmissão em chaves seccionadoras com lâminas de terra:

(a) considerações gerais:

- (1) o estudo de de correntes/tensões induzidas por linhas de transmissão em chaves de aterramento com lâminas de terra é necessário em situações de circuitos paralelos de linhas de transmissão situados na mesma faixa de passagem ou em caso de torre com circuito duplo;
- (2) quando uma das linhas está fora de serviço e aterrada por lâminas de terra de seccionadores, a abertura da linha para sua recolocação em serviço submete a chave de terra a uma operação de interrupção da corrente induzida;
- (3) a chave, além de ser solicitada a interromper a corrente induzida, deve suportar a TRT advinda da interrupção dessa corrente.

(b) diretrizes:

- (1) as linhas de transmissão envolvidas devem ser modeladas por parâmetros distribuídos;
- (2) os acoplamentos entre fases de todas as linhas envolvidas devem ser considerados;
- (3) a condição de carregamento da linha paralela deve ser a mais desfavorável possível em termos da indução de corrente, ou seja, a operação com máximo carregamento limitada à capacidade da linha;
- (4) não deve ser considerada a hipótese de curto-circuito na linha paralela no instante de abertura da chave de terra.

2.5.5. Representação equivalente da rede elétrica

2.5.5.1. Considerações gerais

2.5.5.1.1. O equivalente de um sistema elétrico é a representação ou modelagem matemática de um sistema ou de partes desse sistema, por meio de suas impedâncias de curto-circuito ou, alternativamente, por meio de impedâncias que reproduzam o comportamento da rede em função da frequência, de sequência zero e de sequência positiva, vistas a partir das barras de fronteira.

2.5.5.2. Diretrizes

2.5.5.2.1. Para a definição das barras de fronteira, devem-se escolher pontos da rede nos quais o circuito equivalente, representado pelas impedâncias de curto-circuito próprias e de transferência, tenha uma influência mínima sobre o comportamento transitório do restante do sistema, representado em detalhes no estudo.

2.5.5.2.2. Entre a(s) barra(s) focalizada(s) no estudo e as barras de fronteira devem existir, pelo menos, 2 outras barras.

2.5.5.2.3. Nos casos em que for utilizado equivalentes calculados em uma única frequência (frequência fundamental), os equivalentes devem ser representados por circuitos RL mutuamente acoplados, que podem ser obtidos a partir das impedâncias de curto-circuito de sequência zero e de sequência positiva.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.5.5.2.4. Um componente físico ou parte do sistema elétrico deve ser modelado, considerando a dependência da impedância do equipamento ou da rede em relação à frequência nas situações em que o fenômeno estudado ou particularidades do sistema a ser representado impuserem tal necessidade.

2.5.5.2.5. Nas simulações que incluem, por exemplo, a análise de ressonância, deve-se representar a impedância da rede elétrica por sua resposta em frequência, $Z(j\omega)$, ou por uma síntese da rede, de tal forma que a resposta em frequência do circuito equivalente seja similar à da rede elétrica original.

2.5.5.2.6. A validação dos equivalentes e da própria rede representada, com base na frequência fundamental, deve ser realizada por comparação dos valores de correntes de curtos-circuitos monofásico e trifásico, obtidos no programa de transitórios, com os resultados do programa de cálculo de curto-circuito.

2.5.5.2.7. Os pontos de aplicação dos defeitos devem ser escolhidos de forma a abranger os barramentos de manobra e outros julgados relevantes.

2.5.6. Diretrizes para estudos em sistemas CC

2.5.6.1. As diretrizes para os estudos relativos ao dimensionamento de elos CC, bem como aqueles que dizem respeito à interação CA/CC e afetam o seu dimensionamento, estão apresentados no Submódulo 2.8 – Requisitos mínimos para elo em corrente contínua.

2.5.6.2. Os estudos de oscilações subsíncronas dependentes de equipamentos devem avaliar se o sistema CC excitará oscilações de ordem mecânica, eletromecânica ou de frequência natural dos geradores e turbinas, individualmente ou em conjunto, e devem identificar possíveis soluções para o problema.

2.5.6.3. Os estudos de sobretensões temporárias e sobretensões por ferroressonância devem determinar o nível máximo de sobretensão na frequência fundamental e estabelecer a característica e a faixa para o controle dessa sobretensão, de forma a evitar que a sobretensão atinja o limite dos equipamentos CA e CC e/ou provoque autoexcitação de geradores.

2.5.6.4. Os estudos de proteção de sobretensões e coordenação de isolamento devem determinar os níveis das sobretensões e as condições de coordenação de isolamento para todos os equipamentos CA e CC envolvidos.

2.5.7. Conteúdo dos relatórios técnicos do estudo

2.5.7.1. O relatório técnico deve conter:

- (a) objetivo do estudo: justificativa sob a ótica do acesso, projeto básico e da operação, da necessidade de realização do estudo com vistas a quantificar as solicitações transitórias decorrentes de manobras;
- (b) descrição da rede elétrica representada no detalhe e dos equivalentes em 60Hz (ou em frequência):
 - (1) identificação da modelagem utilizada por tipo de equipamento;
 - (2) identificação dos barramentos de fronteira e equivalentes associados;
 - (3) apresentação do diagrama unifilar da rede modelada para estudos de transitórios eletromagnéticos com a indicação dos pontos de conexão dos equivalentes; e
 - (4) Tabela de validação da rede modelada, conforme item 2.5.5.2.6.
- (c) diretrizes de simulação e critérios para análise dos resultados:
 - (1) descrição do procedimento empregado na simulação de cada tipo de manobra;
 - (2) identificação dos critérios utilizados para análise dos resultados, conforme descrito no item 2.6;
 - (3) explicitação das simplificações efetuadas e das premissas adotadas no estudo.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|--|------------|------------------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(d) descrição das manobras simuladas:

- (1) identificação das condições do sistema (carregamento, indisponibilidades, tensões pré-manobra) em cada uma das manobras simuladas;
- (2) apresentação dos registros gráficos e das tabelas dos resultados.

(e) tabelamento de resultados estatísticos: apresentação das tabelas estatísticas que contenham os valores máximo, médio, desvio padrão, bem como a probabilidade de os valores de cada grandeza a ser monitorada serem excedidos em 2%;

(f) tabelamento de resultados determinísticos: apresentação das tabelas determinísticas que contenham os valores necessários à realização de análises específicas, como por exemplo, valor eficaz, valor máximo, intervalos de tempo, derivada no tempo etc;

(g) quantificação das correntes de neutro durante o período de operação desequilibrada causados pelo religamento monopolar (curvas corrente instantânea e eficaz versus tempo) para as transformações na área de influência da manobra.

(h) análise dos resultados:

- (1) identificação das condições mais críticas referentes aos valores máximos das solicitações transitórias, de acordo com o tipo de manobra;
- (2) valores limite das tensões pré-manobra que não acarretem a violação dos critérios;
- (3) configurações topológicas mais críticas, considerando a indisponibilidade simples de equipamento.

(i) conclusões e providências para os estudos pré-operacionais:

- (1) informação se foram ou não superadas as características de suportabilidade dos equipamentos analisados no estudo e sob quais condições;
- (2) estabelecimento das condições operativas limite para execução das manobras sem risco aos equipamentos.

(j) conclusões e providências para os estudos de projeto básico:

- (1) identificação das solicitações de rede sobre os equipamentos das instalações novas e existentes;
- (2) explicitação dos níveis de isolamento e das características básicas dos equipamentos que decorram de solicitações transitórias, tais como, tensão suportável a impulso de manobra, sobretensão sustentada e energia de para-raios.

(k) referências: como por exemplo, estudos e relatórios de ensaio ou de dados dos equipamentos fornecidos pelo agente responsável, documentação com dados dos equipamentos fornecida pelo agente etc;

(l) anexos: apresentação dos dados da rede elétrica estudada, do registro gráfico das formas de onda e das demais figuras empregadas no estudo.

2.5.7.2. Todos os arquivos de simulação utilizados nos estudos, aptos para pronta execução, devem ser disponibilizados ao ONS, em formato compatível com as ferramentas computacionais utilizadas pelo ONS, conforme descrito no documento de metodologia deste submódulo.

2.6. Critérios para estudos de transitórios eletromagnéticos sob condições de manobra

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.6.1. Considerações gerais

2.6.1.1. Nos estudos de projeto básico deve ser verificado se as características básicas dos equipamentos e instalações atendem às normas específicas, aos requisitos mínimos do Submódulo 2.6 – Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos e às exigências dos editais de licitação de serviço público de transmissão da ANEEL.

2.6.1.2. Nos estudos pré-operacionais, deve ser verificada a observância às suportabilidades dos equipamentos, garantidas pelos fabricantes e fornecidas pelos agentes.

2.6.1.3. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de transitórios eletromagnéticos* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

2.6.2. Critérios relativos aos para-raios

2.6.2.1. A energia dissipada, a corrente drenada pelos para-raios e as sobretensões temporárias, *Temporary overvoltage* (TOV), durante as manobras não podem ser superiores àquelas garantidas pelo fabricante e fornecidas pelo agente.

2.6.2.2. Com relação aos para-raios convencionais, devem ser observados os seguintes aspectos:

- (a) para-raios há muito tempo em operação: considerar um fator de envelhecimento (0,95) referente a uma possível redução na tensão de disparo do *gap*, sendo a tensão de disparo definida conforme Equação (3).

$$(3) V_d = (1,20 \text{ a } 1,35) \times \sqrt{2} \times V \times 0,95 \text{ fase - terra(pico)},$$

sendo V é a tensão nominal (eficaz) do para-raios.

- (b) as manobras que provocam operação de para-raios sem *gap* ativo são permitidas nos casos em que não há outra alternativa de manobra e as tensões, após o disparo, permitem a atuação dos para-raios sem que a energia dissipada por eles ultrapasse os valores garantidos pelos fabricantes e fornecidos pelos agentes;
- (c) as manobras que provocam operação de para-raios com *gap* ativo são permitidas nos casos em que as energias dissipadas por eles não ultrapassam os valores garantidos pelos fabricantes e fornecidos pelos agentes.

2.6.2.3. Com relação aos para-raios de óxido metálico, devem ser observados os seguintes aspectos:

- (a) nos estudos de projeto básico, a característica típica de para-raios “tensão versus corrente” ($V \times I$), para o nível de tensão da instalação, deve ser obtida preferencialmente dos catálogos de fabricantes;
- (b) nos estudos pré-operacionais, para maximização da energia dissipada pelos para-raios durante uma manobra, deve ser utilizada a curva característica $V \times I$ mínima, obtida das curvas características $V \times I$ garantidas pelo fabricante e fornecidas pelo agente.

2.6.3. Critérios para os transformadores e autotransformadores

2.6.3.1. Suportabilidade a sobretensões de manobra

2.6.3.1.1. Durante as manobras, os transformadores e autotransformadores podem ser submetidos a sobretensões no máximo iguais àquelas garantidas pelos fabricantes e fornecidas pelos agentes.

2.6.3.1.2. Na falta dessa informação, devem ser utilizados os valores indicativos apresentados na Tabela 5.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Tabela 5 – Valores indicativos de sobretensões de manobra admissíveis para transformadores e autotransformadores em vazio

| Tensão (pu) ⁽¹⁾ | Tempo (s) |
|----------------------------|--------------------|
| 2,0 | 0,1667 (10 ciclos) |
| 1,82 | 0,3333 (20 ciclos) |
| 1,50 | 1,667 (100 ciclos) |
| 1,40 | 3,6 |
| 1,35 | 10 |
| 1,25 | 20 |
| 1,20 | 60 |
| 1,15 | 480 |
| 1,10 | Regime |

(1) Valores em pu tendo por base a tensão da derivação (valor eficaz de tensão pelo qual o tape é designado na tabela de derivação do transformador).

2.6.3.1.3. Para tempos inferiores a 10 ciclos da frequência fundamental, o valor das tensões transitórias não deve ser superior ao nível de isolamento dos equipamentos, com uma margem de segurança de 15%.

2.6.4. Critérios para os reatores em derivação

2.6.4.1. Suportabilidade a sobretensões de manobra

2.6.4.1.1. Durante as manobras, os reatores em derivação podem ser submetidos a sobretensões no máximo iguais àsquelas garantidas pelos fabricantes e fornecidas pelos agentes.

2.6.4.1.2. Na falta dessa informação, devem ser utilizados os valores indicativos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores indicativos de sobretensões de manobra admissíveis para reatores em derivação

| Tensão (pu) ⁽¹⁾ | Tensão (pu) ⁽²⁾ | Tempo (s) |
|----------------------------|----------------------------|-----------|
| 2,0 | 2,10 | 0,1667 |
| 1,82 | 1,91 | 0,3333 |
| 1,50 | 1,57 | 1,667 |
| 1,40 | 1,47 | 3,6 |
| 1,05 | 1,10 | Regime |

(1) Valores em pu para tensão base de 230, 345, 440 e 525kV.

(2) Valores em pu para tensão base de 500kV.

2.6.4.1.3. Para tempos inferiores a 10 ciclos da frequência fundamental, o valor das tensões transitórias não deve ser superior ao nível de isolamento dos equipamentos, com uma margem de segurança de 15%.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.6.5. Critérios para os bancos de capacitores em derivação

2.6.5.1. Os transitórios de energização de capacitores em derivação não devem afetar o desempenho da rede.

2.6.5.2. A manobra de energização não deve provocar operação indevida das proteções de sobrecorrente ou sobretensão.

2.6.5.3. O valor máximo da corrente de *inrush* não deve ultrapassar a suportabilidade dos capacitores do banco e deve estar entre os valores admissíveis para a capacidade de energização de corrente capacitiva dos disjuntores do banco.

2.6.5.4. A operação de para-raios convencionais decorrente da manobra do banco não deve ser admitida.

2.6.6. Critérios para os bancos de capacitores série fixos e controlados

2.6.6.1. Nenhuma manobra pode resultar na superação da energia dissipada máxima, garantida pelo fabricante e fornecida pelo agente, para os capacitores série protegidos por varistores de óxido metálico, *Metal oxide varistor* (MOV).

2.6.7. Critérios para os disjuntores

2.6.7.1. Nas manobras com aberturas de disjuntores, devem ser respeitados os valores garantidos pelo fabricante e fornecidos pelo agente para as tensões de restabelecimento transitórias, as capacidades de interrupção referentes a cada tipo de manobra associada e o grau de assimetria da corrente de curto-circuito.

2.6.7.2. Para as manobras de abertura de linhas de transmissão em vazio, os valores de tensão pré-abertura da linha devem ser previamente determinados para a condição de operação considerada, considerando a ocorrência de curtos-circuitos fase-terra, rejeição de carga com falta na linha, sobrefrequências ou outras condições de sistema relevantes.

2.6.7.3. Os valores da tensão fase-fase pré-manobra não devem ultrapassar os limites máximos admissíveis fornecidos pelos agentes, e na ausência desses dados, devem ser considerados como limites máximos admissíveis os valores indicados na Tabela 4.

2.6.8. Critérios para as máquinas síncronas

2.6.8.1. As máquinas síncronas encontram-se protegidas das sobretensões ocasionadas por manobras na rede devido às limitações impostas pelos equipamentos mais restritivos, como por exemplo, para-raios e transformadores.

2.6.8.2. Para máquinas síncronas eletricamente próximas ao ponto no qual é realizada a manobra, são necessárias averiguações de solicitações eletromagnéticas e mecânicas internas às máquinas.

2.6.8.3. As correntes da armadura e a tensão de campo devem ser inferiores aos valores garantidos pelos fabricantes e fornecidos pelos agentes para as sobrecargas admissíveis no tempo.

2.6.8.3.1. Na falta desses valores, para geradores de polos lisos ou rotor cilíndrico, utiliza-se o gráfico da Figura 1 para avaliar as suportabilidades para curta duração dos enrolamentos de armadura e campo.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

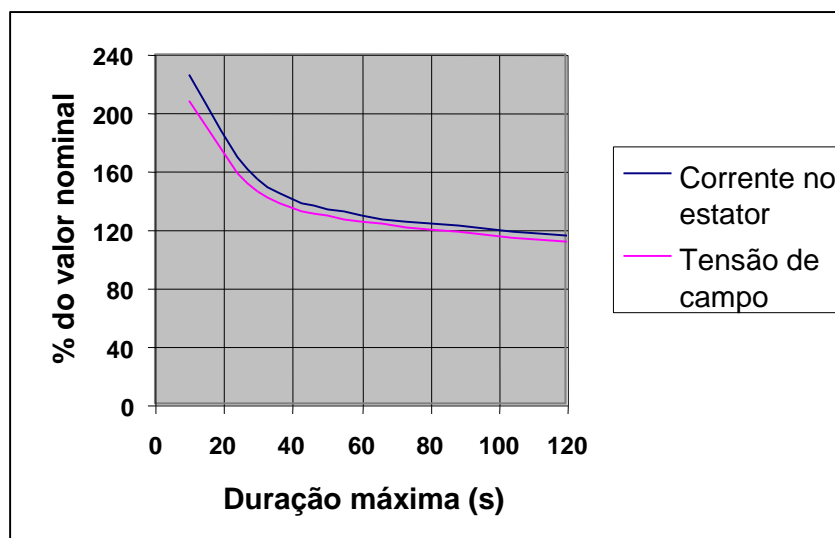


Figura 1 – Suportabilidade de curta-duração para geradores de polo liso [11]

2.6.8.4. A perda de vida no eixo mecânico de turbo-geradores deve ser inferior à fornecida pelo agente e na ausência dessa informação, deve ser inferior a 0,01%.

2.6.9. Critérios para as linhas de transmissão

2.6.9.1. Em nenhum ponto da linha, o pico da tensão transitória pode ser superior ao valor utilizado no projeto da linha de transmissão para a definição do seu nível básico de isolamento.

2.6.9.1.1. O projeto deve estabelecer espaçamentos e cadeias de isoladores, entre outros parâmetros.

2.6.10. Extinção do arco secundário

2.6.10.1. Tempo morto até 500 ms

2.6.10.1.1. O sucesso da extinção do arco secundário no religamento monopolar é caracterizado pelo valor eficaz do último pico da corrente do arco secundário (I_a) e pelo valor do primeiro pico da tensão de restabelecimento transitória (V_p) através do canal do extinto arco.

2.6.10.1.2. Caso o par de valores (V_p , I_a) esteja localizado no interior de uma curva que caracterize a zona de alta probabilidade de extinção do arco secundário, conforme Figura 2, considera-se que o religamento monopolar obteve sucesso.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Primeiro Pico da TRV (kV)

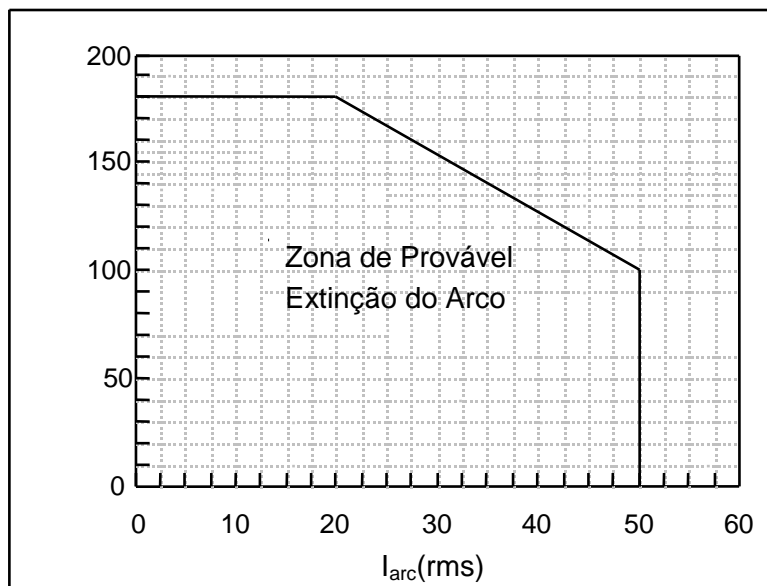


Figura 2 – Curva indicativa para análise da extinção da corrente de arco secundário [12]

2.6.10.2. Tempo morto superior a 500 ms

2.6.10.2.1. Para avaliação do sucesso da extinção do arco secundário no religamento monopolar ou tripolar – este último no caso de circuitos paralelos que induzam tensões no circuito sob estudo – deve ser considerada uma curva de referência, obtida experimentalmente, que relaciona o tempo morto necessário para a extinção do arco secundário com o valor do último pico da corrente de arco, conforme Figura 3.

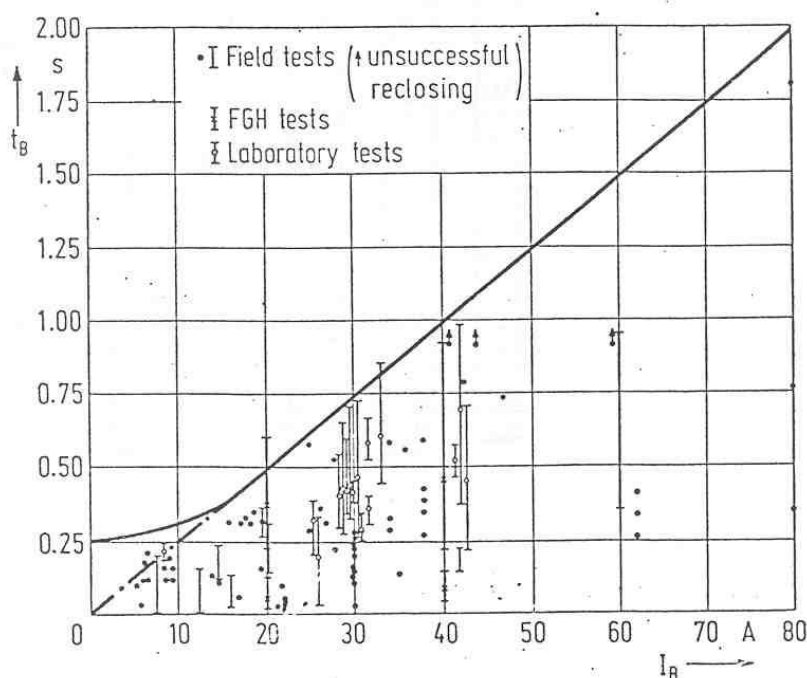


Figura 3 – Curva indicativa de tempo morto para extinção do arco secundário *versus* valor eficaz da corrente de arco secundário, para tensões até 765 kV [13]

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

2.6.10.2.2. Na utilização da curva da Figura 3, as seguintes ações devem ser adotadas:

- (a) por meio das medidas de mitigação, os estudos transitórios devem viabilizar o menor tempo morto possível, limitado ao máximo de 1,25s, que correspondente a uma corrente de arco secundário de até 50A; e
- (b) caso não seja possível obter correntes inferiores a 50A, no tempo morto de até 1,25s, deve ser proposto como tempo morto o tempo relacionado ao valor eficaz da corrente obtida.
 - (1) Esse critério não se aplica a correntes de arco secundário que excedam 80A, para as quais a consequência prática é concluir pela impossibilidade de garantir a extinção do arco após o religamento.

3. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ELABORAÇÃO DO PLANO DA OPERAÇÃO DE MÉDIO PRAZO DO SIN (PAR/PEL)

3.1. Aspectos gerais

3.1.1. A avaliação do desempenho do SIN é realizada por meio de estudos de fluxo de potência – efetuada para verificar o comportamento do sistema em regime permanente, tanto em condição normal, quanto durante contingências – e visa avaliar se os níveis de tensão nos barramentos do sistema e os fluxos de potência nas linhas de transmissão e transformadores atendem aos critérios estabelecidos neste documento. A partir dos vários cenários e pontos de operação possíveis, são também avaliados o comportamento dinâmico do SIN, frente às possíveis contingências que podem ocorrer, sejam essas simples ou múltiplas.

3.1.2. Para os dois primeiros anos do PAR/PEL, as análises tem o foco operativo e consistem em apontar soluções e/ou medidas operativas, tais como: a necessidade de instalação de Sistemas Especiais de Proteção (SEP), alterações na configuração da rede ou o despacho de geração térmica por restrições elétricas, caso a solução estrutural definida pelo planejamento da expansão ainda não esteja disponível plano de operação de médio prazo do SIN.

3.1.3. No que se refere aos três últimos anos do PAR/PEL, a análise é voltada à adequação do cronograma de obras, ou seja, identificar quais empreendimentos que, já determinados pelo planejamento da expansão, devem sofrer alteração da data de necessidade ou até mesmo uma recomendação para a EPE definir uma nova solução estrutural.

3.1.4. Os critérios e premissas relacionados a seguir diferenciam o PAR/PEL dos demais processos de mais curto prazo do ONS por seu viés maior à busca e análise de soluções estruturais.

3.1.5. Para as instalações estratégicas, é dado ênfase à análise da disponibilidade adequada de equipamentos de reserva de forma a garantir a segurança do SIN.

3.2. Critério de perda dupla ou múltipla

3.2.1. Além do atendimento ao critério (N-1), na análise de contingências, devem ser consideradas:

- (a) perdas duplas de circuitos de transmissão da rede de operação que compartilhem estruturas ou faixa de passagem;
- (b) perdas duplas de circuitos de transmissão da rede de operação que atravessem regiões onde haja ocorrência de fenômenos naturais e/ou queimadas que possam atingi-las; e
- (c) perda de bipolo de corrente contínua.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

3.2.2. Caso as perdas duplas, citadas no item anterior 3.2.1, acarretem corte de carga, em situações como de instabilidade de potência, frequência ou tensão em uma região, e a atuação de SEP não evite a perda de carga, o PAR/PEL deve indicar a necessidade ou propor solução estrutural que elimine o problema que, conforme descrito, é de grande impacto para a segurança do SIN.

3.2.3. Caso as perdas duplas, citadas no item 3.2.1, acarretem corte de carga e a atuação de SEP evite a perda de carga, o ONS deve indicar a instalação do referido SEP. Nesse caso, os estudos do PAR/PEL devem proceder análise envolvendo custos, benefícios, segurança, riscos e cenários eletroenergéticos, podendo resultar em indicação de necessidade ou proposição de solução estrutural para eliminar o SEP e o problema.

3.2.4. Caso as consequências das perdas duplas, citadas no item 3.2.1, se restrinjam a sobrecargas em linhas de transmissão, equipamentos e/ou violações nos níveis de tensão, sem provocar corte de carga por atuação automática de proteção, devem ser adotadas medidas operativas ou adoção dos SEP, de modo a minimizar as consequências dessas contingências.

3.3. Critério de máxima variação de tensão

3.3.1. A ocorrência de contingências não pode provocar variações de tensão superiores a 10% da tensão nominal de operação nas barras de Rede Básica em que haja acesso de agentes de distribuição ou de consumidores.

3.4. Critério para indicação e dimensionamento de compensação de potência reativa

3.4.1. Aspectos gerais

3.4.1.1. Nos pontos de conexão dos agentes de distribuição e dos consumidores às instalações dos agentes de transmissão, conforme descrito no Contrato de Uso do Sistema de Transmissão (CUST), devem ser atendidas as faixas de fator de potência estabelecidas no Submódulo 2.10.

3.4.1.2. O montante de potência reativa necessário ao sistema de transmissão deve ser calculado assumindo-se a tensão nas barras de fronteira, conforme as variações máximas de tensão estabelecidas na Tabela 1.

3.4.1.3. O nível de compensação de potência reativa no sistema de transmissão necessário para um desempenho satisfatório em regime permanente nas condições de cargas mínima, leve, média e pesada deve dar suporte à saída não simultânea e permanente de qualquer dos elementos do sistema.

3.4.1.4. A proposta de instalação de reatores manobráveis de barra para fornecer recursos para o controle de tensão deve ser compatibilizada com a necessidade de implantação de reatores para agilizar a recomposição do sistema.

3.4.1.5. Os estudos de carga pesada avaliam se os reatores definidos pelos estudos de carga leve e mínima devem ser do tipo fixo ou manobrável.

3.4.1.6. Como o sistema de transmissão pode gerar ou absorver potência reativa, em função do ponto de operação, e como as cargas podem não atender aos requisitos de fator de potência, o dimensionamento da compensação de potência reativa deve prever uma reserva de potência reativa, em regime permanente e dinâmico, que permita manter a qualidade do suprimento em diferentes situações.

3.4.2. Critério para indicação e dimensionamento de compensação de potência reativa indutiva

3.4.2.1. A compensação de potência reativa indutiva, relacionada com o dimensionamento dos requisitos de compensação indutiva para o controle da tensão em regime permanente, deve atender aos níveis máximos de tensão apresentados na Tabela 1.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

3.4.2.2. A compensação de potência reativa indutiva, relacionada a novas linhas de transmissão, tem como finalidade controlar as sobretensões no sistema, provenientes das manobras de energização ou decorrentes da rejeição de carga envolvendo essas linhas. Para avaliar os requisitos de compensação relacionados devem ser considerados os aspectos descritos nos itens a seguir.

3.4.2.2.1. A necessidade de compensação de potência reativa deve ser avaliada a partir da simulação de energização de uma linha de transmissão com redes completa e incompleta.

3.4.2.2.2. Para energização com rede completa, devem ser considerados os três patamares de carga: pesada, intermediária e leve.

3.4.2.2.3. Após o chaveamento de uma linha de transmissão, a variação de tensão no terminal emissor deve ser inferior ou igual a 5% da tensão no mesmo terminal antes da manobra.

3.4.2.2.4. Os níveis de tensão no terminal emissor antes da energização devem ser iguais ou inferiores aos valores apresentados na Tabela 1. Os níveis de tensão no terminal aberto, após manobra, devem ser iguais ou inferiores aos valores apresentados na Tabela 4 e devem considerar as limitações dos equipamentos existentes, informados pelos agentes.

3.4.2.2.5. A energização de uma linha de transmissão com tensão pré-manobra no terminal emissor inferior aos valores de tensão máximos apresentados na Tabela 1 deve resultar em níveis de tensão no terminal aberto, após manobra, iguais ou inferiores aos valores de tensão máximos estabelecidos na Tabela 1.

3.4.2.2.6. Os limites de absorção de potência reativa nas unidades geradoras e compensadores síncronos não devem ser ultrapassados por ocasião da energização.

3.4.2.2.7. A tensão nos terminais das máquinas, antes da energização, deve ser superior à mínima permitida para o funcionamento automático do regulador de tensão.

3.4.2.2.8. Na rejeição de carga envolvendo uma nova linha de transmissão, devem ser considerados os limites de tensão em regime permanente e as sobretensões em frequência fundamental.

3.4.2.2.9. Em regime permanente, devem ser considerados os níveis máximos de tensão apresentados na energização com rede completa.

3.4.2.2.10. A sobretensão à frequência fundamental deve ser igual ou inferior a 140% da tensão nominal do sistema para um tempo máximo de 3,6s em pontos em que existam equipamentos com elementos saturáveis e a 150% da tensão nominal do sistema para um tempo máximo de 1,7s nos demais pontos. Tais valores estão referenciados nas Tabela 5 e Tabela 6.

3.4.3. Critério para indicação e dimensionamento de compensação de potência reativa capacitiva em derivação

3.4.3.1. A compensação de potência reativa capacitiva em derivação, implementada usualmente por capacitores fixos ou manobráveis, tem como finalidade controlar o nível de tensão operativa, no nível de sistema, em regime permanente e promover a compensação do fator de potência das cargas, no nível de subsistema.

3.4.3.2. No dimensionamento dos requisitos de compensação capacitiva em derivação, deve-se atender aos níveis de tensão especificados na Tabela 1 e os valores de fator de potência por nível de tensão nos pontos de conexão devem atender aos requisitos descritos no Submódulo 2.10.

3.4.3.3. A modulação dos bancos de capacitores é definida em função da máxima flutuação de tensão causada pelo chaveamento de cada estágio.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

3.4.3.4. Admite-se como limite uma variação de tensão de 5% na energização e no desligamento dos estágios.

3.4.4. Critério para indicação e dimensionamento da compensação de potência reativa capacitiva série

3.4.4.1. O grau de compensação de potência reativa capacitiva série deve ser estabelecido de tal modo que o sistema apresente desempenho adequado em regimes permanente e transitório, durante condição normal de operação e sob contingências.

3.4.4.2. A corrente nominal dos capacitores série deve ser determinada considerando a contingência que provoque o maior carregamento na linha de transmissão compensada e a tensão mínima de operação do sistema.

3.4.4.2.1. De forma a reduzir o custo dos capacitores, pode-se considerar como critério alternativo para o estabelecimento dessa corrente a seguinte capacidade de sobrecarga:

- (a) 50% durante 10 minutos em um período de 2 horas;
- (b) 35% durante 30 minutos em um período de 6 horas; e
- (c) 10% durante 8 horas em um período de 12 horas.

3.4.4.3. O risco de ressonância subsíncrona no sistema de transmissão deve ser avaliado para o grau de compensação de potência reativa capacitiva série determinado, e caso se verifique tal possibilidade, deve-se tomar medidas para eliminar o problema.

3.5. Premissas para estudos de estabilidade eletromecânica

3.5.1. Os estudos de estabilidade eletromecânica, em regime dinâmico e em frequência industrial, visam verificar se o sistema de transmissão atinge um ponto de operação satisfatório e se as máquinas síncronas se mantêm em sincronismo durante a transição de uma condição operativa para outra, causada por alguma perturbação.

3.5.2. A estabilidade transitória é analisada para pequenas perturbações como variações de carga, e para grandes perturbações como contingências de elementos da rede (carga, gerador, linha de transmissão ou transformador).

3.5.3. A estabilidade dinâmica analisa o amortecimento das oscilações do sistema.

3.5.4. Em função da contingência analisada, a atuação e aplicação dos sistemas de proteção e SEP relevantes para o desempenho do sistema elétrico deve ser definida no escopo do estudo.

3.5.5. Nas análises de sensibilidades específicas para determinação dos limites de intercâmbio, as simulações de perda dupla dos circuitos e de perdas múltiplas em troncos de transmissão, descritas nos itens 2.2.2.4 e 2.2.3.1.4, devem considerar:

- (a) faltas fase-terra em linhas de transmissão próximas à barra, com atuação correta da proteção após os tempos de eliminação dos defeitos (tempo de atuação do relé mais tempo de abertura do disjuntor) indicados na Tabela 2; e
- (b) abertura simultânea dos circuitos envolvidos.

3.6. Premissas para os estudos de energização

3.6.1. Nos estudos de energização de linhas em regime permanente, são consideradas as configurações que resultem nas solicitações mais severas para o sistema, considerando sempre, para verificação da capacidade

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

de absorção de potência reativa nos geradores e compensadores síncronos, o menor número possível de unidades geradoras em cada situação.

3.6.2. Para verificar a viabilidade de implementação da compensação de potência reativa em derivação convencional, predefinida nas análises de fluxo de potência em carga leve e pesada como tipo fixo, devem ser simuladas manobras de energização de linha de transmissão em regime permanente, a partir da subestação onde se propõe o reforço de compensação.

3.6.3. Para o dimensionamento da compensação de potência reativa indutiva, deve ser adotada a máxima tensão possível em regime contínuo no barramento de partida da linha a ser energizada.

3.6.4. A energização de uma linha de transmissão é efetuada em ambos os sentidos, de modo a se determinar o disjuntor que deve ser fechado em primeiro lugar.

3.7. Critérios para análise de superação de equipamentos

3.7.1. Os critérios acordados entre os agentes e ONS para as análises de superação de disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores de corrente, bobinas de bloqueio e barramentos estão descritos em detalhes na referência [14].

3.7.2. A aplicabilidade dos critérios adotados para cada tipo de equipamento sob análise é definida na Tabela 7.

Tabela 7 – Critérios para análise de superação de equipamentos de alta tensão

| | Critério | Disjuntor | Secionador | TC | Bob. de Bloqueio | Barramento |
|---|--------------------------------------|-----------|------------|----|------------------|------------|
| 1 | Corrente de curto-circuito | X | X | X | X | X |
| 2 | Crista da corrente de curto-circuito | X | X | X | X | |
| 3 | Corrente nominal | X | X | X | X | X |
| 4 | Constante de tempo (X/R) | X | | X | | |
| 5 | TRT | X | | | | |

3.7.3. A análise de superação de equipamentos de alta tensão é iniciada por meio da comparação das características nominais dos equipamentos com as solicitações de rede a elas relacionadas, conforme descrito a seguir:

- corrente de curto-circuito nominal versus corrente de curto-circuito passante no equipamento, obtida pelo programa de cálculo de curto-circuito;
- valor de crista da corrente suportável versus máxima crista da corrente de curto-circuito passante pelo equipamento;
- corrente nominal do equipamento versus carregamento máximo que o equipamento é submetido na rede;
- para os disjuntores são aplicáveis os seguintes critérios adicionais:
 - constante de tempo (X/R) especificada para o disjuntor versus constante de tempo determinada para a barra da rede à qual o disjuntor está conectado.
 - em casos específicos onde há evidências operacionais de superação por TRT, a envoltória especificada para o disjuntor deve ser comparada com a TRT obtida por simulação para condição de falta terminal trifásica para o disjuntor analisado.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(e) para transformadores de corrente (TC), o critério aplicável é a análise da saturação de núcleos de TC de proteção na condição de corrente de falta passante de máxima assimetria; e

(f) para os barramentos das subestações:

- (1) as correntes de carga máximas através dos mesmos deverão ser obtidas através de estudos de fluxos de potência em barramentos e comparadas com a capacidade nominal de projeto, em condição normal e sob contingência;
- (2) a superação por curto-circuito de barramentos deve ser verificada, comparando-se a corrente máxima de curto-circuito calculada com a capacidade nominal de curto-circuito do barramento.

3.7.4. As premissas e critérios para realização dos estudos de transitórios eletromagnéticos para análise de superação de equipamentos se encontram nos itens 2.5 e 2.6 deste submódulo.

4. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA PROGRAMAÇÃO DA OPERAÇÃO ELÉTRICA

4.1. Premissas para programação de intervenções

4.1.1. Os estudos para a programação de intervenções devem adotar os critérios gerais constantes do item 2 a menos que se apliquem os critérios específicos tratados neste item.

4.1.2. No caso de intervenções em equipamentos ou linhas de transmissão nas quais, em função do próprio serviço a ser executado, se caracterizem riscos elevados de desligamentos acidentais, a análise deve considerar essa possibilidade.

4.1.3. No caso de intervenções com desligamento, deve-se verificar se, em função de fatores ambientais ou sazonais, tais como, chuva, frio, período de queimadas ou incêndios, poluição salina, existem riscos excepcionalmente elevados de desligamento intempestivo de outros elementos de transmissão, com repercussões mais severas em função da indisponibilidade do equipamento.

4.1.4. Na análise de intervenções, devem ser consideradas as seguintes contingências:

- (a) perdas simples e duplas de equipamentos (linha de transmissão, transformador ou outro equipamento), conforme item 2.2.4.1.2;
- (b) perda de seção de barra nas subestações envolvidas na intervenção, perda simples de linha de transmissão, transformador ou outro equipamento principal, seguida de falha de disjuntor, quando a contingência ocasionar, pelo menos, uma das consequências apontadas a seguir:
 - (1) Instabilidade de potência, frequência ou tensão numa região geográfica (Norte, Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste).
 - (2) Interrupção de carga superior a 300 MW ou 30% da carga de áreas metropolitanas de capitais ou 25% da carga de um estado da federação.
 - (3) atuação do ERAC.

4.1.5. Durante a realização de eventos de grande relevância, acontecimentos ou datas comemorativas de grande repercussão pública, de abrangência nacional, regional ou local, conforme [1], deverão ser adotados critérios diferenciados para a análise de intervenções que possam ter reflexo no atendimento dos estados ou municípios envolvidos.

4.1.6. De modo a minimizar o risco de perturbações afetando os locais dos eventos, deverão ser consideradas, no mínimo, as seguintes contingências:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (a) perda de um único elemento do sistema elétrico (linha de transmissão, transformador ou outro equipamento);
- (b) perda simultânea dos dois circuitos das linhas de transmissão que compartilham as mesmas torres (circuito duplo);
- (c) perda de seções de barras; e
- (d) perdas múltiplas de linhas de transmissão ou de equipamentos principais, quando for identificado o risco de desligamento simultâneo dessas linhas ou equipamentos; por exemplo, devido à perda simples de linha de transmissão, transformador ou outro equipamento principal, seguida de falha de disjuntor.

4.1.6.1. Sendo identificado risco de interrupção de carga nessas contingências, a intervenção só poderá ser aprovada se for caracterizado risco de acidente com pessoas, de danificação de equipamentos ou instalações ou ainda risco iminente de desligamento intempestivo do equipamento.

4.1.7. Quando da ocorrência recente de perturbações de grande porte envolvendo determinada área, capital ou centro de carga, intervenções envolvendo linhas de transmissão ou subestações que atendam a mesma área programadas para os dias subsequentes deverão ser reprogramadas, devendo-se aguardar a conclusão da análise da ocorrência.

4.1.8. No caso de intervenções programadas que implicam corte de carga, risco de corte de carga ou transferência de carga, não havendo – em função da antecedência da solicitação – tempo hábil para informar essas implicações ao agente de distribuição ou consumidor livre, de acordo com os prazos constantes no Submódulo 4.2 – Programação de intervenções em instalações da Rede de Operação, o ONS deve reprogramar a intervenção.

4.1.9. As intervenções são consideradas não compatíveis quando a análise indica que sua realização simultânea, em qualquer período de carga, leva à violação de qualquer dos critérios apresentados no item 5.3.1.1, violação essa que pode ser eliminada ou minimizada se as intervenções forem não coincidentes.

4.1.10. São consideradas incompatíveis, as intervenções cuja simultaneidade implicar:

- (a) aumento das restrições de intercâmbio entre submercados de energia; e
- (b) restrições de despacho mais severas do que seriam se as intervenções fossem não coincidentes, quando se tratar de usinas despachadas centralizadamente.

4.2. Critérios para programação de intervenções

4.2.1. Critérios para aprovação de solicitações de intervenções

4.2.1.1. Uma solicitação de intervenção deve ser aprovada quando atender aos seguintes requisitos:

- (a) a intervenção não deve acarretar a interrupção das cargas em regime normal de operação;
- (b) o sistema deve suportar dinamicamente contingências definidas no item 4.1.4., mesmo sendo necessária a atuação dos SEP existentes ou de esquemas que possam ser implantados temporariamente durante a intervenção, com exceção do ERAC e de outros esquemas que impliquem corte de carga;
- (c) o sistema deve suportar qualquer contingência, de acordo com os critérios do item 4.1.4., sem perda de carga, considerando os Esquemas de Controle de Emergência (ECE) existentes ou esquemas que possam ser implantados temporariamente durante a intervenção;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (d) não podem ocorrer violações, em regime, de limites operativos definidos para condição normal de operação em qualquer elemento na Rede de Operação; e
- (e) na perda de um único elemento do sistema elétrico (linha de transmissão, transformador ou outro equipamento), não podem ocorrer violações dos limites operativos definidos para condição de emergência em qualquer elemento na Rede de Operação.

4.2.1.2. As intervenções que levem a violações dos requisitos definidos no item anterior 5.2.1.1, devem ser programadas de modo a incluir o maior número de horas possível de períodos de carga leve e mínima ou finais de semana ou feriados, minimizando a perda de carga e o tempo de exposição do sistema ao risco.

4.2.1.3. A realização de uma intervenção não poderá inviabilizar a recomposição do sistema, na eventualidade de uma perturbação.

4.2.1.3.1. As intervenções de caráter inadiável, quando for caracterizado o risco de acidente com pessoas, de danificação de equipamentos ou instalações ou ainda risco iminente de desligamento intempestivo do equipamento, poderão ser autorizadas ainda que inviabilizem a recomposição do sistema. Neste caso, o ONS deverá definir, na maior brevidade possível, procedimentos alternativos que permitirão a recomposição do sistema de forma coordenada, já considerando a indisponibilidade do equipamento objeto da intervenção.

4.2.1.3.2. Quando, em função das características da rede, a indisponibilidade de um único elemento inviabilizar a recomposição de uma área, não havendo alternativas para recomposição, intervenções envolvendo essa indisponibilidade devem ser programadas, de modo a incluir o maior número de horas possível de períodos de carga leve e mínima.

4.2.1.4. As intervenções de urgência podem ser realizadas em qualquer período de carga, mas deve-se buscar realizar essas intervenções no período mais favorável para o sistema.

4.2.1.5. As intervenções que impliquem restrições de despacho de usinas em relação à programação sem restrições elétricas devem ser programadas para dias e horários em que seja minimizado o afastamento em relação às metas energéticas. Caso essa condição não seja atendida na solicitação original, cabe ao ONS propor ao agente períodos alternativos para realização do serviço.

4.2.1.6. Deve ser considerado o despacho de usinas térmicas quando o despacho for justificado por um dos seguintes critérios:

- (a) evitar ou minimizar sobrecarga em equipamento da Rede de Operação, em regime normal de operação;
- (b) evitar ou minimizar corte de carga em regime normal de operação;
- (c) evitar ou minimizar níveis de tensão inadmissíveis em regime normal de operação;
- (d) evitar o risco de sobrecarga inadmissível em equipamentos da Rede de Operação, em contingência, que possam levar a sua danificação antes que haja tempo hábil para a adoção de medidas operativas; ou
- (e) evitar interrupção de carga nas contingências definidas no item 4.1.4. deste submódulo.

4.2.2. Critérios para aprovação de solicitações de intervenções em instalações estratégicas

4.2.2.1. Em relação às instalações estratégicas classificadas como Tipos E1, E2 e E3, conforme Submódulo 2.2, deve-se limitar o número de vãos incompletos, para atender intervenções com desligamento em instalações com arranjo de disjuntor e meio, aos seguintes valores:

- (a) instalação com até 5 vãos, com máximo de 1 vão incompleto;

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(b) instalação com mais de 5 e até 10 vãos, com máximo de 2 vãos incompletos; e

(c) instalação com mais de 10 vãos, com máximo de 3 vãos incompletos.

- (1) Podem ser aprovadas intervenções que impliquem, forçosamente, operação em configurações que violem o critério acima, se a intervenção for imprescindível para o serviço a ser executado e não for possível a programação de intervenções distintas em períodos não coincidentes.
- (2) Os critérios acima poderão ser flexibilizados, por indicação do ONS, quando a análise para liberação da intervenção indicar a abertura de outro disjuntor para minimizar as consequências para o SIN nas contingências consideradas.

5. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ANÁLISE DE PROJETO BÁSICO

5.1. Estudos de fluxo de potência em sistemas CA em regime permanente

5.1.1. Em estudos para dimensionamento de equipamentos de compensação reativa, o chaveamento de reatores ou capacitores não deve provocar variações de tensão superiores a 5% da tensão nominal de operação.

5.2. Estudos para dimensionamento das instalações em sistemas CC

5.2.1. Estudos de definição dos parâmetros do circuito principal

5.2.1.1. Esses estudos tem por finalidade demonstrar que é possível, em regime permanente, transmitir os valores de potência determinados pela especificação técnica, desde a potência mínima até a potência máxima, para as condições de frequência e de tensão CA nas extremidades retificadora e inversora, dentro das faixas operativas da Rede Básica, com a potência de curto-circuito nas estações terminais dentro da faixa especificada e a tensão nominal CC dentro da tolerância prevista. Essa demonstração compreende a operação em todos os modos operativos descritos no Submódulo 2.8.

5.2.1.2. Os estudos, ao considerar as variações possíveis dos parâmetros e dos dados de entrada, determinam a faixa de tapes necessária para os transformadores conversores e definem as tensões e correntes máximas as quais ficam submetidas as válvulas e os demais equipamentos.

5.2.1.3. Considera-se como dados de entrada: a resistência total máxima da linha de transmissão CC especificada, corrigida pela transmissora para a temperatura de operação do elo CC e as resistências das linhas do eletrodo e do eletrodo em cada uma das estações terminais, retificadora ou inversora.

5.2.1.4. Os seguintes parâmetros de controle devem ser considerados: os valores de ângulo de disparo (nominal, máximo e mínimo), os valores de ângulo de extinção (nominal, máximo e mínimo) e o valor percentual permitido para variação da tensão CC polo-terra no inversor, para cada tape do transformador da conversora.

5.2.1.5. Devem ser consideradas as tolerâncias de projeto/fabricação dos transformadores conversores, *On Load Tap Changers* (OLTC), que se refletem no valor da reatância de comutação (Δdx em %), a tolerância de medição de tensão (ΔU_d em % de U_d medido), o erro de medição do ângulo de disparo (graus elétricos), o erro de medição do ângulo de extinção (graus elétricos) e o erro de medição no transformador de potencial da barra CA (% de U_{dion}).

5.2.1.6. Deve ser considerada a eventual necessidade de utilização de filtros *Power Line Carrier* (PLC), que pode afetar o valor a ser especificado para a reatância de comutação (dxn).

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.1.7. Devem ser apresentadas tabelas para variações de potência no retificador (P_d), em degraus de 10%, com as seguintes informações:

- (a) corrente CC ($I_d - A$);
- (b) tensão CC no retificador ($U_{dR} - kV$);
- (c) tensão CC no inversor ($U_{dI} - kV$);
- (d) tensão em vazio ideal no retificador por ponte de seis pulsos ($U_{di0R} - kV$);
- (e) tensão em vazio ideal no inversor por ponte de seis pulsos ($U_{di0I} - kV$);
- (f) potência CC no retificador ($P_{dR} - MW$);
- (g) consumo de reativos no retificador ($Q_R - Mvar$);
- (h) ângulo de disparo (α -grau);
- (i) ângulo de extinção (γ -grau);
- (j) ângulo de comutação no retificador (μ_R -grau);
- (k) ângulo de comutação no inversor (μ_I -grau);
- (l) potência CC no inversor ($P_{dI} - MW$);
- (m) consumo de reativos no inversor ($Q_I - Mvar$); e
- (n) consumo dos tapes dos transformadores conversores no retificador e inversor.

5.2.1.8. Caso utilizado tecnologias não convencionais, deve ser disponibilizado ao ONS, em conjunto com o relatório de circuito principal, uma ferramenta computacional (programa ou planilha) que possa ser utilizada para verificação do cálculo dos parâmetros do circuito principal.

5.2.2. Estudo de balanço de potência reativa

5.2.2.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar o atendimento aos requisitos estabelecido Submódulo 2.8.

5.2.2.2. Os resultados do estudo devem indicar a estratégia e a modularização dos bancos e sub-bancos dos filtros, capacitores e reatores a serem utilizadas para controlar o intercâmbio de reativos com o sistema CA, considerando o consumo de reativos pela estação conversora e o esquema de chaveamento dos equipamentos de compensação reativa, durante o ciclo diário de carga, para toda a faixa de potência operativa, incluindo sobrecarga de qualquer natureza, e para todos os modos de operação estabelecidos no Submódulo 2.8.

5.2.2.3. Deve ser demonstrado que não ocorrem variações de tensão no sistema CA superiores a 3,0% como consequência de chaveamentos, considerando as configurações da rede completa ou incompleta, atuais ou futuras, para todos os níveis de carga e todos os cenários de fluxo de potência, e que a perda intempestiva do maior banco não causa falha de comutação, em especial no lado inversor.

5.2.2.4. Devem ser atendidos critérios adicionais aos dispostos nos Procedimentos de Rede, caso estejam definidos na especificação técnica, como por exemplo, limites de intercâmbio de potência reativa e envoltórias de sobretensões temporárias máximas.

5.2.2.5. Os dados de entrada considerados são os resultados do cálculo do circuito principal conforme descrito no item 6.2.1.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.2.6. Os resultados deste estudo devem ser considerados no projeto dos filtros e na definição do controle básico do elo CC.

5.2.2.7. O relatório com os resultados do estudo deve apresentar as informações sob a forma de tabelas P (potência transmitida) e Q (consumo da conversora, potência reativa fornecida pelos filtros e intercâmbio com o sistema CA), em função das tensões CA máxima, mínima e nominal, consumo de reativos máximo, mínimo e nominal pela conversora (função de alfa, dx etc.), de forma a permitir a análise da conformidade dos resultados em relação aos requisitos.

5.2.2.8. Deve ser fornecida uma tabela contendo a sequência de chaveamento dos elementos de compensação reativa em função da potência transmitida e também da necessidade de chaveamento em função do desempenho harmônico.

5.2.3. Estudo de sobretensões à frequência fundamental

5.2.3.1. Esse estudo tem por finalidade identificar as sobretensões de manobra dos bancos de capacitores e filtros, rejeição de carga, bloqueio dos conversores, oscilações dinâmicas da rede CA e os meios para limitar estas sobretensões aos valores requeridos.

5.2.3.2. Os estudos devem demonstrar que o desligamento dos filtros e capacitores, após bloqueio da conversora, será possível e suficiente para redução das sobretensões no sistema CA em níveis aceitáveis.

5.2.3.3. Devem ser avaliadas configurações do sistema CA com diferentes níveis de curto-circuito e de carga nos horizontes do planejamento e da operação.

5.2.3.4. Devem ser consideradas as variações do número de máquinas na área do sistema coletor e as diferentes situações de *staging* do empreendimento.

5.2.3.5. Devem ser investigados os aspectos relativos à possível autoexcitação das unidades geradoras.

5.2.3.6. Os estudos também contribuem para demonstrar que a modularização adotada para os filtros e bancos de capacitores atende aos requisitos estabelecidos no Submódulo 2.8, no que diz respeito ao impacto no sistema CA (variação de tensão, intercâmbio de reativos e fator de potência nas estações conversoras).

5.2.4. Estudo de desempenho dinâmico (*Dynamic Performance*)

5.2.4.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que o controle projetado, mesmo com ajustes preliminares, é estável para as condições operativas previstas, incluindo as mudanças entre os modos de operação disponíveis.

5.2.4.2. O estudo deve também demonstrar que os requisitos relacionados ao tempo de recuperação do elo CC, após a aplicação de defeito e aqueles relacionados à minimização da ocorrência de falhas de comutação, foram atendidos.

5.2.4.3. O estudo tem por finalidade secundária identificar as ressonâncias, em frequências de baixa ordem, que possam demandar a utilização de filtros adicionais para atender aos padrões de desempenho harmônico definidos no Submódulo 2.8.

5.2.4.4. As avaliações devem compreender bloqueios de bipolo, perdas de geração, faltas na linha de transmissão CC e início/eliminação de faltas na linha de transmissão CA. Os resultados permitem avaliar o envelope de sobretensões temporárias às quais ficam sujeitas as estações conversoras.

5.2.4.5. Considera-se como dados de entrada: os resultados do estudo que definiu o circuito principal, a modularização de filtros e a compensação reativa definida nos estudos de balanço de potência reativa, os

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

lugares geométricos de impedância harmônica, que representam a rede CA e que resultam no equivalente em frequência, e o nível de curto-circuito mínimo operativo compatível com a faixa de potência transmitida.

5.2.4.6. A rede CA na etapa de concepção do projeto básico pode ser representada por um equivalente em frequência, localizado na barra terminal da conversora, representando corretamente os níveis de curto-circuito e as ressonâncias harmônicas. As simulações devem ser realizadas por uma ferramenta computacional, do tipo PSCAD ou similar, considerando um sistema de controle com ajustes preliminares.

5.2.4.7. Em caso de utilização de bancos de capacitores e/ou de filtros, o estudo deve demonstrar que a abertura intempestiva do maior banco, mesmo para as condições mais degradadas da rede CA, não deve causar falhas de comutação no elo CC.

5.2.4.8. Deve ser realizado o detalhamento do estudo de desempenho dinâmico, conforme descrito no item 6.2.9.1.

5.2.5. Estudos de sobrecorrentes transitórias em válvulas e outros equipamentos

5.2.5.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que as válvulas tiristoras e os demais equipamentos em série estão adequadamente dimensionados para suportar as solicitações transitórias advindas dos curtos-circuitos, aplicados em qualquer localização, pelo tempo máximo necessário a sua eliminação, como por exemplo, pela abertura do disjuntor dos transformadores conversores.

5.2.5.2. No caso de abertura do disjuntor dos transformadores conversores, deve ser avaliado o impacto da falha da abertura do disjuntor pela proteção principal, considerando a abertura pela proteção de retaguarda.

5.2.5.3. O estudo deve abranger solicitações impostas aos equipamentos conectados à barra CA, aos transformadores conversores, às válvulas de tiristores, aos equipamentos conectados à barra CC e aos equipamentos conectados à barra de neutro.

5.2.5.4. Devem ser avaliadas as solicitações impostas às conversoras, advindas de faltas aplicadas nos equipamentos localizados na casa de válvulas, incluindo as buchas de parede.

5.2.5.5. Considera-se como dados de entrada: o valor da potência de curto-circuito, definida para a aquisição dos disjuntores do pátio CA das subestações terminais, e os parâmetros definidos pelo cálculo do circuito principal, principalmente a reatância dos transformadores conversores.

5.2.5.6. Devem ser apresentadas a avaliação dos seguintes tipos de falta:

- (a) curto-circuito na válvula;
- (b) curto-circuito através da ponte de 6 pulsos;
- (c) curto-circuito através da ponte de 12 pulsos;
- (d) curto-circuito polo-neutro após o reator de alisamento;
- (e) curto-circuito polo-terra antes do reator de alisamento;
- (f) curto-circuito bifásico, em local entre o transformador conversor e a válvula;
- (g) curto-circuito trifásico, em local entre o transformador conversor e a válvula;
- (h) curto-circuito para a terra:
 - (1) no lado CA da válvula na ponte Δ ;
 - (2) no lado CA da válvula na ponte Y;
 - (3) na barra entre as pontes de 6 pulsos;
 - (4) no neutro do transformador Y; e

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(5) na conexão ao polo.

5.2.6. Estudo de coordenação de isolamento

5.2.6.1. Esse estudo tem por finalidade estabelecer as bases para definição dos níveis de isolamento das conversoras e equipamentos exteriores e a aplicação de para-raios para os pátios CA e CC, atendendo aos requisitos estabelecidos Submódulo 2.8.

5.2.6.2. As sobretensões nas estações conversoras são causadas por fontes consideradas externas e internas. As fontes externas são as operações de manobra, faltas a terra, eliminação de defeitos, descargas atmosféricas, oscilações dinâmicas da rede CA e rejeição de carga, e as fontes internas são as faltas a terra, curto-circuitos e falhas de controle, dentro do escopo de suprimento próprio do elo CC.

5.2.6.3. O estudo de coordenação de isolamento deve considerar as máximas sobretensões de manobra, bem como as máximas sobretensões produzidas por descargas atmosféricas que possam se propagar até os equipamentos.

5.2.6.4. Devem ser consideradas as configurações do elo CC e topologias das redes CA advindas de todos os modos de operação definidos Submódulo 2.8, bem como definir os níveis de isolamento para os pátios CA e CC, a quantidade e a localização de todos os para-raios, e as respectivas correntes de coordenação e capacidade de dissipação de energia.

5.2.6.5. Considera-se como dados de entrada: os valores de tensão máxima de operação CC e CA, o valor da tensão ideal CC em vazio por conversor de 6 pulsos (Udio nominal e Udio máxima possível considerando os limitadores e os erros de medida), a relação de transformação dos transformadores conversores, a faixa de tapes dos transformadores conversores, os degraus de cada tape, a reatância de comutação (dx) e as correntes CC (nominal e máxima incluindo sobrecarga se houver) definidas no cálculo do circuito principal.

5.2.6.6. O relatório com os resultados do estudo deve apresentar as seguintes informações:

- (a) dados de todos os para-raios, incluindo as curvas de descarga máxima e mínima (8x20 μ s, 30x60 μ s, frente íngreme etc.);
- (b) número de colunas e a capacidade de dissipação de energia;
- (c) níveis de proteção e a respectiva corrente para frente íngreme (STIPL-kV, ISTIPL-kA);
- (d) impulso de manobra (SIPL-kV, ISIPL-kA);
- (e) impulso atmosférico (LIPL-kV, ILIPL-kA); e
- (f) nível adotado para o disparo protetivo (PF).

5.2.6.7. O relatório deve ainda explicitar em uma tabela, a margem de proteção utilizada para cada para-raio, apresentando os valores de SIPL, LIPL e os valores de suportabilidade a impulso atmosférico (LIWL) e suportabilidade a impulso de manobra (SIWL).

5.2.6.8. Os para-raios dos filtros devem ser objeto de dimensionamento, podendo ser apresentado em relatório a parte.

5.2.7. Estudos de desempenho dos filtros CA

5.2.7.1. O estudo deve observar o atendimento aos requisitos apresentados no Submódulo 2.8, com o objetivo de garantir o desempenho harmônico adequado do projeto de filtros, respeitando os limites de distorção harmônica individual e total, estabelecidos no Submódulo 2.9.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.7.2. Considera-se como dados de entrada: a modularização dos filtros e bancos de capacitores definidos pelo estudo de balanço de reativos e os resultados dos estudos de dimensionamento do circuito principal.

5.2.7.3. O relatório com os resultados do estudo deve apresentar os valores máximos das correntes harmônicas geradas pelas conversoras, para toda a faixa possível de sua operação, e todos os envelopes de impedâncias harmônicas utilizados para o dimensionamento dos filtros.

5.2.7.4. Todas as premissas e a forma de tratamento, determinístico ou estatístico, utilizadas no estudo devem ser apresentadas no relatório, tais como as modelagens de carga, os ângulos de disparo das válvulas, a faixa operativa de tensões CA, os níveis de corrente CC, as tolerâncias de fabricação dos transformadores conversores, a atenuação de sequência negativa, faixa de tapes dos transformadores conversores, as tolerâncias de qualquer tipo, os erros de medição, dentre outras.

5.2.8. Estudos de definição de *rating* dos filtros CA e da compensação reativa

5.2.8.1. Considerações gerais

5.2.8.1.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que o dimensionamento do *rating* dos filtros CA, em regime permanente e transitório, está adequado, considerando o *rating* de regime permanente disposto no Submódulo 2.8.

5.2.8.1.2. Neste estudo devem ser atendidos todos os requisitos, condições operativas e configurações de rede externa relacionados no Submódulo 2.8.

5.2.8.1.3. Os relatórios com os resultados do estudo devem apresentar, para o *rating* de regime permanente e transitório, as margens adotadas e os valores nominais do projeto para cada elemento que compõe o equipamento (*ratings* de corrente e tensão).

5.2.8.2. Regime permanente

5.2.8.2.1. O estudo deve demonstrar que os elementos dos filtros (reatores, resistores e capacitores) e da compensação reativa manobrável foram dimensionados para suportar as máximas correntes e tensões harmônicas possíveis.

5.2.8.2.2. Deve ser demonstrado que os filtros não são desligados pelas proteções de *overrating* (sobrecarga), durante condições operativas normais e de contingências simples da rede externa na primeira vizinhança das conversoras, com um filtro de cada tipo fora de operação.

5.2.8.2.3. Nas avaliações das impedâncias dos filtros devem ser consideradas as dessintonias possíveis, incluindo tolerâncias de fabricação, variação de capacitância por temperatura, variações de frequência da rede, erros de ajuste de sintonia por discretização de elementos de ajuste, perda de elementos capacitivos, etc.

5.2.8.2.4. Para avaliar as ressonâncias entre filtros, devem ser consideradas dessintonias opostas entre eles.

5.2.8.3. Regime transitório

5.2.8.3.1. O estudo deve demonstrar que os filtros e a compensação reativa devem suportar as sobretensões e sobrecorrentes advindas de condições transitórias, incluindo entre outras:

- (a) início e eliminação de curtos-circuitos na conversora, com bloqueio das válvulas durante o curto-circuito; e
- (b) energização dos transformadores conversores com fluxo residual, e de outros transformadores próximos.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.8.4. Estudos de desempenho dos filtros CC

5.2.8.4.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que o desempenho dos filtros CC atende ao disposto no Submódulo 2.8.

5.2.8.5. Estudos de definição de *rating* dos filtros CC

5.2.8.5.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que o dimensionamento do *rating* dos filtros CC atende ao disposto Submódulo 2.8.

5.2.8.5.2. Deve ser apresentado o estudo de dimensionamento, em regime permanente e transitório, as margens adotadas e os valores nominais do projeto (*ratings* de corrente e tensão) para cada elemento (reatores, resistores e capacitores).

5.2.8.5.3. O estudo deve também demonstrar que os filtros CC estão dimensionados para suportar as sobretensões e sobrecorrentes transitórias mais severas às quais possam vir a ser submetidos.

5.2.9. Otimização do circuito principal, das interações CA/CC e testes

5.2.9.1. Estudos de desempenho em regime permanente, transitório e dinâmico do elo CC

5.2.9.1.1. Este estudo trata do detalhamento do estudo de desempenho dinâmico, executado durante a etapa de concepção. Tem a finalidade de identificar todos os parâmetros necessários à otimização do sistema de controle, de forma a atender os requisitos estabelecidos para desempenho em regime permanente e após aplicação e eliminação dos defeitos CA e CC, no sentido de minimizar possíveis instabilidades, falhas de comutação e interações indesejáveis com o sistema CA.

5.2.9.1.2. Considera-se como dados de entrada: os resultados dos estudos que definiram o circuito principal, a modularização de filtros, a compensação reativa definida nos estudos de balanço de potência reativa, os lugares geométricos de impedância harmônica que representam a rede CA e o nível de curto-circuito mínimo operativo compatível com a faixa de potência transmitida.

5.2.9.1.3. Os estudos devem demonstrar que o controle projetado é adequado para todas as condições operativas previstas, incluindo as mudanças entre os modos de operação disponíveis e que os requisitos estabelecidos no Submódulo 2.8 foram atendidos, principalmente aqueles relacionados ao tempo de recuperação do elo CC e à minimização da ocorrência de falhas de comutação.

5.2.9.1.4. Deve também ser demonstrado que, em regime permanente, não ocorre redução da potência transmitida na troca do modo de operação de potência constante para corrente constante, desde que o sistema CA esteja operando acima do limite de potência de curto-circuito mínima previamente estabelecido.

5.2.9.1.5. A rede CA deve ser representada de forma detalhada, de modo que qualquer equivalente utilizado, mesmo o equivalente em frequência, fique eletricamente afastado das subestações conversoras e represente corretamente os níveis de curto-circuito e as ressonâncias harmônicas. O controle deve ser representado de forma detalhada e deve corresponder ao sistema de controle a ser implementado.

5.2.9.1.6. O estudo deve contemplar as diversas situações que podem ocorrer no sistema, incluindo instabilidade transitória, instabilidade dinâmica, instabilidade de tensão e instabilidade harmônica.

5.2.9.1.7. Deve também avaliar a modulação de potência ativa e reativa do elo CC para estabilizar o sistema CA para o controle de frequência, variações rápidas de potência, etc.

5.2.9.1.8. Deve também identificar as medidas necessárias para evitar interações indevidas entre os controles do elo CC e os controles dos equipamentos eletricamente próximos, tais como, outros elos CC, *back-to-back* convencionais ou CCC, CER ou *Statcom* e entre elos CC e conversoras VSC.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.9.1.9. Os estudos devem ser realizados com os programas usualmente utilizados no SIN: ANAREDE (fluxo de potência), ANATEM (estabilidade eletromecânica), PSCAD e/ou ATP (transitórios eletromagnéticos).

5.2.9.1.10. Caso os estudos tenham sido realizados por meio do PSCAD, a transmissora deve ainda entregar ao ONS também para o programa ATP, até o início dos estudos pré-operacionais, um modelo detalhado do elo CC, incluindo todos os controles. Este modelo deve ser acompanhado pelo manual correspondente e pelos testes de validação executados confrontados com os resultados obtidos pelo Simulador CC.

5.2.9.2. Estudo de oscilações sub-síncronas

5.2.9.2.1. Esse estudo tem por finalidade determinar eventuais requisitos de controle que devam ser incorporados ao controle dos sistemas HVDC, para evitar que a interação entre as conversoras e os equipamentos do sistema CA sujeitem unidades geradoras conectadas a barras CA próximas a esforços torcionais elevados.

5.2.9.2.2. Esses fenômenos devem ser investigados por meio de ferramentas de simulação de transitórios eletromagnéticos (ATP ou PSCAD), considerando a representação completa da máquina, com o eixo do conjunto turbina-gerador representado por um sistema multi-massa-mola.

5.2.9.2.3. Deve também ser considerada, quando necessária, a análise no domínio da frequência (modelo linearizado ou não do eixo turbina-gerador).

5.2.9.2.4. Os modelos utilizados, devidamente aferidos e documentados, devem ser disponibilizados ao ONS.

5.2.9.3. Estudos para definição das características dos equipamentos do lado CA

5.2.9.3.1. Esse estudo tem por finalidade definir as características dos equipamentos do pátio CA da subestação conversora, incluindo disjuntores e transformadores conversores.

5.2.9.3.2. Esse estudo compreende todos os estudos de manobra dos equipamentos do pátio CA, incluindo energização dos transformadores conversores e TRT de disjuntores de linhas e de equipamentos do pátio CA, e envolvem também os estudos de energização das linhas do pátio CA e os religamentos monopolares e tripolares.

5.2.9.3.3. As simulações devem ser realizadas na ferramenta ATP.

5.2.9.4. Estudos das proteções das conversoras e da linha de transmissão CC

5.2.9.4.1. Esse estudo tem por finalidade definir a coordenação das proteções CC e CA e identificar as interações com os controles das conversoras.

5.2.9.5. Estudos para definição das malhas de terra das subestações conversoras e dos eletrodos de terra

5.2.9.5.1. Esse estudo tem por finalidade demonstrar que não existirão problemas de gradientes de potencial, de tensões de passo e de toque, corrosão de estruturas metálicas, de oleodutos ou ferrovias, etc.

5.2.9.5.2. Os estudos devem identificar a possibilidade de existência de corrente contínua circulando pelo neutro dos transformadores conversores ou de outros transformadores e indicar, se for o caso, as soluções necessárias para mitigar este problema, como por exemplo, a necessidade de utilização de isolamento galvânico no neutro do transformador ou a alteração da execução do eletrodo.

5.2.9.5.3. Considera-se como dados de entrada: os resultados das medições efetuadas.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

5.2.9.6. Estudos complementares e testes de comprovação

5.2.9.6.1. Os seguintes estudos complementares e os correspondentes testes de comprovação devem ser realizados pelo agente de transmissão:

- (a) estudos de interferência em sistemas de comunicação por onda portadora (PLC);
- (b) estudo de rádio-interferência (RI) e de ruído audível;
- (c) estudos de interferências TVI, microondas, VHF e UHF, incluindo sistemas de navegação aérea na proximidade de aeroportos;
- (d) estudos de confiabilidade e disponibilidade;
- (e) estudos de perdas e eficiência; e
- (f) estudos de coordenação das proteções.

5.3. Estudos de transitórios eletromagnéticos

5.3.1. As premissas e os critérios para realização destes estudos se encontram nos itens 2.5 e 2.6.

6. PREMISSAS E CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA ESTUDOS PRÉ-OPERACIONAIS

6.1. Premissas para sistemas CA

6.1.1. Para estudos pré-operacionais, as eventuais limitações decorrentes de características dos equipamentos devem ser informadas pelos agentes. Esses estudos devem levar em conta os ajustes de proteção dos equipamentos informados pelos agentes. Pode-se, assim, avaliar a necessidade da definição de restrições operativas ou de SEP.

6.2. Premissas para sistemas CC

6.2.1. Os estudos pré-operacionais associados à entrada em operação de novos elos CC devem ser realizados com uma base de dados devidamente atualizada e consolidada.

6.2.2. Esses estudos devem determinar a máxima potência passível de ser transmitida nas diversas etapas de implementação do projeto CC, considerando as eventuais configurações intermediárias do sistema CA no qual ele será inserido, até que atinja a sua configuração final.

6.3. Critérios para sistemas CA

6.3.1. As faixas operativas mais adequadas de tensão (diretrizes operativas) devem observar os limites da Tabela 1 e respeitar as limitações específicas informadas pelos agentes.

6.3.2. Os estudos devem registrar eventuais violações das faixas operativas mais adequadas de tensão e, nos casos em que a violação levar a um desempenho inadequado da rede, devem ser definidas medidas operativas visando melhorar esse desempenho.

6.4. Estudos de transitórios eletromagnéticos

6.4.1. As premissas e os critérios para realização destes estudos se encontram nos itens 2.5 e 2.6.

7. PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE SEGURANÇA OPERACIONAL

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.1. Estudos de reserva de potência operativa

7.1.1. Premissas

7.1.1.1. Tratamento da carga

7.1.1.1.1. As cargas globais de cada área são consideradas com uma distribuição normal, com um desvio padrão igual a 1/3 do erro de previsão de carga, admitido como igual a 5%. Está englobada nesse total a ponta instantânea dentro da demanda horária integralizada, considerando-se a ponta com uma duração de 2 horas.

7.1.1.2. Risco de não atendimento à carga

7.1.1.2.1. Considera-se como risco de não atendimento a carga a probabilidade de o sistema apresentar, no período de ponta, uma disponibilidade de geração sincronizada inferior à carga verificada nesse mesmo período.

7.1.1.3. Taxas de desligamento forçado das unidades geradoras

7.1.1.3.1. Para efeito de determinação da reserva de potência operativa, o cálculo das taxas de desligamento forçado das unidades geradoras deve ser efetuado de acordo com a formulação definida no Submódulo 9.2 – Indicadores de desempenho de equipamentos e linhas de transmissão e das funções transmissão e geração. A consistência e classificação dos dados deverá ser realizada conforme a rotina operacional no Submódulo 5.13 – Rotinas Operacionais.

7.1.1.3.2. As unidades geradoras eólicas são consideradas com taxa de desligamento forçado nulo, face ao seu porte extremamente reduzido.

7.1.1.4. Repartição, alocação e utilização da reserva de potência operativa

7.1.1.4.1. A reserva de potência operativa do sistema (RPO sistema), calculada probabilisticamente, é repartida entre as áreas de controle do sistema, de tal modo que caiba a cada uma delas um montante de reserva calculado pela Equação (4):

$$(4) RPO_i = R1_i + R2_i + R3_i$$

sendo,

$$(5) R1_i = 1\% RGA_i$$

$$(6) R2_i = 4\% C_i + Reol_i$$

$$(7) R2e_i = 4\% C_i + Reol_i$$

$$(8) R2r_i = 2,5\% C_i + Reol_i$$

$$(9) R3_i = \frac{MM_i \times RGA_i}{\sum MM_i \times RGA_i} \times MM_{prob}$$

$$(10) RGA_i = C_i + \text{Intercâmbio líquido programado de fornecimento da área de controle } i$$

$$(11) \text{Intercâmbio líquido programado de fornecimento} = \sum I_{Prog.Fornecimento} - \sum I_{Prog.Recebimento}$$

$$(12) MM_{prob} = RPO_{sistema} - 5\% Carga_{sistema}$$

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

(13) $Reol_{NE} = 6\%$ da Geração eólica prevista na área de controle da região Nordeste

(14) $Reol_{Sul} = 15\%$ da Geração eólica prevista na área de controle da região Sul

sendo,

R1: reserva de potência para controle primário

R2: reserva de potência para controle secundário

R3: reserva de potência terciária

RGA_i: responsabilidade própria de geração da área de controle i;

c_i: carga da área de controle i, incluindo os consumidores livres que mantenham contrato de conexão com os agentes da área i;

MM_i: maior máquina da área de controle i;

Reol_i: parcela para fazer face à variabilidade da geração eólica (para as áreas de controle i das regiões Nordeste e Sul)

R2e_i: reserva secundária para elevação da geração de responsabilidade da área de controle i

R2r_i: reserva secundária para redução da geração de responsabilidade da área de controle i

7.1.1.4.2. A reserva R1 deve ser necessariamente alocada na própria área de controle, entre o limite máximo de geração das unidades geradoras e a geração efetivamente realizada. Em cada área de controle do SIN, essa reserva deve ser distribuída por todas as unidades geradoras com regulador de velocidade desbloqueado e que não estejam com geração maximizada.

7.1.1.4.3. A utilização da reserva R1 é feita automaticamente pelos reguladores de velocidade das unidades geradoras, não sendo, portanto, necessário estabelecer critérios para a sua utilização.

7.1.1.4.4. No caso de Itaipu Binacional, a reserva R1 será alocada conforme Equação (15) e (16):

$$(15) R1(50Hz) = R1(Itaipu) \times \frac{N(50Hz)}{N(50Hz)+N(60Hz)}$$

$$(16) R1(60Hz) = R1(Itaipu) \times \frac{N(60Hz)}{N(50Hz)+N(60Hz)}$$

sendo,

N(50 Hz): número de unidades geradoras sincronizadas de 50 Hz

N(60 Hz): número de unidades geradoras sincronizadas de 60 Hz

7.1.1.4.5. A reserva secundária para elevação da geração (R2e) deve ser constituída de reserva girante, sendo obrigatoriamente alocada em unidades sob o controle do Controle Automático de Geração (CAG), entre o limite máximo de geração das unidades geradoras e a geração efetivamente realizada.

7.1.1.4.6. A reserva secundária para redução da geração (R2r) deve ser constituída de reserva girante, sendo obrigatoriamente alocada em unidades sob o controle do CAG, entre a geração efetivamente realizada e o limite inferior de geração definido pela zona proibitiva de operação por problemas de cavitação.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.1.1.4.7. Em cada área de controle, devem ser alocados os valores correspondentes às R2e e R2r da respectiva área de controle.

7.1.1.4.8. Na Itaipu Binacional, a R2e ficará alocada no setor de 60Hz, enquanto essa usina estiver sob o controle do CAG do Centro de Operação Sudeste – COSR-SE, conforme a seguir:

- (a) $R2e (\text{Setor } 60\text{Hz}) = R2e (\text{ITAIPU}) - 2,5\% \text{ INTERCÂMBIO ITAIPU/ANDE}$; e
- (b) $R2e (\text{Setor } 50\text{Hz}) = 2,5\% \text{ INTERCÂMBIO ITAIPU/ANDE} + R2e (\text{ANDE})$.

7.1.1.4.9. Por necessidade do sistema, o Centro Nacional de Operação do Sistema (CNOS) poderá alocar a reserva R2e (Setor 60 Hz - total ou em parte) nas unidades sob controle do Centro Regional de Operação do Sistema do Sudeste (COSR-SE). Na situação em que ITAIPU - 60Hz estiver fora do CAG do COSR-SE, a reserva R2e (Setor 60Hz) deve ser alocada nas usinas da área de controle do COSR-SE sob CAG.

7.1.1.4.10. A utilização da reserva R2 é feita automaticamente pelos CAG, não sendo, portanto, necessário estabelecer critérios para sua utilização.

7.1.1.4.11. A reserva R3 deve ser girante, preferencialmente alocada em unidades sob o controle do CAG da área de controle correspondente, entre o limite máximo de geração das unidades geradoras e a geração efetivamente realizada. Pode ser alocada em unidades não ligadas a um CAG no caso de restrições operativas, faixas de operação de máquinas, limites de transmissão etc.

7.1.1.4.12. No caso de Itaipu Binacional, sua reserva R3 será alocada de acordo com o estabelecido no Programa Mensal de Operação Energética (PMO).

7.1.1.4.13. A reserva R3 é utilizada para complementar a reserva de potência, calculada deterministicamente, de modo a cobrir variações de carga e saídas não programadas de unidades geradoras, provocadas por defeitos em quaisquer dos equipamentos que a compõem (caldeira, turbina, serviços auxiliares, gerador, sistema de excitação, sistema de adução etc.), inclusive no elevador. Devem ser também consideradas as reduções de disponibilidade por defeito nesses equipamentos.

7.1.2. Critério

7.1.2.1. Se a reserva de potência global do sistema, calculada probabilisticamente, for inferior ou igual a 5% da carga do sistema, ela será considerada igual a 5% da carga do sistema ($MM_{\text{prob}} = 0$) e, conseqüentemente, a reserva terciária (R3) será igual a zero, conforme Equação (9).

7.1.2.2. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para cálculo da reserva de potência girante probabilística* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

7.2. Estudos de controle carga-frequência

7.2.1. Premissas

7.2.1.1. As seguintes situações devem ser simuladas nos estudos de controle carga-frequência:

- (a) as perdas das unidades geradoras e os impactos naturais de carga em cada área de controle, ocorrendo simultaneamente; e
- (b) a perda das maiores máquinas de cada subsistema geoeletrico com seus despachos maximizados

7.2.1.2. A estratégia de controle adotada deve ser tal que não introduza no sistema qualquer tendência de instabilidade.

7.2.1.3. As áreas de regulação devem dispor de reserva de potência suficiente e adequadamente locada para que possam absorver suas próprias variações de carga e de geração.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.2.1.4. A ferramenta computacional utilizada nesses estudos – *Modelo para análise de estabilidade eletromecânica* – está apresentada no documento de metodologia deste submódulo.

7.2.2. Critérios

7.2.2.1. Os erros de controle devem ser minimizados para serem evitados acúmulos indevidos de intercâmbios involuntários e erros de tempo. Para tanto, os erros de controle das áreas de regulação devem cortar o zero em até 10 minutos.

7.2.2.2. O desempenho do sistema de CAG de uma área de regulação não deve trazer prejuízo ao desempenho de outras áreas.

7.2.2.3. Os desvios de frequência devem ser anulados o mais rapidamente possível a fim de garantir a inexistência de desequilíbrios prolongados entre geração e carga.

7.2.2.4. Os desvios dos intercâmbios entre as áreas de regulação devem também ser anulados de tal forma que cada área de regulação termine por absorver integralmente suas próprias variações de carga e de geração.

7.2.3. Critérios de desempenho

7.2.3.1. Aspectos gerais

7.2.3.1.1. A fim de possibilitar a análise comparativa do comportamento do sistema sob as diversas modalidades de estratégia de controle, são levantados os índices de desempenho (ID) descritos a seguir, calculados para um período de 15 minutos. Tais critérios não devem ser analisados isoladamente, de modo a se evitar falsas conclusões.

7.2.3.2. Índice de desempenho 1 (ID₁):

- (a) conceituação: integral no tempo do erro de controle de área (ECA), conforme Equação (17).

$$(17) ID_1 = \int ECA \, dt$$

- (b) objetivo: verificar o adequado desempenho dos controles secundários por meio da análise das tendências de subgeração ou sobregeração de cada área de controle.

- (1) Valores elevados desse índice são indesejáveis, pois indicam um mau desempenho do controle secundário, o que gera uma tendência de acúmulo de intercâmbios involuntários.
- (2) A análise desse índice não deve ocorrer isoladamente, para não haver a situação indesejável de uma oscilação sustentada do ECA, cuja integral é nula, como apresentado na Figura 4.

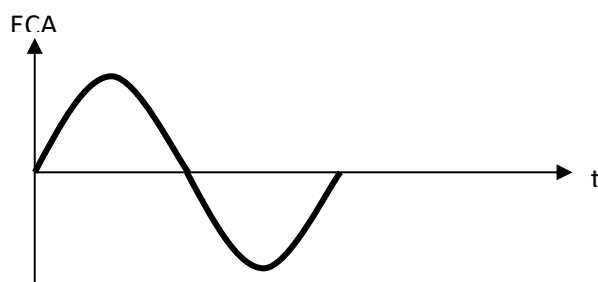


Figura 4 - Oscilação sustentada do ECA

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.2.3.3. Índice de desempenho 2 (ID₂):

- (a) conceituação: integral no tempo do produto do módulo do desvio de frequência pelo tempo, conforme Equação (18).

$$(18) ID_2 = \int t \cdot |\Delta f| dt$$

- (b) objetivo: fornecer uma medida da efetividade do controle no desempenho dinâmico do sistema uma vez que pondera o erro em função do instante de sua ocorrência.

(1) O ID₂ relaciona-se aos requisitos de estabilidade de funcionamento a longo termo.

7.2.3.4. Índice de desempenho 3 (ID₃):

- (a) conceituação: desvio máximo de frequência, em módulo, para cada área de controle e para cada impacto selecionado, conforme Equação (19).

$$(19) ID_3 = |\Delta f|_{max}$$

- (b) objetivo: refletir as tendências de afastamentos máximos absolutos das diferentes áreas de controle em que se subdivide o sistema.

7.2.3.5. Índice de desempenho 4 (ID₄):

- (a) conceituação: taxa de recuperação da frequência de cada área de controle em que se subdivide o sistema, conforme Equação (20).

$$(20) ID_4 = \frac{\Delta f}{\Delta t}$$

- (b) objetivo: mostrar a velocidade de recuperação da frequência para os diversos tipos de impactos selecionados.

(1) O ID₄ pode ser avaliado pelo coeficiente angular da reta *ab* mostrada na Figura 5.

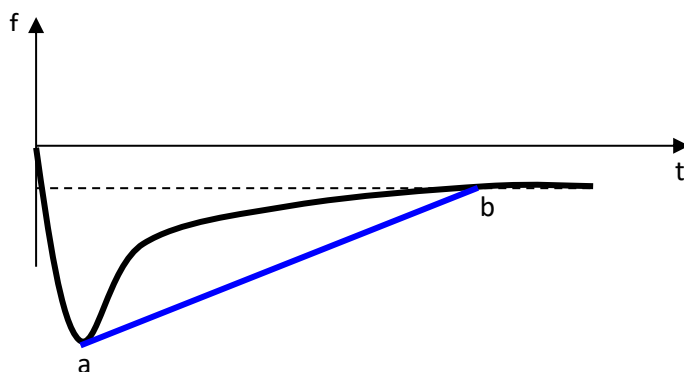


Figura 5 – Taxa de recuperação da frequência

7.2.3.6. Índice de desempenho 5 (ID₅):

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (a) conceituação: integral no tempo do produto do módulo do erro absoluto de controle de área pelo tempo, conforme Equação (21).

$$(21) ID_5 = \int t \cdot |ECA| dt$$

- (b) objetivo: fornecer uma medida da efetividade do controle no desempenho dinâmico do sistema por meio da penalização de forma crescente dos erros persistentes.

- (1) Do mesmo modo que o ID_2 , o ID_5 relaciona-se aos requisitos de estabilidade de funcionamento a longo termo.

7.2.3.7. Índice de desempenho 6 (ID_6):

- (a) conceituação: número de vezes em que o ECA de cada área de controle passa por zero, conforme Figura 6.

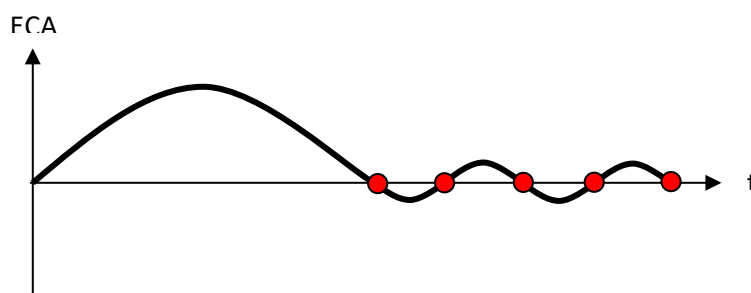


Figura 6 – Apuração do ID_6

- (b) objetivo: aferir a eficácia do controle suplementar através do número de tentativas efetuadas pelo controle secundário no sentido de anular os desvios de frequência e/ou intercâmbio.

7.2.3.8. Índice de desempenho 7 (ID_7):

- (a) conceituação: desvio de frequência em regime permanente que se verifica em impactos do tipo perturbação, quando existe a possibilidade de formação de áreas carentes de reserva de potência, conforme Equação (22) e Figura 7.

$$(22) ID_7 = \Delta f_{rp}$$

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

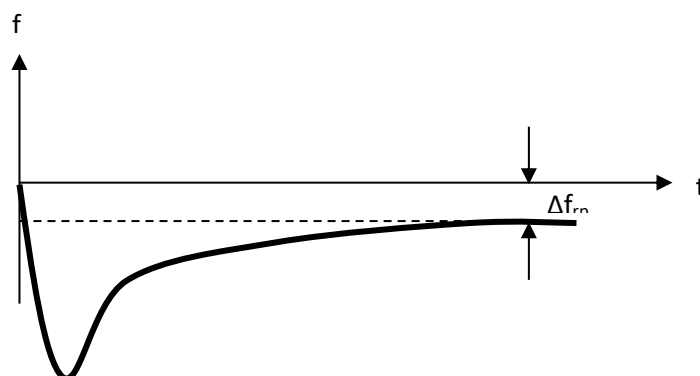


Figura 7 – Apuração do ID₇

- (b) objetivo: fornecer uma medida das deficiências de reserva de potência das áreas de controle quando submetidas a impactos do tipo perturbação.

7.2.3.9. Índice de desempenho 8 (ID₈):

- (a) conceituação: integral no tempo do produto do ECA pelo tempo, conforme Equação (23).

$$(23) ID_8 = \int t \cdot ECA \, dt$$

- (b) objetivo: fornecer uma medida da efetividade do controle no desempenho dinâmico do sistema por meio da penalização de forma crescente dos erros persistentes.
- (1) Semelhantemente ao índice ID₅, o ID₈ pondera o erro no tempo, porém o faz sem tomar o ECA em valor absoluto.

7.2.3.10. Índice de desempenho 9 (ID₉):

- (a) conceituação: integral no tempo do erro quadrático da frequência, conforme Equação (24).

$$(24) ID_9 = \int \Delta f^2 \, dt$$

- (b) objetivo: penalizar o erro de frequência independentemente de seu sinal, de modo a impedir o cancelamento de erros de controle da frequência de sinais contrários ao longo do tempo.

7.2.3.11. Índice de desempenho 10 (ID₁₀):

- (a) conceituação: integral no tempo do ECA quadrático, conforme Equação (25).

$$(25) ID_{10} = \int ECA^2 \, dt$$

- (b) objetivo: penalizar o erro independentemente de seu sinal, de modo a impedir o cancelamento de ECA de sinais contrários ao longo do tempo.

7.3. Estudos de recomposição do sistema

7.3.1. Premissas gerais

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.3.1.1. Os estudos de recomposição definem os procedimentos operacionais para o restabelecimento do sistema após perturbação geral ou parcial e são de responsabilidade do ONS, com anuência dos agentes envolvidos.

7.3.1.2. Os estudos de recomposição estabelecem, para os corredores preferenciais do SIN, os procedimentos a serem observados pela operação das usinas e subestações quando do restabelecimento da rede de forma fluente ou coordenada com os centros de operação do sistema.

7.3.1.3. A recomposição da malha principal do SIN deve se processar em duas fases: fluente e coordenada.

7.3.1.4. Na fase fluente, as seguintes condições devem ser consideradas:

- (a) as áreas geoeletricas de recomposição devem estar totalmente desenergizadas;
- (b) deve-se iniciar a recomposição por meio das usinas de autorrestabelecimento (usinas com *black start*);
- (c) os procedimentos operacionais previamente definidos devem permitir a recomposição de áreas geoeletricamente definidas, com o balanço adequado entre carga e geração em uma configuração mínima de rede, para evitar desvios de tensão e frequência e atuações indevidas das proteções;
- (d) as usinas térmicas não são consideradas como fontes de restabelecimento do SIN; porém, sempre que tecnicamente viável, devem possuir esquemas de ilhamento que preservem uma parcela do sistema estável após grandes distúrbios;
- (e) deve ser atendida a maior parcela possível do montante máximo de carga prioritária pré-definido; deve-se levar em consideração a condição de carga pesada para garantir a viabilidade da recomposição em qualquer horário, obedecendo as condições especificadas no item 8.3.2.

7.3.1.5. Concluída a fase fluente da recomposição, novas medidas devem ser tomadas no sentido de restabelecer os montantes adicionais de carga para trazer o SIN à sua configuração pré-distúrbio, sem colocar em risco a estabilidade do sistema.

7.3.1.6. A recomposição coordenada só deve ter início após a verificação dos seguintes requisitos:

- (a) ausência de sobrecargas em equipamentos da área considerada;
- (b) estabilização da frequência;
- (c) níveis de tensão compatíveis com a configuração da área geoeletrica, associados aos montantes de tomada de carga prioritária pré-estabelecidos; e
- (d) o processo de recomposição volta a ser coordenado no caso de um impedimento no processo fluente preferencial.

7.3.1.7. Os estudos de recomposição são elaborados e atualizados levando em conta os seguintes aspectos:

- (a) deve haver sempre um equilíbrio entre carga e geração das áreas das usinas de autorrestabelecimento que fazem parte da malha principal do SIN;
- (b) devem-se definir os limites de tensão e disponibilizar blocos de carga em patamares seguros;
- (c) devem-se, sempre que possível, além do procedimento prioritário de recomposição, prever alternativas para situações de indisponibilidade de equipamentos que comprometam os procedimentos das áreas de recomposição; e

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (d) devem-se reavaliar os procedimentos operacionais em função da entrada em operação de novos equipamentos ou de alterações na topologia da rede.

7.3.1.8. Os dados para realização dos estudos de recomposição do sistema devem ser obtidos a partir do banco de dados do ONS e das informações complementares dos agentes para os estudos de fluxo de potência, estabilidade eletromecânica e transitórios eletromagnéticos.

7.3.1.9. As ferramentas computacionais utilizadas nesses estudos – *Modelo para análise de redes em regime permanente*, *Modelo para análise de estabilidade eletromecânica* e *Modelo para análise de transitórios eletromagnéticos* – estão apresentadas no documento de metodologia deste submódulo.

7.3.2. Estudos em regime permanente

7.3.2.1. Os estudos de regime permanente são feitos para analisar as condições do sistema nas diversas etapas e configurações da recomposição, verificando os perfis de tensão, os carregamentos em equipamentos e a capacidade das unidades geradoras do sistema nas situações pré-manobra e pós manobra, de acordo com os seguintes critérios:

- (a) as cargas devem ser representadas conforme item 2.2.1.1;
- (b) disponibilidade inicial de geração;
- (c) o montante de carga tomado fluentemente não pode exceder a referida disponibilidade inicial de potência ativa em cada área geoeletrica.
- (d) como critério geral, a disponibilidade inicial de geração deve considerar para cada usina de autorrestabelecimento que uma das unidades geradoras esteja em manutenção ($n-1$, onde n é o número de unidades geradoras da usina), ou que haja um número mínimo de unidades geradoras sincronizadas (n_{\min}).
- (e) o número mínimo de unidades geradoras (n_{\min}) é definido a partir de estudos elétricos, com o intuito de evitar a ocorrência de autoexcitação quando de rejeição de carga para determinadas condições críticas de rede, ou em função da sensibilidade dos ajustes da proteção;
- (f) para ($n-1$) unidades geradoras ou para o número mínimo de unidades geradoras (n_{\min}) disponíveis nas usinas de autorrestabelecimento, o valor da potência inicialmente disponível é obtido a partir da Equação (26) ou (27):

$$(26) P_{\text{disp}} = 0,8 \times (n-1) \times P_n$$

$$(27) P_{\text{disp}} = 0,8 \times n_{\min} \times P_n$$

sendo,

P_n : potência nominal ou efetivamente disponível por unidade geradora (MW); e

P_{disp} : potência total inicialmente disponibilizada pela usina (MW).

- (g) para áreas geoeletricas com mais de uma usina de autorrestabelecimento que participe da recomposição na fase fluente, a potência total inicialmente disponibilizada na referida área é a soma das potências disponibilizadas em cada uma das usinas participantes do processo de recomposição;
- (h) controle de tensão nas áreas geoeletricas durante a fase fluente da recomposição:

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- (1) Para serem obtidos os níveis de tensão adequados nos barramentos do sistema, devem ser utilizados os recursos disponíveis para fornecimento de potência reativa pelas usinas, reatores *shunt* e tomadas de cargas necessárias.
 - (i) os recursos de capacitores *shunt* e/ou compensadores síncronos ou estáticos não são considerados para o controle de tensão durante o processo de recomposição fluente, exceto nos casos definidos nas instruções operativas.
- (2) A disponibilidade de fornecimento de potência reativa pelas usinas para controle de tensão na fase fluente é obtida a partir da curva de capacidade das unidades geradoras;
 - (i) o número de unidades geradoras a ser considerado é o que fornece a potência ativa inicialmente disponibilizada, conforme item 8.3.2.1(a).
 - (ii) a disponibilidade de fornecimento de potência reativa pelas usinas, juntamente com as características de impedância da configuração mínima da área geoeletrica considerada, permite determinar o limite de carga prioritária a ser atendido, em função do controle de tensão na fase fluente.
- (3) a disponibilidade de fornecimento de potência reativa, associada ao fator de potência das cargas a serem restabelecidas, e a configuração mínima dessa área geoeletrica podem definir o valor máximo de carga a ser atendido na fase fluente.
- (4) para cada procedimento prioritário de recomposição fluente de uma área geoeletrica e de forma a garantir o controle da tensão e disponibilidade do fornecimento de potência reativa de toda área, devem ser estabelecidas a tensão de partida e o número mínimo de unidades geradoras da usina de autorrestabelecimento.
- (5) Deve-se considerar a faixa entre 0,85 e 0,95 para o fator de potência das cargas restabelecidas a partir das áreas geoeletricas, em função da existência ou não de compensação local dessa carga através de banco de capacitores.
- (6) A tensão deve obedecer, para as fases fluente e coordenada, às restrições específicas de equipamentos informadas pelos agentes.
 - (i) Na ausência dessas informações, devem ser considerados os valores limite para níveis de tensão em regime permanente apresentados na Tabela 8.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Tabela 8 – Níveis de tensão aceitáveis em regime permanente para estudos de recomposição

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ | FASES FLUENTE/COORDENADA ⁽²⁾ | | | |
|---|---|------|--------|-------|
| | Mínimo | | Máximo | |
| (kV) | (kV) | (pu) | (kV) | (pu) |
| < 230 | – | 0,90 | – | 1,10 |
| 230 | 207 | 0,90 | 253 | 1,10 |
| 345 | 311 | 0,90 | 380 | 1,10 |
| 440 | 396 | 0,90 | 484 | 1,10 |
| 500 | 450 | 0,90 | 550 | 1,10 |
| 525 | 475 | 0,90 | 550 | 1,05 |
| 765 | 690 | 0,90 | 800 | 1,046 |

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

(2) Caso haja limitações em equipamentos ou nos recursos de controle de tensão disponíveis nas subestações pertencentes a cada etapa de energização dos corredores de recomposição, cabe a cada empresa adotar, com o conhecimento do ONS, limites diferentes dos definidos na **Tabela 8** para os níveis máximo e mínimo da tensão.

7.3.3. Estudos de estabilidade eletromecânica

7.3.3.1. Os estudos de estabilidade eletromecânica na recomposição são feitos para analisar o comportamento das oscilações de frequência e de tensão durante as tomadas de carga e/ou rejeição de carga, conforme os limites estabelecidos na Tabela 9 e Tabela 10, e quando há fechamentos de paralelo e de anel, conforme itens 2.4.4 e 2.4.5.

7.3.3.2. As cargas devem ser representadas conforme item 2.4.1.1.

7.3.3.3. Nas simulações, devem ser considerados os reguladores de tensão e de velocidade das unidades geradoras nas usinas, à exceção de máquinas de pequeno porte.

7.3.3.4. Não deve ser considerada a atuação de sinais adicionais estabilizadores (PSS) nas simulações da fase fluente.

7.3.3.5. As sobretensões dinâmicas decorrentes de rejeição de carga devem ficar limitadas aos valores máximos da Tabela 10, pois o valor de sobretensão decorrente de uma possível rejeição de carga pode limitar o montante máximo de tomada de carga e evitar uma nova sequência de desligamentos após a rejeição, quando as áreas de autorrestabelecimento ainda estão eletricamente separadas e com baixo nível de curto-circuito.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

Tabela 9 – Níveis aceitáveis para oscilações de frequência em regime dinâmico

| UNIDADE GERADORA | FREQUÊNCIA (Hz) | | | |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | FASE FLUENTE | | FASE COORDENADA | |
| | Mínimo ⁽¹⁾ | Máximo ⁽¹⁾ | Mínimo ⁽¹⁾ | Máximo ⁽¹⁾ |
| Hidroelétrica | 56 | 66 | 57 | 63 |
| Termoelétrica | Não se aplica | | | |

(1) Os limites máximo e mínimo de frequência podem ser ampliados ou reduzidos em função de informações dos agentes envolvidos.

Tabela 10 – Níveis aceitáveis para oscilações de tensão em regime dinâmico

| Tensão nominal de operação ⁽¹⁾ | TENSÃO DINÂMICA | | | | |
|---|-----------------|------|--------|------|---|
| | Mínimo | | Máximo | | |
| (kV) | (kV) | (pu) | (kV) | (pu) | ou 5% abaixo do ajuste da proteção de sobretensão temporizada |
| < 138 | – | 0,85 | – | 1,25 | |
| 138 | 117 | 0,85 | 173 | 1,25 | |
| 230 | 195 | 0,85 | 288 | 1,25 | |
| 345 | 293 | 0,85 | 430 | 1,25 | |
| 440 | 374 | 0,85 | 550 | 1,25 | |
| 500 | 450 | 0,90 | 655 | 1,30 | |
| 525 | 450 | 0,85 | 655 | 1,25 | |
| 765 | 650 | 0,85 | 956 | 1,25 | |

(1) Valor eficaz de tensão pelo qual o sistema é designado.

7.3.3.6. No fechamento de paralelos ou de anéis, conforme itens 2.4.4 e 2.4.5, devem ser investigadas as sobretensões dinâmicas e verificado o atendimento ao critério da máxima variação instantânea da potência acelerante das máquinas e a manutenção da estabilidade eletromecânica do sistema.

7.3.3.7. Em áreas geoeletricas definidas com mais de uma usina de autorrestabelecimento na fase fluente, o controle de frequência deve ser feito por apenas uma delas. As demais usinas ficam com a responsabilidade de assumir carga, de forma a garantir uma folga de geração na usina que controla a frequência para possibilitar a continuação do processo de tomada de carga e controle da frequência.

7.3.3.8. Para avaliação da possibilidade de autoexcitação das unidades geradoras, deve ser verificado a tendência de crescimento descontrolado da tensão terminal das máquinas síncronas após a ocorrência de rejeição de carga, observando os ajustes de proteção de sobretensão das máquinas.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

7.3.3.8.1. Esse fenômeno pode ocorrer em função dos parâmetros elétricos da máquina, de seus reguladores de tensão e de velocidade, das características da rede à qual a máquina está conectada e dos montantes de rejeição de carga impostos à máquina.

7.3.3.9. A tomada do montante máximo de carga prioritária estabelecido para fase fluente deve ser realizado em degraus. Cada degrau de tomada fluente da carga deve ter variação de tensão igual ou inferior a 5% da tensão nominal de operação e sem variação de frequência além das faixas estabelecidas na Tabela 9, em função das características da área em recomposição.

7.3.3.10. A situação ideal é a tomada fluente da carga em degraus com valores máximos de 20 a 50% da potência inicialmente disponibilizada.

7.3.3.11. O intervalo de tempo entre tomadas fluentes de carga consecutivas, em uma mesma área de autorrestabelecimento, é um parâmetro importante à segurança do processo de recomposição e do restabelecimento das cargas prioritárias na fase fluente.

7.3.3.11.1. As tomadas fluentes de carga consecutivas não devem ser feitas em intervalo de tempo inferior a 1 minuto, para possibilitar a estabilização das oscilações de tensão e de frequência decorrentes da tomada do último degrau de carga pelos reguladores automáticos de tensão e de velocidade das unidades geradoras nas usinas de autorrestabelecimento.

7.3.3.12. De acordo com a configuração do sistema em recomposição, pode ser necessário definir valores limite de transmissão com a rede ainda reduzida.

7.3.3.12.1. Esses valores limites são importantes para evitar situações de tomada de carga que podem resultar em situações de colapso de tensão no sistema. Deve ser determinado o valor máximo de carga que não pode ser ultrapassado para uma configuração específica, durante o processo de recomposição.

7.3.4. Estudos de transitórios eletromagnéticos

7.3.4.1. As premissas e os critérios para realização destes estudos se encontram nos itens 2.5 e 2.6.

8. PREMISSAS E CRITÉRIOS PARA ESTUDOS DE SEGURANÇA DE TENSÃO

8.1. Considerações Gerais

8.1.1. As premissas e os critérios apresentados nos itens 2.2.2 e 2.2.4 e complementados neste item para os estudos de segurança de tensão são aplicados a estudos específicos descritos no Submódulo 3.1, Submódulo 3.2 – Modernização de instalações, Submódulo 3.4, Submódulo 4.1, Submódulo 3.10 e Submódulo 3.11 – Análise técnica dos serviços ancilares de suporte de reativos, controle secundário de frequência e autorrestabelecimento integral.

8.1.2. As ferramentas computacionais utilizadas nesses estudos – *Modelo para análise de redes em regime permanente*, *Modelo de fluxo de potência ótimo* e *Modelo para análise de estabilidade eletromecânica* – estão apresentadas no documento de metodologia deste submódulo.

8.2. Premissas

8.2.1. As modelagens de carga nas análises estática e dinâmica devem estar em conformidade com as definidas nos itens 2.2 e 2.4.

8.2.2. O fator de potência deve ser mantido constante durante o processo de incremento de carga de uma determinada área em estudo. O redespacho necessário é escolhido, para fazer frente ao incremento de carga, em grupos de geradores que provoquem carregamento mais crítico no sistema.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|---|-----------|-----------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

8.2.3. A carga do tipo motor de indução deve ser representada nas análises estática e dinâmica de segurança de tensão. Na impossibilidade dessa modelagem, o percentual da barra de carga, estimado como motor de indução, deve ter suas parcelas de carga ativa e reativa representadas, respectivamente, com corrente e impedância constantes.

8.2.4. Os estudos de planejamento da operação devem definir limites operativos e avaliar a necessidade de SEP, a fim de garantir a segurança de tensão.

8.2.5. A avaliação de segurança de tensão em tempo real deve cobrir situações não previstas na fase de planejamento da operação e evitar a operação na região onde esquemas de controle de emergência precisem ser ativados.

8.2.6. No âmbito do planejamento da operação, os estudos de segurança de tensão, quando pertinentes, devem determinar margens de segurança considerando rede completa e Rede Incompleta, seja pelas incertezas presentes nesses horizontes, seja pela necessidade de previsão de manutenção de elementos ou recursos importantes da rede. Em tempo real, uma vez que o estado e a topologia do sistema são conhecidos, pode ser necessário um número menor de cenários e menor margem de segurança de tensão (MST).

8.2.6.1. A margem de segurança de tensão (MST) é definida como a distância mínima para um ponto de operação do sistema onde há risco de instabilidade de tensão.

8.2.7. Na impossibilidade de avaliação da segurança de tensão em tempo real, as margens de segurança e as recomendações dos estudos de planejamento da operação devem ser adotadas, por meio de instruções de operação, a fim de possibilitar uma segura monitoração por parte dos operadores do sistema.

8.3. Critérios

8.3.1. Um sistema elétrico é considerado seguro em relação à tensão quando, para uma dada condição operativa, a MST e os níveis de tensão pré-contingência e pós-contingência encontram-se em conformidade com os critérios estabelecidos.

8.3.2. A consistência entre critérios e métodos da avaliação de segurança de tensão, nas áreas de planejamento da operação e de tempo real deve ser observada. Enquanto as duas áreas podem examinar diferentes cenários e requerer diferentes margens de segurança, é importante que os procedimentos e modelos estejam consolidados para que os resultados obtidos possam ser comparados.

8.3.3. As diferentes características de suprimento, de modelagem e de recursos entre as áreas do SIN podem implicar necessidades que justifiquem a adoção de critério particular para a definição de margens mais seguras nos estudos de segurança de tensão.

8.3.4. As margens de segurança de tensão para os estudos de planejamento da operação são de 7% e 4%, nas análises com rede completa e incompleta, respectivamente. Em tempo real, uma margem de 4% deve ser considerada.

8.3.5. Os critérios para níveis e variações de tensão em pré-contingência e pós-contingência são os mesmos estabelecidos nos itens 2.2. e 2.4.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE, Resolução nº 01, de 25 de janeiro de 2005.
- [2] ANEEL. Resolução Normativa nº 905, de 8 de dezembro de 2020. Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 3 - Instalações e Equipamentos de Transmissão.

| Nome | Submódulo | Tipo | Revisão | Vigência |
|--|------------|------------------|---------|------------|
| Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos | 2.3 | Critérios | 2022.10 | 03/10/2022 |

- [3] ANEEL. Resolução Normativa nº 905, de 8 de dezembro de 2020. Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Módulo 4 - Prestação dos Serviços.
- [4] Nota Técnica DSE.T.033.84. Simulação de capacitores série em estudos de estabilidade. Rio de Janeiro: Furnas Centrais Elétricas, dez. 1984.
- [5] ABNT, Equipamentos de Alta Tensão – Parte 100: Disjuntores de Alta Tensão de Corrente Alternada, NBR IEC 62271-100, 04/01/2007.
- [6] CIGRE Working Group. Controlled switching of HVAC circuit breakers: guide for application: lines, reactors, capacitors and transformers – 1st Part, CIGRE Working Group 13.07, ELECTRA no. 183, April/1999.
- [7] CIGRE Working Group. Controlled switching of HVAC circuit breakers: guide for application: lines, reactors, capacitors and transformers – 2nd Part, CIGRE Working Group 13.07, ELECTRA no. 185, August/1999.
- [8] IEEE. Subsynchronous Resonance Working Group of the System Dynamic Performance Subcommittee. Terms, definitions and symbols for subsynchronous oscillations. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 6, June 1985.
- [9] Internacional Electrotechnical Commission. IEC 62271-100 – High-voltage switchgear and controlgear.
- [10] Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS. “Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão”, disponibilizado no site do ONS.
- [11] IEEE. Standard C50.12-1989 – Requirement for salient-pole synchronous generators and generator motors for hydraulic-turbine applications.
- [12] Balossi, A., Malaguti, M., Ostano, P., Laboratory full-scale tests for determination of the secondary arc extinction time in high-speed reclosing, IEEE Summer Power Meeting, New Orleans, July 10-15, 1966.
- [13] Haubrich, H.-J., Hosemann, G., Thomas, R., Single-phase auto-reclosing in EHV Systems, CIGRE 1974, paper 31-09, Paris, 1974.
- [14] Operador Nacional do Sistema Elétrico. Nota Técnica ONS nº 48/2014 e suas revisões – Critérios para Análise de Superação de Equipamentos e Instalações de Alta Tensão, disponibilizado no site do ONS.