



**Operador Nacional
do Sistema Elétrico**

Submódulo 2.5

Requisitos mínimos para elos de corrente contínua

Rev. Nº.	Motivo da revisão	Data de aprovação pelo ONS	Data e instrumento de aprovação pela ANEEL
0.0	Este documento foi motivado pela criação do Operador Nacional do Sistema Elétrico.	09/10/2000	_____
0.1	Adequação à Resolução nº 140/02 – ANEEL, de 25/03/2002	09/05/2002	_____
0.2	Adequação ao Ofício nº 112/2002-SRT/ANEEL, de 22/08/2002	_____	24/12/2002 Resolução nº 791/02
0.3	Atendimento à Resolução Normativa ANEEL nº 115, de 29 de novembro de 2004.	10/10/2005	07/07/2008 Resolução Autorizativa nº 1436/08
1.0	Versão decorrente da Audiência Pública nº 049/2008, submetida para aprovação em caráter definitivo pela ANEEL.	17/06/2009	05/08/2009 Resolução Normativa nº 372/09

Nota: Convencionou-se como 1.0 a primeira versão deste procedimento aprovada em caráter definitivo pela ANEEL. A numeração das versões anteriores foi alterada de forma a ter numeração inferior a 1.0 (ex. a antiga versão 0 é agora chamada de 0.0, a antiga versão 1 é agora chamada de 0.1, e assim em diante).

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS	3
3 ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO	4
4 REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS.....	4
4.1 DEFINIÇÕES E REQUISITOS DE ORDEM GERAL.....	4
4.2 REQUISITOS MÍNIMOS DE OPERAÇÃO DO ELO CC	5
4.3 REQUISITOS QUANTO A FALHAS DE COMUTAÇÃO	7
4.4 OPERAÇÃO DOS CONVERSORES DURANTE DEFEITOS NO SISTEMA	7
4.5 VARIAÇÃO DE TENSÃO DE CA ADMISSÍVEL PARA MANOBRA DE COMPENSAÇÃO REATIVA	8
4.6 ARRANJO DE BARRAMENTO DA SUBESTAÇÃO CA DAS CONVERSORAS	8
4.7 COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO	8
4.8 REQUISITOS DE POTÊNCIA REATIVA	8
4.9 EFICIÊNCIA DO ELO CC.....	9
4.10 DISPONIBILIDADE E CONFIABILIDADE DAS SE CONVERSORAS	9
4.11 INTERFERÊNCIA EM RÁDIO.....	10
4.12 RUÍDO AUDÍVEL	10
4.13 SISTEMA DE CONTROLE DO ELO CC	10
4.14 ELETRODOS	12
4.15 VALORES NOMINAIS (<i>RATINGS</i>) DOS ELEMENTOS DOS FILTROS PASSIVOS	12
4.16 TELECOMUNICAÇÃO	13
4.17 LINHAS CC	13
4.18 PROTEÇÃO	14
4.19 REQUISITOS DE TELESSUPERVISÃO	15
4.20 REGISTRO DE PERTURBAÇÕES	15
5 DOCUMENTAÇÃO	15

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

1 INTRODUÇÃO

1.1 Este submódulo aplica-se aos elos de corrente contínua (CC) entre dois pontos da rede básica, licitados, leiloados, autorizados ou lançados em mercado por qualquer outro processo.

1.2 Apresenta requisitos mínimos funcionais, operacionais e de desempenho para elos CC a serem conectados às redes de corrente alternada (CA) da rede básica.

1.3 Não são consideradas neste submódulo as perturbações produzidas pelos elos CC sobre sistemas de telecomunicações não componentes da rede básica, sobre ferrovias, sobre aeroportos e sobre o ambiente externo. É do agente a responsabilidade pelo atendimento às normas correspondentes ou às exigências das partes afetadas.

1.4 Considera-se, neste submódulo, que as instalações CA necessárias ao funcionamento do elo CC e localizadas nas subestações terminais, tais como transformadores conversores, filtros, compensadores síncronos e capacitores shunt, fazem parte dos elos CC.

1.5 Não estão aqui incluídos os requisitos funcionais e de desempenho de configurações multiterminais, nem requisitos de transmissões com cabos subterrâneos e/ou submarinos. No entanto, esses sistemas devem respeitar os requisitos de interação entre conversoras e a rede básica aqui estabelecidos.

1.6 Os requisitos desse submódulo se aplicam diretamente às novas instalações de transmissão e são referência para possíveis adequações de instalações de transmissão existentes, conforme descrito no Submódulo 2.1 *Requisitos mínimos para instalações e gerenciamento de indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes: visão geral*.

1.7 Os submódulos aqui mencionados são:

- (a) Submódulo 2.1 *Requisitos mínimos para instalações e gerenciamento de indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes: visão geral*;
- (b) Submódulo 2.3 *Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos*;
- (c) Submódulo 2.4 *Requisitos mínimos para linhas de transmissão aéreas*;
- (d) Submódulo 2.6 *Requisitos mínimos para os sistemas de proteção e de telecomunicações*;
- (e) Submódulo 2.7 *Requisitos de telessupervisão para a operação*;
- (f) Submódulo 2.8 *Gerenciamento dos indicadores de desempenho da rede básica e de seus componentes*;
- (g) Submódulo 3.6 *Requisitos técnicos mínimos para a conexão à rede básica*;
- (h) Submódulo 4.3 *Metodologia para elaboração das propostas de ampliações e reforços*; e
- (i) Submódulo 13.2 *Requisitos de telecomunicações*.

2 OBJETIVOS

2.1 O objetivo deste submódulo é estabelecer requisitos técnicos mínimos funcionais e de projeto dos elos CC com ou sem linha CC (*back-to-back*) a serem conectados entre pontos da rede básica.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

3 ALTERAÇÕES DESTA REVISÃO

3.1 Alterações decorrentes das contribuições recebidas e aprovadas pela ANEEL relativas ao processo de Audiência Pública nº 049/2008 com o objetivo de possibilitar a aprovação em caráter definitivo dos Procedimentos de Rede.

4 REQUISITOS TÉCNICOS MÍNIMOS

4.1 Definições e requisitos de ordem geral

4.1.1 Potência do elo CC

4.1.1.1 A potência nominal do elo CC para os dois sentidos do fluxo deve ser aquela definida pelos estudos de planejamento da expansão. Considera-se como potência nominal do elo CC a potência em regime contínuo no terminal CC do lado de maior capacidade que esteja operando como retificador. Essa potência deve poder ser alcançada para a temperatura média das máximas anuais da região na qual a(s) conversora(s) será(ão) instalada(s), sem que seja utilizada redundância de refrigeração.

4.1.1.2 O elo CC deve ser capaz de operar, em condições nominais de tensão, com potência mínima de até 10% da potência nominal.

4.1.2 Tensão CC da transmissão

4.1.2.1 A tensão nominal CC deve corresponder ao valor médio da tensão no terminal de maior capacidade. Esse terminal opera como retificador e é necessário para transmitir continuamente a potência nominal com corrente nominal.

4.1.3 Capacidade de sobrecarga

4.1.3.1 O elo CC deve ser capaz de operar com a capacidade de sobrecarga contínua definida pelos estudos de planejamento da expansão.

4.1.3.2 Além da capacidade de sobrecarga contínua, o elo CC deve ter a capacidade de sobrecarga de curta duração indicada pelos estudos de planejamento para fazer frente aos eventos de modulação – com a finalidade de estabilizar o sistema CA –, de controle de sobretensões e/ou de frequência e eventual redespacho.

4.1.3.3 O agente deve informar ao ONS a capacidade de sobrecarga contínua do elo CC, sem perda de vida útil desse elo, com base nos estudos de dimensionamento da conversora. Esses estudos devem considerar a temperatura ambiente e a temperatura da água de refrigeração, bem como a utilização das redundâncias disponíveis.

4.1.3.4 As capacidades nominais (*ratings*) dos filtros devem ser dimensionadas para suportar o aumento da geração de harmônicas para a operação nas condições não nominais mencionadas nos itens 4.1.3.1 e 4.1.3.2 deste submódulo.

4.1.3.5 O nível das distorções harmônicas geradas pela conversora nas condições operativas definidas nos itens 4.1.3.1, 4.1.3.2 e 4.1.3.3, assim como o reativo adicional a ser absorvido pela conversora, para as condições operativas definidas no item 4.1.3.3 deste submódulo, devem ser informados pelo agente.

4.1.4 Restrições quanto à modalidade operativa

4.1.4.1 A operação de elos CC com retorno pela terra é condicionada à demonstração, pelo agente, de que não ocorrerão conseqüências danosas nas próprias conversoras, em oleodutos, em gasodutos, em ferrovias, em transformadores com o neutro aterrado ou em estruturas

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

metálicas, como também de que não serão gerados problemas ambientais. Essas análises devem ser submetidas à apreciação do ONS e dos demais órgãos potencialmente afetados pela referida operação monopolar.

4.1.5 Requisitos gerais

4.1.5.1 Os requisitos e as características funcionais das instalações constantes dos Submódulos 2.3, 2.4 e 2.6 devem ser atendidos, quando aplicável.

4.1.5.2 Devem ser atendidos os requisitos para elos CC constantes das últimas revisões das normas técnicas nacionais e internacionais, especialmente das recomendações das normas *Institute of Electrical and Electronics Engineers* – IEC 60919-1, 60919-2 e 60919-3¹.

4.2 Requisitos mínimos de operação do elo CC

4.2.1 O elo CC não deve causar perturbação na rede básica que se traduza em degradação da qualidade da energia fornecida, em dificuldades no controle de oscilações de tensão e frequência ou em riscos de danificação de equipamentos e instalações dessa rede, assim como em perturbações em seus sistemas de telecomunicações.

4.2.2 Para possibilitar a operação adequada da rede básica, o elo CC deve atender às seguintes condições e requisitos:

- (a) Operar sem restrições, dentro da faixa operativa de potência especificada para as configurações n e $n-1$ dos sistemas CA adjacentes, sem provocar oscilações perturbadoras de potência, tensão ou frequência.
- (b) Auxiliar a rede básica no controle de tensão dentro da faixa de geração ou de absorção de reativos definida no item 4.8.2 deste submódulo.
- (c) Permitir, em caso de indisponibilidade prolongada de qualquer um dos pólos, a utilização das linhas CC como retorno metálico.
- (d) Auxiliar a rede básica no controle de oscilações eletromecânicas, por meio da modulação da potência e/ou reativos.
- (e) Não submeter a rede básica a qualquer instabilidade de tensão, em qualquer condição operativa do elo CC, seja em condição normal, seja em critério ($n-1$) da rede CA, inclusive durante afundamento de tensão provocado por faltas.
- (f) Ser projetado para possibilitar a manobra automática de elementos da compensação reativa pertencentes ao elo CC para atingir os objetivos de controle de tensão e níveis de harmônicos no ciclo de carga diário da conversora. Deve ser evitada qualquer possibilidade de *hunting* entre controles internos e/ou externos ao elo que venha a produzir manobras intermitentes dos elementos de compensação reativa.
- (g) Não causar perturbações de origem harmônica nas barras de CA das conversoras acima dos limites individuais especificados no Submódulo 2.8, para qualquer configuração normal ou critério ($n-1$) da rede CA e/ou falha de componentes individuais do elo CC, com o elo operando até a potência nominal.
- (h) Manter, ao longo da vida útil prevista da conversora, o desempenho harmônico requerido para as condições de máxima dessintonia dos filtros passivos associadas às condições mais severas de geração de correntes harmônicas pelos conversores. A geração de

¹ IEC 919-1 – Performance of High Voltage D. C. (HVDC) Systems – Part 1 – Steady State Conditions – 1st Edition – 1988; CEI-IEC 919-2 – Performance of High Voltage D. C. (HVDC) Systems – Part 2 – Faults and Switching – 1st Edition – 1991-01; CEI-IEC 919-3 – Performance of High Voltage D. C. (HVDC) Systems – Part 2 – Dynamic Conditions – 1st Edition – 1999-03.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

corrente harmônica pelos conversores pode ocorrer no lugar geométrico de impedância da rede CA determinado a partir de configurações normais e de contingência dessa rede. Deve ser considerada a possibilidade de operação da rede CA com um desbalanço máximo de seqüência negativa de 2,0% (cf. Submódulo 2.8). Nos casos de filtros ativos ou passivos de sintonia automática, devem ser considerados os erros de controle.

- (i) Ter desempenho harmônico, do ponto de vista de distorção harmônica no ponto de acoplamento comum (PAC) com a rede básica, demonstrado por meio de estudos e de medições nos barramentos CA da rede básica conectados à subestação conversora, conforme estabelecido no Submódulo 2.8. Esses estudos e medições são de responsabilidade do agente. As medições devem ser realizadas durante o comissionamento, mas podem também vir a ser solicitadas em outras ocasiões, a critério do ONS. Admite-se a possibilidade de o agente instalar um equipamento de monitoração contínua, desde que utilize métodos e equipamentos de medição autorizados pelo ONS.
- (j) Não permitir que as correntes harmônicas nas linhas CC e linhas de eletrodo, bem como as correntes harmônicas das linhas CA provocadas pela injeção de correntes harmônicas geradas pelas estações conversoras, produzam interferências em linhas telefônicas em operação na data de comissionamento do elo CC, acima dos limites das normas correspondentes. Para tanto, o agente será responsável pelo estabelecimento dos limites para os indicadores TIF (Telephone Interference Factor) e do produto IT do lado CA, bem como da corrente equivalente de distúrbio ao longo das linhas CC e linhas de eletrodo, visando atingir tal requisito.
- (k) Operar sem restrições devido a correntes induzidas por linhas de transmissão (LT) CA próximas.

4.2.3 O elo CC deve ser dimensionado de forma a não permitir que sobretensões nele originadas ou por ele influenciadas – de caráter transitório ou temporário, para qualquer condição operativa – exijam de equipamentos ou instalações da rede básica desempenho acima da sua suportabilidade. Observe-se que:

- (a) deve-se dar especial atenção às sobretensões temporárias com distorção harmônica, normalmente relativas a contingências que envolvem saturação de transformadores;
- (b) o valor de crista das sobretensões temporárias, na conversora e nas subestações terminais das LT em 60 Hz derivadas da conversora, deve estar abaixo da envoltória definida pelos pontos 1,3 pu; 0 segundo e 1,10 pu; 3 (três) segundos, sendo que a componente na frequência fundamental dessa sobretensão não deve exceder a 1,25 pu, durante 1 (um) segundo;
- (c) sob o aspecto de sobretensões de manobra, deve-se dar atenção especial às situações que envolvem:
 - (i) rejeições de carga das LT de CA derivadas da conversora, especialmente após curto-circuito;
 - (ii) injeção forçada de corrente no lado inversor sobre rede sem fontes; e
 - (iii) bloqueio total das conversoras e conseqüente retirada dos filtros.

4.2.4 O controle normal de tensão e/ou de fator de potência mediante o controle da conversora quanto à absorção de reativos só é aceito se for demonstrado que não ocorrerão interações indesejáveis na coordenação do controle de ambos os lados do elo CC.

4.2.5 Tomada e retomada de carga

4.2.5.1 O elo CC não deve permitir que tomadas e retomadas de carga da estação conversora, durante os processos de partida ou de recuperação após defeitos, produzam oscilações perturbadoras ou de longa duração na potência transmitida, na tensão ou na frequência.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

4.2.5.2 Em caso de recuperação após quaisquer faltas transitórias, no lado CA, a estação conversora deve recuperar a potência transmitida para o valor de 90% daquela transmitida antes da falta em, no máximo, 200 ms. Durante o período de recuperação não deve ocorrer nenhuma falha de comutação. Estão incluídos nesse caso os religamentos com ou sem sucesso.

4.2.5.3 A operação da(s) conversora(s) não deve restringir a utilização de religamento monopolar ou tripolar rápido na(s) linha(s) de CA da rede básica.

4.2.6 O elo CC não deve permitir que operações do sistema de controle, manual ou automático, de elementos manobráveis e/ou de comutadores automáticos de transformadores dêem origem a manobras intermitentes ou a oscilações anômalas na potência, na tensão ou na frequência, em qualquer condição de configuração ou de operação da rede CA.

4.2.7 O elo CC deve manter a transferência de potência, bem como a operação dos conversores, estáveis para variações de frequência na faixa de 56,5 a 66 Hz (cf. Submódulo 3.6) e para qualquer distorção da forma de onda da tensão de CA causada pela dessintonia dos filtros de CA ou pela perda de um banco de filtros.

4.2.8 O elo CC deve limitar as interferências na faixa de 30 kHz a 500 kHz, provocadas pela estação conversora no sistema de onda portadora das LT da rede básica, a 20 dB abaixo do nível de sinal.

4.2.9 A conversora não deve prejudicar o desempenho normal e transitório de outras conversoras próximas já existentes na rede básica, o que deverá ser demonstrado por meio de estudos específicos de operação conjunta das conversoras afetadas (*multi-infeed*) que considerem a possibilidade de instabilidade ou de colapso de tensão e de recuperação simultânea após faltas de conversoras próximas.

4.3 Requisitos quanto a falhas de comutação

4.3.1 Nos casos de utilização de comutação natural na estação conversora em funcionamento como inversora:

- (a) para a conversora em operação com tensão CA em regime permanente na faixa indicada na Resolução Normativa ANEEL nº 505/2001, as manobras de equipamentos do elo CC e/ou de linhas CA que interligam as subestações conversoras com outras estações não devem provocar falhas de comutação;
- (b) se ocorrerem faltas próximas à estação conversora, bem como operação dos esquemas de religamento rápido, não será aceita mais do que uma falha de comutação para cada falta até a recuperação operacional do elo CC, nos casos em que a tensão CA esteja acima de 30% nas 3 fases;
- (c) não devem ocorrer falhas de comutação em situações em que o valor eficaz da tensão de CA seja superior a 0,85 pu em todas as fases;
- (d) não deve haver falhas de comutação no lado inversor decorrentes de faltas no lado CA do retificador.

4.4 Operação dos conversores durante defeitos no sistema

4.4.1 O elo CC deve ser capaz de se manter em operação com potência reduzida nas seguintes condições de tensão reduzida no lado de CA da conversora:

- (a) tensão zero na fase sob defeito, para defeitos monofásicos com duração mínima de 0,5 segundo; e
- (b) tensão maior que 30% da nominal para defeitos trifásicos com uma duração mínima de 0,25 segundo.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

4.4.2 Nos casos em que a tensão média da barra CA for menor do que 30% da nominal e ocorrer o bloqueio dos conversores, esses conversores devem ser desbloqueados em até um ciclo após a recuperação da tensão para 40% da tensão nominal.

4.4.3 Em qualquer desses casos, a recuperação da potência transmitida para os níveis pré-defeito deve-se dar nas condições descritas no item 4.2.5.2 deste submódulo.

4.5 Variação de tensão de CA admissível para manobra de compensação reativa

4.5.1 A manobra de capacitores, de filtros e de reatores na barra de CA da conversora não deve provocar variação na tensão superior a 5% em relação à tensão pré-manobra, mesmo com o menor nível de curto-circuito em condição de critério (n-1). As manobras simultâneas desses equipamentos para atender a variação de tensão não podem provocar perturbações operativas no elo CC nem na rede CA.

4.5.2 Em caso de equipamentos *back-to-back*, a variação do ângulo de disparo das válvulas, para limitar a variação de tensão com a manobra de capacitores e/ou reatores, só será aceita se for demonstrado que não ocorrerá perturbação operativa.

4.6 Arranjo de barramento da subestação CA das conversoras

4.6.1 O arranjo de barramento deve atender ao estabelecido no Submódulo 2.3.

4.7 Coordenação de isolamento

4.7.1 Para a coordenação de isolamento e proteção de equipamentos situados nos pátios CC e CA das estações conversoras, devem ser utilizados pára-raios de ZnO.

4.7.2 O esquema de proteção contra sobretensões, os requisitos dos pára-raios, a metodologia de estudos e as sobretensões a serem consideradas devem se basear na última versão das normas IEC-60071-1, 60071-4 e 60071-5.

4.7.3 No cálculo da distância de escoamento a ser considerada para a definição dos isoladores de CA externos, para a tensão máxima operativa, deve-se levar em conta as características de contaminação da região conforme classificação contida na Publicação IEC/TR 60815².

4.7.4 Na definição das distâncias de escoamento específicas para o isolamento dos equipamentos para instalação abrigada e sujeitos a tensão CC, deve ser seguida a norma IEC 60071-5.

4.7.5 Na definição das distâncias de escoamento específicas para o isolamento externo de equipamentos desabrigados sujeitos à tensão CC+CA e CC, deve ser seguida a norma IEC 60071-5.

4.7.6 O sistema de proteção contra descargas atmosféricas da subestação deve ser dimensionado de forma a assegurar um risco de falha menor ou igual a uma descarga por 50 (cinquenta) anos.

4.7.7 Além disso, deve-se assegurar que não haja falha de blindagem nas instalações para correntes superiores a 2 kA.

4.8 Requisitos de potência reativa

4.8.1 A estação conversora deve ser equipada com os equipamentos de compensação reativa necessários à sua operação, desde a condição de bloqueio até a de plena carga, em qualquer situação operativa, com manutenção dos níveis de harmônicos dentro dos limites indicados pelo

² *Guide for the Selection of Insulators in Respect of Polluted Conditions*

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

Submódulo 2.8 e dos níveis de tensão das barras de CA dentro da faixa descrita no Submódulo 2.3.

4.8.2 A estação conversora deve ser dimensionada para operar continuamente dentro da seguinte faixa mínima de compensação reativa:

- (a) fator de potência capacitivo: 0,98 a 1,00; e
- (b) fator de potência indutivo: 0,98 a 1,00.

4.8.3 Tais valores podem ser revistos desde que estudos específicos, a serem efetuados pelo agente e submetidos à apreciação do ONS, justifiquem uma faixa mais apropriada do ponto de vista técnico-econômico.

4.8.4 Nos casos em que a estação conversora estiver localizada próxima a geradores ou a compensadores síncronos, o dimensionamento da compensação reativa, seu tipo e montante, deve respeitar os limites de auto-excitação das máquinas síncronas, especialmente para as condições de rejeição de carga.

4.8.5 O atendimento aos requisitos de reativos e de regulação de tensão nas instalações do elo CC deve ser demonstrado por meio de estudos de fluxo de potência, a ser realizado pelo agente, para todas as condições possíveis de carga da conversora e para a condição de *critério (n-1)* da rede básica. Esses estudos devem utilizar informações de carga ativa e reativa nas barras, de limites de tensão e de potência reativa dos geradores próximos e de disponibilidade de reatores chaveáveis, para viabilizar a integração da conversora à rede básica.

4.8.6 Os estudos para definição da compensação reativa devem considerar a metodologia estabelecida no Submódulo 4.3, quando essa metodologia for aplicável.

4.9 Eficiência do elo CC

4.9.1 A eficiência do elo CC, incluindo linhas CC, deve ser maior ou igual à eficiência determinada nos estudos econômicos de planejamento que definiram a alternativa CC como a de menor custo global. O custo global inclui o investimento e as perdas.

4.10 Disponibilidade e confiabilidade das SE conversoras

4.10.1 A disponibilidade média anual de transmissão de potência do elo CC e *back-to-back* deve ser de no mínimo 99%, incluindo as saídas programadas e forçadas. A disponibilidade deve ser calculada em conformidade com a versão mais recente da norma IEC 919-1³.

4.10.2 Para cálculo da disponibilidade garantida citada no item 4.10.1 deste submódulo, considera-se o conjunto dos conversores localizados em ambos os terminais da linha CC, bem como os respectivos transformadores conversores e demais equipamentos necessários para a operação desses terminais, como disjuntores, filtros, síncronos etc.

4.10.3 A confiabilidade das conversoras inclui o número de saídas forçadas de bipolo e de pólos, os quais devem ser inferiores a uma saída em 3 (três) anos para as duas estações e a 3 saídas anuais por estação, respectivamente.

4.10.4 Para instalações *back-to-back*, o número de saídas forçadas por ano deve ser menor que 5, por bloco independente, ou seja, por conjunto retificador ou inversor.

³ CEI -IEC 919-1 – Performance of High Voltage D. C. (HVDC) Systems – Part 1 – Steady State Conditions – 1st Edition – 1988

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

4.11 Interferência em rádio

4.11.1 As conversoras devem ser projetadas de maneira que os níveis de interferência em rádio (*radio interference* (RI)) das radiações eletrostática e eletromagnética geradas, para qualquer condição operativa, pelos conversores, pelos seus periféricos e pelas LT CC e CA delas derivadas não afetem equipamentos de telecomunicações da rede básica e não excedam os limites da Norma Técnica NBR 5356 da ABNT, sem a necessidade de qualquer blindagem na área externa da conversora.

4.12 Ruído audível

4.12.1 Os níveis de ruído audível contínuo dentro e fora da estação conversora não devem exceder os limites das normas da ABNT correspondentes.

4.13 Sistema de controle do elo CC

4.13.1 Modos de controle

4.13.1.1 Os controles dos conversores devem ser projetados para assegurar que mudanças de modo de controle não ocorram em variações de até 5% da tensão nominal CA do sistema. Devem estar disponíveis os seguintes modos de controle para toda a faixa operativa:

- (a) controle de corrente; e
- (b) controle de potência.

4.13.1.2 O sistema deve ter um controle que use os comutadores de derivação em carga dos transformadores conversores para auxiliar no controle das válvulas.

4.13.1.3 Deve ser possível alterar, automaticamente, o modo de controle de potência para controle de corrente após perda da telecomunicação, problemas no suporte de reativos, proximidade de condições de instabilidade de tensão ou falha de comutação.

4.13.1.4 Além dos controles convencionais, o sistema de controle deve possibilitar:

- (a) a minimização do consumo de reativo das conversoras;
- (b) a operação com consumo elevado e controlado de reativos, para controlar a tensão da barra CA em regime permanente em condições de baixa potência transmitida;
- (c) o controle da frequência por meio da variação da potência ativa;
- (d) a modulação da potência ativa ou reativa, separada ou simultaneamente, para estabilização do sistema CA, o que reduz instabilidades angulares;
- (e) o amortecimento de ressonâncias subsíncronas; e
- (f) a redução da potência ou da corrente para controlar contingências no sistema CA, a fim de evitar instabilidade de tensão no sistema CA e falhas de comutação no inversor.

4.13.2 Telecomunicação no elo CC

4.13.2.1 Falhas do sistema de comunicações não devem causar operação incorreta do sistema de controle do elo CC. Caso ocorra falha da comunicação entre as estações, a transmissão de potência deve ser mantida no mesmo nível existente antes da falha.

4.13.2.2 Durante falha de telecomunicação entre as estações, deve ser possível partir, operar e parar manualmente o elo da sala de controle local de uma das estações. Nesse caso, a comunicação entre os operadores das estações conversoras é mantida por telefone ou por outro meio de comunicação.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

4.13.3 Requisitos de confiabilidade do sistema de controle

4.13.3.1 O sistema de controle deve ser, no mínimo, além de duplicado, projetado para que um dos sistemas possa ser mantido, testado ou reparado durante operação do elo CC, sem afetar esse sistema.

4.13.3.2 A perda de um dos dois sistemas de controle não deve causar distúrbio na potência transmitida nem perda de um pólo.

4.13.4 Requisitos do sistema de controle

4.13.4.1 Os tempos de resposta devem ser especificados considerando não só as configurações de rede previstas nos estudos do planejamento da expansão, como também as configurações de rede previstas no Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica – PAR. Devem também levar em conta a possibilidade de operação do elo CC com fluxo de potência nas duas direções.

4.13.4.2 O erro do controle de potência não deve ser superior a 1,5%.

4.13.4.3 O erro do controle de corrente não deve ser superior a 1,0%.

4.13.4.4 Embora a operação da conversora seja automática, deve ser possível ao operador exercer as seguintes funções:

- (a) selecionar o modo de operação;
- (b) selecionar o local de despacho, seja no retificador, seja no inversor;
- (c) selecionar potência total, taxa de variação e direção do fluxo;
- (d) ligar ou desligar filtros e capacitores em derivação e posicionar comutadores de derivação em carga; e
- (e) comandar partida e parada do elo CC, parada do sistema em emergência e alteração de parâmetros do controle.

4.13.4.5 O sistema de controle deve restaurar a transferência de potência para 90% do valor antes de uma perturbação, em 100 ms após a abertura de um defeito monofásico ou trifásico na rede CA do retificador, ou em 150 ms após abertura de um defeito na rede CA do inversor, sem subseqüentes falhas de comutação, oscilações sustentadas ou mudanças freqüentes de modo no controle do inversor, em condições de faltas nos sistemas CA do inversor e do retificador. Os tempos de abertura dos defeitos são informados no Submódulo 2.6. Durante defeitos monofásicos na rede CA do retificador, o elo CC deve transmitir pelo menos 30% da potência que estava sendo transmitida antes do distúrbio.

4.13.4.6 Para defeitos na linha CC, o sistema de controle deve restabelecer 90% da potência que era transmitida antes do defeito, em 100 ms, sem incluir o tempo de arco e de deionização.

4.13.4.7 Resposta da corrente CC

- (a) Para operação em qualquer nível de potência entre a potência mínima e a capacidade de sobrecarga contínua, a corrente CC deve responder a um degrau de aumento ou de diminuição na ordem de corrente, dentro de 100 ms.

4.13.4.8 Resposta da potência CC

- (a) O controlador de potência CC deve ser ajustado de tal maneira que o sistema CC tenha as características de um sistema de corrente constante para defeitos nos sistemas CA, seguidos de oscilações amortecidas de tensão e de potência de baixa freqüência na faixa de 0,2 a 2 Hz.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

- (b) A resposta do controlador de potência para um degrau na tensão do sistema CA em função de distúrbios transitórios deve ser tal que um degrau de 90% na potência CA seja restaurada entre 0,5 e 1 segundo, contado a partir do início do degrau.
- (c) Quando em operação com qualquer ordem de potência entre a mínima e a máxima sobrecarga contínua, o controlador deve responder a um degrau de aumento ou diminuição na ordem de potência CA de maneira que 90% da mudança da ordem seja efetuada dentro de 150 ms, contados a partir do início da mudança de ordem.

4.13.4.9 Inversão do fluxo de potência na linha CC

- (a) Na transmissão bidirecional, os controles devem ser capazes de reverter o fluxo de potência do elo CC, que deve operar com qualquer potência entre a potência mínima e a sobrecarga contínua especificada pelo agente.

4.13.4.10 Limitadores de corrente

- (a) O sistema de controle do elo CC deve ser provido de um limitador da ordem de corrente, dependente da tensão CC, para limitar transitoriamente a ordem de corrente no retificador durante abaixamento da tensão CC. Esse limitador deve ser dimensionado com base nos estudos de sistema.
- (b) Em caso de estações *back-to-back*, deve ser previsto um limitador de corrente dependente da tensão CA, para restringir transitoriamente a ordem de corrente no retificador durante afundamentos de tensão no sistema CA. Esse limitador deve ser dimensionado com base nos estudos de sistema.

4.13.4.11 Controle de desbalanceamento dos pólos

- (a) O controle de desbalanceamento dos pólos pertencentes ao controle da estação conversora deve ser projetado para minimizar a corrente na linha do eletrodo.
- (b) A corrente de desbalanceamento entre pólos da transmissão bipolar deve ser inferior a 2,5% da corrente nominal.

4.14 Eletrodos

4.14.1 As conversoras de elos CC ponto-a-ponto devem ser providas de eletrodos para escoamento de correntes para terra resultantes das condições operativas desbalanceadas do elo e do desbalanceamento de corrente dos pólos na transmissão bipolar. Deve também ser demonstrado que não ocorrerão problemas inaceitáveis de corrosão de estruturas metálicas do elo CC e da rede básica, caso contrário, deve ser previsto retorno metálico.

4.14.2 Em caso de operação bipolar, cada pólo deve ser dimensionado para operar com um valor máximo de desbalanceamento, em regime contínuo, correspondente a 2,5% do valor de sua corrente nominal.

4.14.3 No caso de utilização de eletrodo, os potenciais de passo, de toque e os potenciais transferidos devem ser determinados e limitados de forma semelhante à do projeto de um sistema de aterramento CA. Deve ser considerada uma corrente de 5.0 mA CC como limite tolerável por pessoa.

4.14.4 O projeto da linha do eletrodo deve assegurar a extinção dos arcos provenientes de descargas atmosféricas.

4.15 Valores nominais (*ratings*) dos elementos dos filtros passivos

4.15.1 O projeto deve respeitar as seguintes exigências:

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

- (a) As tensões e correntes harmônicas nos elementos devem ser determinadas considerando as correntes harmônicas injetadas pelos conversores. No cálculo dessas correntes harmônicas deve-se levar em conta:
- (i) máximas sobrecargas das conversoras;
 - (ii) operação dentro da faixa de potência especificada;
 - (iii) operação com tensão reduzida e com alto consumo de reativo;
 - (iv) máximos desequilíbrios da rede externa;
 - (v) máximos desequilíbrios da rede interna; e
 - (vi) lugares geométricos de impedância da rede externa.
- (b) Deve-se considerar a contribuição das correntes harmônicas provenientes da rede externa, calculando-se equivalentes *Thevenin*, com base nos limites globais de tensões harmônicas definidas no Submódulo 2.8. O projeto deve levar em conta os lugares geométricos de impedância da rede externa para as configurações previstas no planejamento da expansão para a vida útil do empreendimento.
- (c) Os filtros em derivação utilizados devem ser capazes de operar sem qualquer dano durante:
- (i) variações de frequência em emergência extrema (56,5 – 66 Hz);
 - (ii) máxima tensão de emergência em regime permanente na rede CA estabelecida no Submódulo 2.3;
 - (iii) condições de sobretensões dinâmicas incluindo ferorressonâncias, rejeição de carga e recuperação de faltas;
 - (iv) sobrecarga de curta duração do elo CC; e
 - (v) condições de sobretensões temporárias produzidas durante energização de transformadores, início e eliminação de faltas próximas, inclusive com bloqueio dos conversores.

4.16 Telecomunicação

4.16.1 Os sistemas de telecomunicações para voz e dados do elo CC e para instalações *back-to-back* devem atender ao estabelecido no Submódulo 13.2.

4.16.2 Os sistemas de telecomunicações para as proteções das linhas CA conectadas às subestações conversoras devem atender ao estabelecido no Submódulo 2.6.

4.17 Linhas CC

4.17.1 A obtenção das informações, relativas a todas as condições ambientais locais necessárias à elaboração do projeto e às atividades de construção, manutenção e operação, é de responsabilidade do concessionário de transmissão.

4.17.2 Requisitos mecânicos

4.17.2.1 Devem ser atendidos os requisitos mecânicos estabelecidos no Submódulo 2.4.

4.17.3 Requisitos elétricos

4.17.3.1 Desempenho a descargas atmosféricas

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

- (a) Deve ser nula a quantidade de desligamentos por descargas diretas nos cabos condutores para o perfil de terreno predominante da região.
- (b) O número total de desligamentos por descargas atmosféricas deve ser inferior ou, no máximo, igual a um desligamento por 100 (cem) quilômetros por ano.

4.17.3.2 Campo elétrico

- (a) O campo elétrico a um metro do solo no limite da faixa de servidão deve ser inferior ou igual a 10 kV/m. Deve-se assegurar que o campo no interior da faixa, em função da utilização de cada trecho dessa faixa, não provoque efeitos nocivos a seres humanos.

4.17.4 Requisitos eletromecânicos

4.17.4.1 Devem ser atendidos os requisitos eletromecânicos estabelecidos no Submódulo 2.4.

4.18 Proteção

4.18.1 Proteção CA

- (a) No projeto da proteção dos equipamentos do lado CA das estações conversoras deve-se considerar a influência dos harmônicos gerados pelas conversoras no desempenho da mesma durante defeitos e atender aos requisitos constantes do Submódulo 2.6

4.18.2 Proteção CC

4.18.2.1 A proteção dos equipamentos do lado CC das estações conversoras, bem como a proteção das linhas CC e das linhas de eletrodo, deve ser projetada de maneira que sejam atendidas as exigências de confiabilidade das conversoras e do elo CC citadas no item 4.10 deste submódulo. Os seguintes requisitos e condições devem também ser observados:

- (a) Falhas elétricas, falhas ou operações anormais que possam submeter os equipamentos a danos devem ser detectadas, e os equipamentos com defeito, falha, ou sobrecarregados devem ser retirados de operação ou ter suas sobrecargas controladas.
- (b) Se ocorrerem falhas elétricas, falhas ou operações anormais, pelo menos duas proteções devem operar.
- (c) Cada proteção deve ter seu caminho de atuação duplicado.
- (d) As proteções devem ter zonas de superposição. Para cada caso de falha, deve haver atuação de uma proteção unitária ou restrita, de alcance limitado, e de uma proteção de retaguarda lenta ou menos sensível. Para os casos em que a filosofia de proteção unitária e retaguarda não puder ser aplicada, a proteção deve ser duplicada.
- (e) A proteção do lado CC deve ser coordenada com as proteções do lado CA.
- (f) Deve ser possível testar as proteções, durante a operação normal, sem afetar a transmissão do elo CC.
- (g) Para os casos de pólo formado por dois ou mais conversores em série, as proteções de conversor devem desligar apenas o conversor defeituoso e manter os demais em operação normal.
- (h) Em caso de falha total de telecomunicação entre estações conversoras, as proteções devem garantir que o conversor ou pólo continue protegido contra falhas.
- (i) As proteções da estação conversora e as proteções entre estações conversoras devem ser coordenadas para eliminação de possível defeito com o mínimo de desligamento.

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

- (j) A proteção de linha CC deve ser ativa apenas no terminal retificador e permitir de 1 até 4 religamentos, sendo 3 com tensão plena e o último com tensão reduzida (70 a 80% da tensão nominal). Deve permitir qualquer combinação do número de religamentos com tensão plena. O último religamento deve ser efetivado sempre com tensão reduzida. Essa proteção não deve operar para falha de comutação na inversora.

4.19 Requisitos de telessupervisão

4.19.1 Os sistemas de telessupervisão dos equipamentos de manobra dos pátios CA e CC devem atender ao disposto no Submódulo 2.7. Deve haver comunicação entre a instalação do elo CC e os centros de controle do ONS, por meio dos protocolos de comunicação disponíveis nesses centros.

4.19.2 O ONS define o centro com o qual as instalações do elo CC devem se relacionar.

4.20 Registro de perturbações

4.20.1 Os registradores de perturbações deverão atender aos requisitos constantes no Submódulo 2.6.

5 DOCUMENTAÇÃO

5.1 Nos principais relatórios a serem apresentados pelo agente, devem constar os dados utilizados e outras informações necessárias para verificação do atendimento aos requisitos mínimos, quais sejam:

- (a) estudo de sobretensão na frequência fundamental com apresentação das sobretensões em rejeição de carga e dos meios para limitar essas sobretensões dentro dos valores requeridos;
- (b) estudo de potência reativa, com indicação da estratégia a ser usada para controlar não só o intercâmbio de reativos com o sistema como também o esquema de chaveamento de equipamentos de compensação reativa durante o ciclo diário de carga e após condições de rejeição de carga;
- (c) estudos de coordenação de isolamento, com apresentação das bases para definição dos níveis de isolamento dos equipamentos e da aplicação de pára-raios. Esses estudos devem apresentar as solicitações impostas aos pára-raios;
- (d) estudos dos filtros de CA e de CC para determinar o desempenho e os valores nominais de seus componentes;
- (e) estudo de desempenho em regime permanente e dinâmico do elo CC;
- (f) estudo de oscilações sub-síncronas para determinar os requisitos de controle que objetivam evitar a interação entre as conversoras e os equipamentos dos sistemas de CA;
- (g) estudos de interferência em sistemas de comunicação por onda portadora (*power line carrier*);
- (h) estudos de RI;
- (i) estudos dos parâmetros do circuito principal, com apresentação dos cálculos para definição dos parâmetros dos conversores e dos transformadores conversores, e da maneira como as tolerâncias foram consideradas;
- (j) estudos para definição dos eletrodos de terra e das linhas de eletrodo;

Assunto	Submódulo	Revisão	Data de Vigência
REQUISITOS MÍNIMOS PARA ELOS DE CORRENTE CONTÍNUA	2.5	1.0	05/08/2009

- (k) estudos das proteções das conversoras e da LT CC. Esses estudos abrangem a coordenação das proteções CC e CA, bem como as interações com os controles das conversoras;
- (l) estudos de confiabilidade que demonstrem que as conversoras apresentam níveis iguais ou melhores que os requeridos;
- (m) estudos para definição do sistema de controle;
- (n) estudos de perdas e eficiência;
- (o) estudos para definição das características dos demais equipamentos do lado CA e CC; e
- (p) estudos de interação das conversoras com máquinas síncronas ligadas às barras CA das mesmas.