



ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS  
PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL



Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas  
Centrais Hidroeléctricas

**UNIDADES**

# **Parte 2: Gerador da turbina hidráulica**

**SHP/TG 003-2: 2019**



## **DECLARAÇÃO DE EXONERAÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

O presente documento foi produzido sem edição formal das Nações Unidas. As designações e a apresentação do material do presente documento não reflectem qualquer opinião do Secretariado da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) sobre o estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou zona das suas autoridades, ou sobre as respectivas fronteiras ou limites, sistema económico ou grau de desenvolvimento. Designações como "desenvolvido", "industrializado" e "em desenvolvimento" são utilizadas para fins estatísticos e não reflectem necessariamente uma opinião sobre o estágio alcançado por um determinado país ou zona no processo de desenvolvimento. A menção de nomes de empresas ou produtos comerciais não constitui uma aprovação por parte da UNIDO. Apesar do extremo cuidado na manutenção da precisão das informações aqui contidas, nem a UNIDO nem os seus Estados-Membros assumem qualquer responsabilidade pelas consequências que possam advir do uso do material. O presente documento pode ser citado ou reimpresso livremente, mediante indicação da fonte.

**© 2019 UNIDO / INSHP- Todos os direitos reservados**

Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas  
Centrais Hidroeléctricas

**UNIDADES**

## **Parte 2: Gerador da turbina hidráulica**

**SHP/TG 003-2: 2019**

## AGRADECIMENTOS

As directrizes técnicas (DT) são o resultado de um esforço de colaboração entre a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) e a Rede Internacional de Pequenas Centrais Hidroelétricas (INSHP). Cerca de 80 peritos internacionais e 40 agências internacionais estiveram envolvidos na preparação do documento e na sua revisão pelos pares, e forneceram sugestões e opiniões concretas para tornar as directrizes técnicas profissionais e aplicáveis.

A UNIDO e a INSHP estão extremamente gratas pelas contribuições recebidas durante a elaboração destas directrizes, em particular as fornecidas pelas seguintes organizações internacionais:

- o Mercado Comum da África Oriental e Austral (COMESA)

- a Rede Global de Centros Regionais de Energia Sustentável (GN-SEC), nomeadamente o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da CEDEAO (ECREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética da África Oriental (EACREEE), o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética do Pacífico (PCREEE) e o Centro para as Energias Renováveis e Eficiência Energética das Caraíbas (CCREEE).

O Governo chinês facilitou a finalização destas directrizes e teve grande importância na sua conclusão.

O desenvolvimento destas directrizes beneficiou extraordinariamente dos pareceres, das análises e das críticas construtivas, bem como dos contributos de Adnan Ahmed Shawky Atwa, Adoyi John Ochigbo, Arun Kumar, Atul Sarthak, Bassey Edet Nkposong, Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Chang Fangyuan, Chen Changjun, Chen Hongying, Chen Xiaodong, Chen Yan, Chen Yueqing, Cheng Xialei, Chileshe Kapaya Matantilo, Chileshe Mpundu Kapwepwe, Deogratias Kamweya, Dolwin Khan, Dong Guofeng, Ejaz Hussain Butt, Eva Kremere, Fang Lin, Fu Liangliang, Garaio Donald Gafiye, Guei Guillaume Fulbert Kouhie, Guo Chenguang, Guo Hongyou, Harold John Annegam, Hou ling, Hu Jianwei, Hu Xiaobo, Hu Yunchu, Huang Haiyang, Huang Zhengmin, Januka Gyawali, Jiang Songkun, K. M. Dhahesan Unnithan, Kipyego Cheluget, Kolade Esan, Lamyser Castellanos Rigoberto, Li Zhiwu, Li Hui, Li Xiaoyong, Li Jingjing, Li Sa, Li Zhenggui, Liang Hong, Liang Yong, Lin Xuxin, Liu Deyou, Liu Heng, Louis Philippe Jacques Tavernier, Lu Xiaoyan, Lv Jianping, Manuel Mattiat, Martin Lugmayr, Mohamedain SeifElnasr, Mundia Simainga, Mukayi Musarurwa, Olumide TaiwoAlade, Ou Chuanqi, Pan Meiting, Pan Weiping, Ralf Steffen Kaeser, Rudolf Hüpfel, Rui Jun, Rao Dayi, Sandeep Kher, Sergio Armando Trelles Jasso, Sindiso Ngwenga, Sidney Kilmete, Sitraka Zaraso Rakotomahefa, Shang Zhihong, Shen Cunke, Shi Rongqing, Sanja Komadina, Tareqemtairah, Tokihiko Fujimoto, Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, Tan Xiangqing, Tong Leyi, Wang Xinliang, Wang Fuyun, Wang Baoluo, Wei Jianghui, Wu Cong, Xie Lihua, Xiong Jie, Xu Jie, Xu Xiaoyan, Xu Wei, Yohane Mukabe, Yan Wenjiao, Yang Weijun, Yan Li, Yao Shenghong, Zeng Jingnian, Zhao Guojun, Zhang Min, Zhang Liansheng, Zhang Zhenzhong, Zhang Xiaowen, Zhang Yingnan, Zheng Liang, Zheng Yu, Zhou Shuhua e Zhu Mingjuan.

Seria muito bem-vinda a formulação de recomendações e sugestões adicionais para a actualização.

# Índice

Prefácio .....	II
Introdução .....	III
1 Âmbito .....	1
2 Referências normativas .....	1
3 Termos e definições .....	2
4 Condições de serviço .....	2
5 Requisitos técnicos .....	2
5.1 Requisitos técnicos básicos .....	2
5.2 Características eléctricas .....	3
5.3 Características mecânicas .....	12
5.4 Requisitos básicos da estrutura .....	14
5.5 Sistema de ventilação e refrigeração .....	15
5.6 Sistema de travagem .....	15
5.7 Sistema de extinção de incêndios .....	15
5.8 Sistema de detecção .....	16
5.9 Sistema de excitação .....	17
6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes .....	17
6.1 Âmbito do fornecimento .....	17
6.2 Peças sobressalentes .....	17
7 Documentos técnicos .....	17
8 Inspeção e aceitação .....	18
9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento .....	19
9.1 Placa de identificação .....	19
9.2 Embalagem, transporte e armazenamento .....	19
10 Instalação, utilização e manutenção .....	20
10.1 Instalação .....	20
10.2 Operação e manutenção .....	20
11 Período de garantia de qualidade .....	21
Apêndice A (Informativo) .....	22
Principais peças sobressalentes do gerador da turbina hidráulica .....	22
Apêndice B (Informativo) Passos da inspeção de aceitação do gerador da turbina hidroeléctrica .....	23

## Prefácio

A Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO) é uma agência especializada no âmbito do sistema das Nações Unidas para promover o desenvolvimento industrial global inclusivo e sustentável (ISID). A relevância do ISID como abordagem integrada aos três pilares do desenvolvimento sustentável é reconhecida pela Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e pelos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) correspondentes, que irão enquadrar os esforços das Nações Unidas e dos países rumo ao desenvolvimento sustentável nos próximos quinze anos. O mandato da UNIDO para o ISID engloba a necessidade de apoiar a criação de sistemas energéticos sustentáveis, uma vez que a energia é essencial para o desenvolvimento económico e social e para a melhoria da qualidade de vida. A preocupação e debate a nível internacional sobre energia têm crescido cada vez mais nas últimas duas décadas, com as questões da redução da pobreza, dos riscos ambientais e das alterações climáticas a assumirem agora um lugar central.

A INSHP (Rede Internacional de Pequenas Centrais de Energia Hidroeléctrica) é uma organização internacional de coordenação e promoção para o desenvolvimento global de pequenas centrais hidroeléctricas (PCH), baseada na participação voluntária de pontos focais regionais, sub-regionais e nacionais, instituições relevantes, serviços públicos e empresas, e cujo principal objectivo são os benefícios sociais. A INSHP visa a promoção do desenvolvimento global de PCH através da cooperação triangular técnica e económica entre países em desenvolvimento, países desenvolvidos e organizações internacionais, a fim de abastecer as zonas rurais dos países em desenvolvimento com energia ambientalmente saudável, acessível e adequada, o que levará ao aumento das oportunidades de trabalho, à melhoria do ambiente, à redução da pobreza, à melhoria dos padrões de vida e cultura locais e ao desenvolvimento económico.

A UNIDO e a INSHP colaboram no Relatório Mundial de Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas desde 2010. Com base nos relatórios, o desenvolvimento de PCH não responde às necessidades. Uma das barreiras ao desenvolvimento na maioria dos países é a falta de tecnologias. A UNIDO, em colaboração com a INSHP, através da cooperação de peritos a nível mundial e com base em experiências de desenvolvimento bem-sucedidas, decidiu desenvolver as directrizes técnicas das PCH para satisfazer a procura dos Estados membros.

Estas directrizes técnicas foram elaboradas de acordo com as regras editoriais das Directivas ISO/IEC, Parte 2 (consultar [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)).

Chama-se especial atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos destas directrizes técnicas possam estar sujeitos a direitos de autor. A UNIDO e a INSHP não podem ser responsabilizadas pela identificação desses direitos de autor.

## Introdução

As Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH) são cada vez mais reconhecidas como uma importante solução de energia renovável para a electrificação de zonas rurais remotas. Contudo, embora a maioria dos países europeus, da América do Norte e do Sul e a China tenham elevados níveis de capacidade instalada, o potencial de uma PCH em muitos países em desenvolvimento permanece desconhecido e é prejudicado por vários factores, incluindo a falta de boas práticas ou normas globalmente acordadas para o desenvolvimento de uma PCH.

As presentes Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroelétricas (TG) vão abordar as actuais limitações das regulamentações aplicáveis às directrizes técnicas para PCH, aplicando conhecimentos especializados e as melhores práticas existentes em todo o mundo. Pretende-se que os países utilizem estas directrizes para apoiar as suas políticas, tecnologias e ecossistemas actuais. Os países com capacidades institucionais e técnicas limitadas poderão melhorar a sua base de conhecimentos no que respeita ao desenvolvimento de PCH, atraindo assim mais investimentos para projectos de PCH, encorajando políticas favoráveis e, conseqüentemente, contribuindo para o desenvolvimento económico a nível nacional. Estas directrizes técnicas serão valiosas para todos os países, mas permitem, especialmente, a partilha de experiências e melhores práticas entre países que têm conhecimentos técnicos especializados limitados.

As directrizes técnicas podem ser utilizadas como princípios e fundamentos para o planeamento, concepção, construção e gestão de PCH até 30 MW.

- Os termos e definições presentes nas directrizes técnicas especificam os termos e definições técnicas profissionais normalmente utilizados para PCH.
- As Directrizes de Concepção fornecem directrizes para os requisitos básicos, metodologia e procedimentos em termos de selecção do local, hidrologia, geologia, plano do projecto, configurações, cálculos de energia, hidráulica, selecção de equipamentos electromecânicos, construção, estimativas de custo, avaliação económica, financiamento, avaliações sociais e ambientais do projecto - com o objectivo último de obter as melhores soluções de concepção.
- As Directrizes das Unidades especificam os requisitos técnicos para turbinas, geradores, sistemas de regulação de turbinas hidráulicas, sistemas de excitação e válvulas principais, bem como para sistemas de vigilância, controlo, protecção e alimentação de corrente contínua, de PCH.
- As Directrizes de Construção podem ser utilizadas como documentos de orientação técnica para a construção de projectos de PCH.
- As Directrizes de Gestão fornecem orientações técnicas para a gestão, operação e manutenção, renovação técnica e aceitação de projectos de PCH.



# Directrizes Técnicas para o Desenvolvimento de Pequenas Centrais Hidroeléctricas - Unidades

## Parte 2: Gerador da turbina hidráulica

### 1 Âmbito

Esta Parte das Directrizes das unidades especifica os requisitos técnicos, bem como os requisitos básicos, para o âmbito do fornecimento, peças sobressalentes, documentos técnicos, inspecção e aceitação, embalagem, transporte, armazenamento, instalação, operação e manutenção do gerador da turbina hidráulica síncrono de pino saliente trifásico de 50 Hz ou 60 Hz da pequena central hidroeléctrica (PCH), com potência nominal de até 12,5 MWA conectado a uma turbina hidráulica.

### 2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos no texto de forma a que parte ou a totalidade do seu conteúdo constitua uma exigência do presente documento. Para referências datadas, é apenas aplicável a edição citada. Para referências não datadas, é aplicável a mais recente edição do documento referido (incluindo eventuais alterações).

ISO 1680, *Acústica - Código do ensaio para medição do ruído aéreo emitido por máquinas eléctricas rotativas*

IEC 60034-1, *Máquinas eléctricas rotativas - Classificação e desempenho*

IEC 60034-2-1, *Determinação das perdas e da eficiência a partir dos ensaios*

IEC 60034-2A, *Medição de perdas pelo método calorimétrico*

IEC 60038, *Voltagens de acordo com a norma IEC*

IEC 60050-411, *Terminologia electrotécnica - Parte 411: Máquinas rotativas*

IEC-60085, *Classificação dos materiais de isolamento de máquinas eléctricas*

SHP/TG 001, *Directrizes técnicas para o desenvolvimento de pequenas centrais hidroeléctricas - Termos e definições*

### 3 Termos e definições

Para efeitos do presente documento, são aplicáveis os termos e definições constantes de IEC 60034-1, IEC 60050-411 e SHP/TG 001.

### 4 Condições de serviço

O gerador deve ser instalado na unidade coberta e deve poder operar continuamente nas seguintes condições de serviço:

- a) A altitude não é superior a 1000 m. Quando o gerador é utilizado no local com uma altitude superior a 1000 m, devem ser consideradas a redução das propriedades dieléctricas e a diminuição do efeito de refrigeração do ar e o utilizador deve negociar com o fornecedor;
- b) A temperatura do ar de refrigeração não é superior a 40 °C: a temperatura da entrada da água dos permutadores de calor do gerador, como o refrigerador de ar e o refrigerador de óleo, não é superior a 28 °C nem inferior a 5 °C;
- c) A humidade relativa na unidade não é superior a 85%;
- d) Os valores de aceleração de concepção correspondentes às intensidades sísmicas do local de serviço são os indicados no Quadro 1.

**Quadro 1 Valores de aceleração de concepção em diferentes intensidades sísmicas**

Valor de aceleração de concepção	Intensidades sísmicas		
	7	8	9
Direcção horizontal	0,2 g	0,25 g	0,4 g
Direcção vertical	0,1 g	0,125 g	0,2 g

**NOTA** g é a aceleração gravitacional do local onde o gerador é utilizado.

### 5 Requisitos técnicos

#### 5.1 Requisitos técnicos básicos

##### 5.1.1 Emissão de potência nominal

Nas condições seguintes, o gerador deve poder emitir potência nominal:

- a) O desvio entre a tensão e o seu valor nominal não deve exceder  $\pm 5\%$  à velocidade de rotação nominal e ao factor de potência nominal;

- b) O desvio entre a frequência e o seu valor nominal não deve exceder  $\pm 1\%$  à tensão nominal e ao factor de potência nominal;
- c) Ao factor de potência nominal, quando a tensão e a frequência se desviam simultaneamente (os desvios não excedem  $\pm 5\%$  e  $\pm 1\%$ , respectivamente) e ambos os desvios são positivos, a soma dos desvios não deve exceder 6%. Se ambos os desvios forem negativos ou um desvio for positivo e o outro negativo, a soma dos valores absolutos das percentagens de ambos os desvios não deve exceder 5% (o gerador deve poder operar continuamente quando os desvios de tensão e frequência excedem os valores referidos; nessa altura, a potência nominal deve garantir que a corrente de excitação não exceda o valor nominal e que a corrente do estator não exceda o valor nominal em mais de 105%).

### 5.1.2 Factor de potência nominal

O factor de potência nominal do gerador não deve ser inferior a 0,8 (desfasado).

**NOTA** Se o utilizador apresentar requisitos especiais, o factor de potência nominal pode ser negociado entre o fornecedor e o utilizador.

### 5.1.3 Tensão nominal

A tensão nominal do gerador deve ser negociada entre o fornecedor e o utilizador e deve respeitar as disposições da IEC 60038. De preferência, devem ser seleccionadas as seguintes repartições de potenciais (kV): 0.4, 0.48, 0.69, 3.15, 3.3, 4.16, 6.3, 10.5 e 11.

### 5.1.4 Velocidade de rotação nominal

A velocidade de rotação nominal do gerador deve ser seleccionada, de preferência, a partir do Quadro 2:

**Quadro 2 Velocidade de rotação nominal do gerador da turbina hidráulica** Unidade: r/min

50 Hz	60 Hz
1500, 1000, 750, 600, 500, 428,6, 375, 333,3, 300, 250, 214,3, 200, 187,5, 166,7, 150, 142,9, 136,4, 125, 115,4, 107,1, 100, 93,8, 88,2, 83,3, 75	1200, 900, 720, 600, 514,3, 450, 400, 360, 300, 257,2, 240, 225, 200, 180, 171,5, 163,7, 150, 138,5, 128,5, 120, 112,6, 105,8, 100, 90

## 5.2 Características eléctricas

### 5.2.1 Potência

**5.2.1.1** É permitido aumentar o valor da potência activa do gerador para o valor da potência nominal (potência aparente) aumentando o factor de potência. Se o utilizador assim o exigir, o gerador pode funcionar à potência

máxima. Nesse caso, o factor de potência, o valor do parâmetro eléctrico, o aumento da temperatura admissível e o desempenho do gerador relativos à operação contínua devem ser negociados entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.1.2** O gerador deve funcionar na fase avançada contínua de longo prazo e na fase de latência. A potência admissível da fase avançada, da fase de latência e do âmbito da operação, bem como a potência de carga admissível da linha sem carga devem ser negociadas entre o fornecedor e o utilizador.

## **5.2.2 Eficiência e perda**

### **5.2.2.1 Eficiência nominal**

O valor garantido da eficiência nominal do gerador a operar na potência nominal, tensão nominal, factor de potência nominal e velocidade de rotação nominal deve ser garantido no contrato assinado pelo fornecedor e pelo utilizador.

A eficiência nominal do gerador deve ser a seguinte:

- a) O gerador com uma potência nominal entre 0,6 MVA e 1,25 MVA, com uma eficiência entre 90% e 95%;
- b) O gerador com uma potência nominal superior à faixa entre 1,25 MVA e 2,5 MVA, com uma eficiência entre 90% e 96%;
- c) O gerador com uma potência nominal superior à faixa entre 2,5 MVA e 6,25 MVA, com uma eficiência entre 92% e 96,5%;
- d) O gerador com uma potência nominal superior à faixa entre 6,25 MVA e 12,5 MVA, com uma eficiência entre 93% e 97%.

### **5.2.2.2 Eficiência média ponderada**

A eficiência média ponderada é o valor médio ponderado correspondente à eficiência do gerador à tensão nominal, velocidade de rotação nominal e factor de potência especificado nas diferentes condições de potência. O valor garantido da eficiência média ponderada deve ser especificado no contrato assinado pelo fornecedor e pelo utilizador.

A eficiência média ponderada do gerador pode ser calculada através das fórmulas (1). O factor de ponderação deve ser fornecido pelo utilizador.

$$\eta = A\eta_1 + B\eta_2 + C\eta_3 \quad \dots\dots\dots(1)$$

em que

A, B e C..... correspondem ao factor de ponderação no factor de potência especificado e em condições de potência, e  $A + B + C + \dots = 1$ ;

$\eta_1, \eta_2$  e  $\eta_3$ ..... correspondem aos valores de eficiência no factor de potência, potência e coeficiente de ponderação especificados.

### 5.2.2.3 Perda

**5.2.2.3.1** A perda e a eficiência do gerador devem ser medidas pelo método directo, método indirecto ou método calorimétrico. As perdas incluem:

- a) Perda de cobre por parte do enrolamento do estator;
- b) Perda de cobre por parte do enrolamento do rotor;
- c) Perda de núcleo;
- d) Perda devida a vento e atrito;
- e) Perda do rolamento-guia;
- f) Perda do rolamento de carga axial (só é considerada a perda repartida pela parte rotativa do gerador);
- g) Perda de dispersão;
- h) Perda do sistema de excitação;
- i) Perda de electricidade e atrito por parte das escovas;
- j) Outras perdas.

**5.2.2.3.2** Para determinar o valor de perda  $I^2R$  dos enrolamentos, a resistência de corrente contínua dos enrolamentos deve ser convertida nos valores à temperatura de serviço de referência correspondente à classe de isolamento indicada na placa de identificação do gerador. Se o aumento da temperatura ou a temperatura nominal for estabelecida como inferior à classificação térmica da estrutura, a respectiva temperatura de serviço de referência deve ser estabelecida de acordo com a classificação térmica inferior, como indicado no Quadro 3.

**Quadro 3 Temperatura de serviço de referência estabelecida de acordo com a classificação térmica do isolamento do gerador da turbina hidráulica**

Classificação térmica da estrutura de isolamento	Temperatura de serviço de referência °C
130(B)	95
155(F)	115
180(H)	130

### 5.2.3 Parâmetros eléctricos e constante de tempo

Os parâmetros eléctricos, como a reactância síncrona, a reactância transitória, a reactância ultra-transitória, a razão de curto-circuito e a constante de tempo do gerador, devem cumprir os requisitos de serviço do sistema de energia eléctrica e devem ser especificados no contrato assinado por e entre o fornecedor e o utilizador.

### 5.2.4 Factor de distorção harmónica total

Quando o enrolamento do estator do gerador está conectado ao método de ligação de funcionamento normal, o factor de distorção harmónica total (THD) da tensão composta não deve exceder os 5% à tensão nominal sem carga e à velocidade de rotação nominal.

### 5.2.5 Aumento da temperatura de componentes, como os enrolamentos e o núcleo do estator

O gerador deve poder operar continuamente durante um longo período em condições de funcionamento e às condições nominais de serviço especificadas na Secção 4, e o valor-limite do aumento da temperatura do enrolamento do estator, enrolamento do rotor e núcleo do estator deve respeitar o disposto no Quadro 4. O estator e o rotor devem dispor de material isolante com classificação de temperatura de 130 (B) ou superior.

**Quadro 4 Valor-limite admissível para o aumento de temperatura do enrolamento do estator, enrolamento do rotor e núcleo do estator do gerador da turbina hidráulica**

Componentes do gerador da turbina hidráulica	Valor limite máximo admissível para o aumento da temperatura dos materiais isolantes de diferentes níveis (K)					
	130(B)			155(F)		
	Método do termómetro Th	Método de resistência R	Método de detecção de temperatura integrado ETD	Método do termómetro Th	Método de resistência R	Método de detecção de temperatura integrado ETD
Enrolamento do estator	—	80	85	—	100	105
Núcleo do estator	—	—	85	—	—	105
Enrolamento do rotor de duas camadas ou mais	—	80	—	—	100	—
Enrolamento do rotor de uma camada com superfície exposta	—	90	—	—	110	—
Anel colector	75	—	—	85	—	—

### 5.2.6 Correção do valor-limite do aumento da temperatura em classificações e condições de funcionamento sem referência

**5.2.6.1** Quando o gerador é utilizado em locais com uma altitude entre 1000 m e 4000 m e uma temperatura máxima do ar não superior a 40 °C, o valor-limite do aumento da temperatura não pode ser corrigido. Quando a altitude é superior a 4000 m, o valor deve ser negociado entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.6.2** Quando o gerador é utilizado em locais com uma altitude não superior a 1000 m e a temperatura máxima do ar ambiente ou do ar refrigerado à saída do refrigerador de ar do gerador não é de 40 °C, o valor-limite do aumento da temperatura especificado no Quadro 4 pode ser corrigido da seguinte forma (que só se aplica à medição com o método de detecção de temperatura integrado):

- a) Quando a temperatura do ar refrigerado é inferior a 40 °C, o valor-limite do aumento da temperatura deve aumentar pela diferença da temperatura do ar refrigerado abaixo dos 40 °C;
- b) Quando a temperatura do ar refrigerado é superior a 40 °C mas inferior a 60 °C, o valor-limite do aumento da temperatura deve diminuir pela diferença da temperatura do ar refrigerado acima dos 40 °C;
- c) Quando a temperatura do ar refrigerado é superior a 60 °C, a diminuição do valor-limite do aumento da temperatura pode ser negociada entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.6.3** Em relação ao gerador que é ligado e desligado três ou mais vezes por dia, o valor-limite do aumento da temperatura indicado no Quadro 4 pode considerar-se como diminuindo de 5 K a 10 K.

### 5.2.7 Temperatura dos rolamentos

Em condições normais de operação do gerador, a temperatura máxima dos rolamentos deve ser medida com o método de detecção de temperatura integrado e não deve exceder o disposto no Quadro 5.

**Quadro 5 Valores admissíveis do aumento da temperatura dos rolamentos do gerador da turbina hidráulica**

Componentes do gerador da turbina hidráulica	Valor máximo admissível do aumento da temperatura (°C)
Chumaceira Babbitt do rolamento de carga axial	75
Chumaceira Babbitt do rolamento-guia	70
Corpo de plástico da chumaceira do rolamento de carga axial	55
Corpo de plástico da chumaceira do rolamento-guia	55
Chumaceira Babbitt da luva do mancal tipo suporte	80
Rolamento de rolos	95 (método do termómetro)

**5.2.8 Requisitos de funcionamento especiais**

**5.2.8.1** O gerador permite a sobreintensidade de corrente num curto período em situações de acidente. Os múltiplos de sobreintensidade de corrente do enrolamento do estator e correspondente duração admissível devem ser determinados de acordo com o Quadro 6. No entanto, a ocorrência de sobreintensidade de corrente que atinge a duração admissível indicada no Quadro 6 não deve ser superior a 2 vezes, em média, por ano.

**Quadro 6 Relação entre múltiplos admissíveis de sobreintensidade de corrente do enrolamento do estator e de duração admissível do gerador da turbina hidráulica**

Múltiplos admissíveis de sobreintensidade de corrente do estator (corrente do estator/corrente nominal do estator)	Duração mínima admissível
1,10	60
1,15	15
1,20	6
1,25	5
1,30	4
1,40	3
1,50	2

**NOTA** Em relação ao gerador com requisitos de operação em sobrecarga (consultar 5.2.1.1), os múltiplos admissíveis de sobreintensidade de corrente e de duração do enrolamento do estator devem ser negociados entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.8.2** O enrolamento do rotor do gerador deve poder suportar o dobro da corrente de excitação nominal durante 50 s ou mais.

**5.2.8.3** Quando o gerador está a funcionar no sistema de energia assimétrico, se a corrente de qualquer fase não exceder a corrente nominal  $I_N$ , e a razão (valor por unidade) entre o componente de corrente de sequência negativa ( $I_2$ ) e a corrente nominal não for superior a 12%, o gerador deve poder funcionar durante um longo período.

**5.2.8.4** Quando o gerador funciona de forma assimétrica durante um curto período devido a avaria, o produto admissível da razão quadrática (valor por unidade) entre o componente de corrente de sequência negativa e a corrente nominal e duração do funcionamento assimétrico admissível  $t$  (s) é 40 s, ou seja,  $(I_2/I_N)^2 \times t = 40$  s.

**5.2.9 Ligação ao sistema por sincronização**

O gerador deve ser conectado ao sistema mediante semi-sincronização.

**5.2.10 Linha de saída principal, linha de saída neutra e sucessão de fases**

**5.2.10.1 Linha de saída principal e linha de saída neutra**

A quantidade de linhas de saída principais do enrolamento do estator do gerador deve ser de 3 ou 6. A direcção e a disposição das linhas de saída do enrolamento do estator, bem como o modo de saída das linhas neutras de saída devem ser negociadas entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.10.2** Sucessão de fases

A disposição da sucessão de fases do terminal de saída do gerador deve ser: Vista do terminal de saída do gerador, a sequência é U, V e W na horizontal, da esquerda para a direita. Caso seja necessário utilizar outra disposição de sucessão de fases, tal deve ser negociado entre o fornecedor e o utilizador.

**5.2.11 Propriedades isolantes e ensaio de tensão suportável 5.2.11.1 Propriedades isolantes**

**5.2.11.1.1** O valor da resistência de isolamento entre o enrolamento do estator do gerador e o invólucro ou entre os enrolamentos não deve ser inferior ao valor calculado pela fórmula (2) quando este é convertido para 100 °C:

$$R = \frac{U_N}{1\ 000 + 0.01 S_N} \dots\dots\dots(2)$$

em que

*R* é o valor calculado da resistência de isolamento ao calor do enrolamento correspondente a uma temperatura de 100 °C, em MQ;

*U<sub>N</sub>* é a tensão composta nominal do gerador, em V;

*S<sub>N</sub>* é a potência nominal do gerador, em kVA.

Quanto ao gerador seco e limpo, o valor da resistência de isolamento *R<sub>t</sub>* (MΩ) do enrolamento do estator à temperatura ambiente *t* (°C) pode ser corrigido pela fórmula (3):

$$R_t = R \times 1.6^{(100-t)/10} \dots\dots\dots(3)$$

**5.2.11.1.2** Quando o rotor é testado com megaohmímetro de 500 V ou 1000 V à temperatura ambiente entre 10 °C e 40 °C antes e depois do pólo magnético único ficar suspenso, o valor da resistência de isolamento não deve ser inferior a 5 MΩ. Após a suspensão, o valor da resistência de isolamento do enrolamento completo do rotor não deve ser inferior a 0,5 MΩ.

**5.2.11.1.3** Quando o enrolamento do estator do gerador está na temperatura mínima de serviço, a diferença na resistência de corrente contínua dos vários ramais entre a fase máxima e a fase mínima não deve exceder 2% do valor mínimo depois de corrigido o erro decorrente do comprimento diferente do fio eléctrico.

**5.2.11.1.4** O coeficiente de polarização  $R_{10}/R_1$  do enrolamento do estator do gerador não deve ser inferior a 2,0 e não deve ser avaliado quando a tensão nominal for de 2,5 kV ou inferior.

**NOTA**  $R_{10}$  e  $R_1$  são os valores da resistência de isolamento medidos em 10 minutos e 1 minuto quando a temperatura for inferior a 40 °C

**5.2.11.1.5** A tangente do ângulo de perdas dieléctricas do meio de estado normal do enrolamento do estator do gerador e o valor limite do seu aumento devem respeitar o disposto no Quadro 7 (não será avaliado quando a tensão nominal for de 2,5 kV ou inferior).

**Quadro 7 Tangente do ângulo de perdas dieléctricas do meio de estado normal do gerador da turbina hidráulica e o valor-limite do seu aumento**

Tensão do ensaio	$0,2U_N$	$0,2U_N-0,6U_N$
Tangente do ângulo de perdas dieléctricas do meio e do seu aumento	$\tan\delta$	$\Delta\tan\delta = \tan\delta_{0,6U_N} - \tan\delta_{0,2U_N}$
Valor do índice (%)	$\leq 3$	$\leq 1$
<b>NOTA</b> $U_N$ diz respeito à tensão composta nominal do gerador, em kV. Para cada gerador, deve ser realizada uma inspecção informal de 3%. A frequência das inspecções informais devem duplicar se a inspecção falhar.		

**5.2.11.1.6** Quando os valores da resistência de isolamento do rolamento de carga axial, rolamento-guia, luva do mancal tipo suporte e instrumento de detecção de temperatura integrado do gerador com requisitos de isolamento de terra medem entre 10 °C e 30 °C, devem respeitar o disposto na Quadro 8.

**Quadro 8 Valores da resistência de isolamento dos vários componentes do gerador da turbina hidráulica**

Componentes do rolamento	Resistência de isolamento MΩ	Tensão do megaohmímetro V	Observações
Rolamento de carga axial	1	1000	Instalar o termómetro no rolamento de carga axial e rolamento-guia, e medir antes de injectar o óleo lubrificante.
Chumaceira-guia bipartida	5		
Luva do mancal tipo suporte	1		
Instrumento de detecção de temperatura integrado	5	250	

### 5.2.11.2 Ensaio da tensão suportável

**5.2.11.2.1** Antes de o ensaio de tensão suportável de corrente alternada ser realizado no gerador a uma tensão nominal de 6,3 kV ou superior, a tensão suportável de corrente contínua e as fugas do enrolamento do estator devem ser medidas para uma tensão 3 vezes superior à nominal. A tensão do ensaio deve aumentar de forma estável por fases. Cada etapa deve ter 0,5 vezes a tensão nominal e durar 1 minuto. A corrente de fuga não deve aumentar ao longo do tempo. A diferença na corrente de fuga das várias fases não deve ser superior a 50% do valor mínimo.

**5.2.11.2.2** O valor da tensão de ruptura da frequência industrial do isolamento do enrolamento do estator deve estar entre 5,5 e 6 vezes a tensão nominal e deve ser verificado através do ensaio por amostragem.

**5.2.11.2.3** O enrolamento do estator e o enrolamento do rotor do gerador devem poder suportar o ensaio da tensão suportável de corrente alternada à frequência industrial especificada no Quadro 9 (a forma de onda é a forma de onda sinusoidal real) durante 1 minuto sem perfurar o isolamento.

**Quadro 9 Padrão do ensaio da tensão suportável dieléctrica do enrolamento do gerador da turbina hidráulica**

Ensaio da bobina ou do enrolamento		Tensão do ensaio, kV		Observações
		$U_N < 6,3$	$6,3 \leq U_N \leq 13,8$	
Enrolamento do estator	a) Produto bobinado acabado	$2,75U_N + 4,5$	$2,75U_N + 6,5$	
	b) Após a montagem da cunha de ranhura fora da linha	$2,5U_N + 2,5$	$2,5U_N + 2,5$	
	c) Na conclusão da montagem do estator	$2,25U_N + 2,0$	$2,25U_N + 2,0$	
	d) Estator após cura de envernizamento por imersão	$2,0U_N + 2,0$	$2,0U_N + 2,0$	Imersão total
	e) Na conclusão da montagem final do gerador	$2,0U_N + 1,0$	$2,0U_N + 1,0$	
Enrolamento do rotor	a) Na conclusão da montagem do rotor	10 vezes a tensão de excitação +0,5 (o mínimo é 2,0 kV)		
	b) Na conclusão da montagem final do gerador	10 vezes a tensão de excitação +0,5 (o mínimo é 1,5 kV)		

**NOTA 1**  $U_N$  diz respeito à tensão nominal do gerador (kV);  
**NOTA 2** O enrolamento do estator que não é tratado por imersão total não será submetido à alínea d); o ensaio da resistência dieléctrica do enrolamento do estator tratado por imersão total será realizado de acordo com a alínea d);  
**NOTA 3** Para que o estator e o rotor sejam aceites no local, o valor do ensaio da resistência dieléctrica de corrente alternada do respectivo enrolamento é 0,8 vezes o valor da tensão do ensaio após a conclusão da montagem final do gerador.

**5.2.11.2.4** Em relação ao gerador com tensão nominal de 6,3 kV ou superior, a bobina única do estator não deve apresentar um limiar de descarga parcial que seja 1,5 vezes a tensão nominal quando a altitude do local de serviço é 1000 m ou inferior. Durante o ensaio de resistência dieléctrica de uma máquina completa, os terminais não devem apresentar pontos brilhantes dourados visíveis e bandas contínuas da coroa a 1,05 vezes a tensão nominal. Quando a altitude é superior a 1000 m, o valor do ensaio da tensão limiar de descarga parcial deve ser o seguinte:

- a) O valor da tensão limiar de descarga parcial do enrolamento do estator não deve ser inferior aos valores obtidos pela fórmula (4):

$$U_{BS} = 1.5U_N \frac{1 - KH_s}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(4)$$

em que

$U_{BS}$  é a tensão limiar de descarga parcial do enrolamento do estator, em kV;

$U_N$  é a tensão composta nominal do gerador, em kV;

$K$  é a taxa decrescente da tensão limiar de descarga em conjunto com o aumento da altitude,  $K$  aumenta 0,1, em  $km^{-1}$ ;

$H_s$  é a altitude do local do ensaio do motor, em km;

$H_A$  é a altitude do local da instalação do motor, em km.

b) O valor da tensão limiar de descarga parcial do gerador completo não deve ser inferior aos valores obtidos pela fórmula (5):

$$U_{JS} = 1.3U_\phi \frac{1 - KH_s}{1 - KH_A} \dots\dots\dots(5)$$

em que

$U_{JS}$  é a tensão limiar de descarga parcial do gerador, em kV;

$U_\phi$  é a tensão de fase nominal do gerador, em kV.

**5.3 Características mecânicas**

**5.3.1** A direcção de rotação especificada do gerador deve ser vista no sentido horário a partir do terminal sem transmissão. Caso exista algum requisito especial, deve ser especificado no contrato assinado pelo fornecedor e pelo utilizador.

**5.3.2** O valor do momento de inércia ( $GD^2$ ) do gerador deve cumprir os requisitos do cálculo da garantia de variação e da adequação técnica e económica da central de energia hidroeléctrica. Se o valor do  $GD^2$  do gerador não cumprir os requisitos do cálculo da garantia de variação da central de energia hidroeléctrica, esse valor deve ser negociado entre o fornecedor e o utilizador.

**5.3.3** O gerador e a máquina auxiliar a este directamente ligada devem poder operar durante 5 minutos à velocidade de rotação máxima sem ficar deformados e danificados.

**5.3.4** A resistência estrutural dos vários componentes do gerador deve poder suportar o ensaio de curto-circuito trifásico súbito de 3 s à velocidade de rotação nominal e à tensão sem carga, que é 105% da tensão nominal e não deve ficar deformada. Por outro lado, deve poder executar uma falha por curto-circuito de 20 s à potência nominal, factor de potência nominal e 105% da tensão nominal e em condições de excitação estáveis sem ficar deformada ou danificada.

**5.3.5** A resistência estrutural do gerador deve poder executar uma acção de atracção magnética desequilibrada produzida por curto-circuito de metade dos pólos magnéticos do rotor sem ficar deformada ou danificada.

**5.3.6** Após a montagem do estator e do rotor do gerador, a diferença entre o valor máximo ou mínimo do raio interno do estator e do raio externo do rotor e do raio de concepção não deve ser  $\pm 4\%$  do valor de entreferro de concepção. A diferença entre o valor máximo ou mínimo do entreferro entre o estator e o rotor e o respectivo valor médio não deve ser superior a  $\pm 8\%$  do seu valor médio.

**5.3.7** A vibração de dupla amplitude admissível do gerador deve estar em conformidade com o disposto na Quadro 10.

**Quadro 10 Valor-limite da vibração admissível dos vários componentes do gerador da turbina hidráulica**

Unidade: mm

Tipo de unidade do gerador da turbina hidráulica	Dados	Velocidade nominal de rotação $n_N/(r/min)$				
		$n_N < 100$	$100 \leq n_N < 250$	$250 \leq n_N < 375$	$375 \leq n_N \leq 750$	$750 < n_N$
Tipo vertical	Vibração vertical do suporte com rolamento de carga axial	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03
Tipo vertical	Vibração horizontal do suporte com rolamento de carga axial	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04
Tipo horizontal	Vibração vertical dos rolamentos em várias posições	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04

**NOTA** O valor da vibração diz respeito ao valor de dupla amplitude da unidade do gerador da turbina hidráulica em todos os tipos de condições de funcionamento estáveis, excepto na operação em excesso de velocidade.

**5.3.8** O nível de ruído do gerador da turbina hidráulica não deve ser superior ao especificado no Quadro 11.

**Quadro 11 Nível de ruído do gerador da turbina hidráulica**

Modo da unidade	Posição de medição	Velocidade nominal $n_N/(r/min)$		
		$n_N \leq 250$	$250 < n_N < 750$	$n_N \geq 750$
Unidade vertical	Distância vertical 1 m acima da aresta externa da cobertura superior	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)
Unidade horizontal	A 1 m da unidade na extremidade sem transmissão	80 dB(A)	85 dB(A)	90 dB(A)

**5.3.9** Após a montagem do gerador e da turbina, a velocidade crítica de rotação de primeiro nível da parte rotativa da unidade do gerador da turbina hidráulica não deve ser inferior a 120% da velocidade de rotação máxima.

**5.3.10** O valor da deflexão vertical da estrutura de suporte de cargas do gerador não deve ser superior a 1,5 mm sob a acção da carga axial máxima.

#### **5.4 Requisitos básicos da estrutura**

**5.4.1** O estilo estrutural do gerador deve ser determinado após a análise e a comparação técnica e económica, de acordo com o tipo de turbina, velocidade de rotação da unidade do gerador da turbina hidráulica, potência nominal, tipo de central e estabilidade de serviço da unidade do gerador da turbina hidráulica.

**5.4.2** A conexão entre o gerador e o fim de transmissão deve utilizar a estrutura de transmissão coaxial rígida ou flexível, mas não deve utilizar a estrutura de transmissão por correia. As situações em que é necessário utilizar a estrutura de transmissão por correia devem ser negociadas entre o fornecedor e o utilizador.

**5.4.3** O gerador com estrutura de rolamento de rolos não deve sustentar a carga axial. Em relação ao gerador necessário à sustentação da carga axial, o valor de carga deve ser negociado entre o fornecedor e o utilizador.

**5.4.4** O gerador com estrutura de apoio deslizante deve utilizar o rolamento de auto-circulação, e a unidade do gerador da turbina horizontal (excluindo a unidade do gerador da turbina tabular com extensão do veio) deve ter, de preferência, uma estrutura com dois pontos de apoio.

**5.4.5** O rotor do gerador com potência nominal superior a 1 MVA deve dispor de enrolamento amortecedor (ou estrutura com função de amortecimento). O rotor do gerador com potência nominal de 1 MVA ou inferior não irá dispor de enrolamento amortecedor. O fornecedor e o utilizador devem negociar a sua colocação.

**5.4.6** A estrutura do gerador da turbina hidráulica vertical deve estar adequada à realização de manutenções e revisões. Se a estrutura o permitir, o gerador deve ser concebido de forma a que a cremalheira inferior e os componentes hidráulicos da turbina hidráulica possam passar pelo diâmetro interior do núcleo do estator sem ser necessário extrair o estator durante a instalação e a revisão.

**5.4.7** A unidade do gerador da turbina hidráulica pode arrancar quando a temperatura do óleo do entalhe do óleo não for inferior a 10 °C no rolamento de carga axial e no rolamento-guia com casquilho de liga do mancal, e o gerador pode arrancar imediatamente após a paragem. A unidade do gerador da turbina hidráulica pode arrancar quando a temperatura do óleo do entalhe do óleo não for inferior a 5 °C no rolamento de carga axial e no rolamento-guia com casquilho de mancal metalo-plástico, e o gerador pode arrancar imediatamente após a paragem.

**5.4.8** O fornecedor e o utilizador devem negociar se o gerador necessitar de dispor de sistema de desumidificação por aquecimento eléctrico.

## 5.5 Sistema de ventilação e refrigeração

**5.5.1** O gerador pode utilizar o seguinte sistema de ventilação e refrigeração:

- a) Sistema de auto-ventilação e refrigeração de tipo aberto: geralmente, aplica-se ao gerador com uma potência útil de 1 MVA ou menos;
- b) Sistema de ventilação e refrigeração por condutas: geralmente, aplica-se ao gerador com uma potência nominal superior a 1 MVA mas inferior a 4 MVA;
- c) Sistema de refrigeração e ventilação por circulação fechada: geralmente, aplica-se ao gerador com potência útil superior a 4 MVA.

**5.5.2** A pressão da água de refrigeração do refrigerador de ar pode ser atribuída de 0,15 MPa a 0,3 MPa, ou a pressão de serviço pode ser determinada de acordo com a situação real e confirmada através da negociação entre o fornecedor e o utilizador. A pressão da água de ensaio do refrigerador deve ser 1,5 vezes a pressão da água de serviço (a pressão mínima não deve ser inferior a 0,4 MPa). O ensaio deve durar 60 minutos.

## 5.6 Sistema de travagem

**5.6.1** O gerador com estrutura de rolamento de rolos não deve dispor de dispositivo de travagem.

**5.6.2** O gerador da turbina hidráulica com estrutura de apoio deslizante deve dispor de dispositivo de travagem. O gerador da turbina hidráulica com potência nominal acima de 1 MVA deve dispor de um conjunto de dispositivos de travagem mecânica operados com ar comprimido ou óleo de pressão. O sistema de travagem deve poder elevar a parte rotativa da unidade do gerador da turbina hidráulica com o óleo hidráulico e poder ser bloqueado de forma segura.

**5.6.3** O fornecedor e o utilizador devem negociar quando o gerador da turbina hidráulica horizontal com estrutura de apoio deslizante necessita do dispositivo de travagem.

**5.6.4** Quando o gerador dispõe de travão mecânico, pode ser utilizado ar comprimido com uma pressão entre 0,5 MPa e 0,7 MPa, ou o óleo de pressão pode ser utilizado como meio de travagem. O sistema de travagem mecânica deve poder travar e parar a parte rotativa da unidade do gerador da turbina hidráulica de forma contínua entre 20% e 30% da velocidade de rotação nominal (10% ou 20% para o gerador com casquilho de mancal plástico) no tempo especificado. Quando o binário de rotação produzido pela unidade do gerador da turbina hidráulica, devido à fuga de água da lâmina-guia da turbina, não for superior a 1% do binário de rotação nominal da turbina, o sistema de travagem mecânica deve travar e parar a unidade do gerador da turbina hidráulica.

## 5.7 Sistema de extinção de incêndios

A instalação do sistema de extinção de incêndios deve cumprir os seguintes requisitos:

- a) Para o gerador com uma potência nominal de 12,5 MVA, a cabeça de bobinagem do estator deve dispor de um extintor de incêndios com água;
- b) O gerador com uma potência nominal inferior a 12,5 MVA não pode dispor de extintores de incêndio;
- c) A colocação do sistema de extinção de incêndios do gerador deve ser definida de acordo com a norma de combate a incêndios do país.

## **5.8 Sistema de detecção**

**5.8.1** O gerador deve dispor de um dispositivo de medição de velocidade da pressão residual. Se forem adoptados outros métodos de medição de velocidade, estes devem ser acordados entre o fornecedor e o comprador.

**5.8.2** Para medir a temperatura do enrolamento do estator e do núcleo do estator, é necessário integrar termómetros de resistência eléctrica no entalhe do estator do gerador, nas seguintes quantidades:

- a) Zero para o gerador com uma potência nominal de 1 MVA ou menos;
- b) Seis para o gerador com potência nominal acima de 1 MVA mas inferior a 12,5 MVA.

**5.8.3** Para medir a temperatura do rolamento de carga axial e do rolamento-guia, é necessário integrar os termómetros de resistência eléctrica (termómetros de sinal) nas seguintes quantidades, no mínimo:

- a) Quatro a integrar no casquilho do rolamento de carga axial no gerador com uma potência nominal superior a 1 MVA, dois são integrados no casquilho do rolamento-guia, um é integrado no entalhe de óleo do rolamento de carga axial e um no entalhe de óleo do rolamento-guia;
- b) Um a integrar no entalhe de óleo do rolamento de carga axial e um no entalhe de óleo do rolamento-guia do gerador com uma potência nominal de 1 MVA ou inferior para medir a temperatura do óleo quente no entalhe de óleo. O fornecedor e o utilizador devem negociar se os termómetros de resistência eléctrica (termómetros de sinal) precisam ser integrados no rolamento de carga axial e no rolamento-guia;
- c) Pelo menos um deve ser integrado na luva do mancal tipo suporte do gerador da turbina hidráulica horizontal. Se a luva do mancal tipo suporte dispõe de um rolamento de carga axial, pelo menos um termómetro é integrado no casquilho do rolamento de carga axial.

**5.8.4** Todos os refrigeradores de ar devem dispor de um termómetro de resistência eléctrica para medir a temperatura do ar frio. Os dois refrigeradores de ar de todos os geradores de turbinas hidráulicas devem dispor de um termómetro para medir a temperatura do ar quente. Deve ser integrado um termómetro para medir a temperatura do ar quente se existirem dois ou menos refrigeradores de ar. Os termómetros devem ser fáceis de trocar.

**5.8.5** O sistema de detecção automática, como o dispositivo de detecção do nível líquido, o indicador de fluxo da água de refrigeração, o dispositivo de detecção de água no óleo, o dispositivo de detecção de pressão e o dispositivo de detecção de calor, secagem e desumidificação, deve ser configurado de acordo com a negociação entre o fornecedor e o utilizador.

Os requisitos de tipo e de desempenho de cada sistema e dispositivo de detecção automática, bem como a configuração da interface do sistema de vigilância devem ser negociados pelo fornecedor e pelo utilizador, e a interface de comunicação deve dispor de um RS-485.

## **5.9 Sistema de excitação**

O gerador deve dispor de um sistema de excitação rectificador com tiristor de excitação auto-derivativo. Se forem adoptados outros métodos de excitação, estes devem ser acordados entre o fornecedor e o comprador.

## **6 Âmbito do fornecimento e peças sobressalentes**

### **6.1 Âmbito do fornecimento**

**6.1.1** Corpo do gerador e respectivos acessórios.

**6.1.2** O fornecimento do pacote completo do sistema de excitação será negociado entre o fornecedor e o utilizador.

**6.1.3** Ferramentas dedicadas e ferramentas especiais para instalação e revisão.

### **6.2 Peças sobressalentes**

**6.2.1** Os dados e a quantidade das principais peças sobressalentes do gerador devem ser submetidos ao disposto no Apêndice A.

**6.2.2** Outras peças sobressalentes devem ser negociadas entre o fornecedor e o utilizador.

## **7 Documentos técnicos**

O fornecedor deve facultar os documentos técnicos necessários para o utilizador, incluindo principalmente:

- a) Plano da disposição, desenho da fundação e diagrama das peças integradas no gerador;
- b) Desenho da montagem geral do gerador, desenho da montagem dos vários componentes do gerador, dimensões gerais e plano da disposição do refrigerador de ar, diagrama esquemático da elevação do rotor, diagrama esquemático da instalação/remoção do maciço de carga axial e diagrama esquemático de rotação lenta da unidade;

- c) Principais parâmetros eléctricos do gerador e dimensões e peso dos componentes principais;
- d) Curva característica sem carga, curva característica de curto-circuito e curva característica da eficiência do gerador;
- e) Diagrama esquemático e plano da disposição do sistema de travagem, desenho da disposição da tubagem de óleo, água e ar do gerador e diagrama detalhado da ligação auxiliar do gerador;
- f) Instruções de instalação, utilização e manutenção, relatório de inspeção de entrega e detalhes da entrega do gerador.

## **8 Inspeção e aceitação**

**8.1** Todos os produtos devem ser aprovados na inspeção antes de serem entregues e devem ser acompanhados do respectivo certificado de inspeção de qualidade.

**8.2** O gerador que pôde ser submetido à montagem geral e à operação de arranque e ensaio nas instalações do fornecedor deve ser inspeccionado e aceite de acordo com os dados de ensaios de entrega e de arranque indicados no Quadro B.1.

**8.3** O gerador que não pôde ser submetido à montagem geral e à operação de arranque e ensaio nas instalações do fornecedor deve ser inspeccionado e aceite de acordo com os dados de ensaios de transferência indicados no Quadro B.1.

**8.4** O fornecedor deve fornecer os certificados de conformidade, componentes químicos dos materiais e relatórios de propriedade mecânica dos componentes principais do gerador, incluindo:

- a) Componentes químicos do material, propriedades mecânicas e ensaios não destrutivos do fuso;
- b) Componentes químicos do material e propriedades mecânicas da aranha do rotor (culatra magnética);
- c) Componentes químicos do material e propriedades mecânicas da placa da roda forjada;
- d) Característica de magnetização e perda da placa de aço silício;
- e) Tamanho do fio, condutividade eléctrica e resistência dieléctrica do enrolamento.

**8.5** Para o equipamento a montar no local da central de energia hidroeléctrica, as dimensões das peças e as dimensões de montagem dos componentes devem ser verificadas antes da entrega e os componentes (estrutura bipartida do estator, aranha do rotor do disco, montagem e placas de cobertura do rolamento-guia e do rolamento de carga axial, bem como a instalação do crivo por corrente de ar) devem ser pré-montados, se for caso disso, pelo fornecedor.

**8.6** Aceitação no local, incluindo:

- a) Os passos do arranque e do ensaio de aceitação devem ser executados de acordo com os passos de arranque e de ensaio do Quadro B.1;
- b) Os passos do ensaio de desempenho para aceitação devem ser executados de acordo com os passos do ensaio de desempenho do Quadro B.1.

**9 Placa de identificação, embalagem, transporte e armazenamento****9.1 Placa de identificação**

Os materiais e o método de gravação das placas de identificação devem garantir que os textos não são apagados durante todo o período de serviço, e estas devem conter a seguinte informação:

Nome e modelo; potência nominal (MVA, kVA), tensão nominal (V), corrente nominal (A), frequência nominal (Hz) e factor de potência nominal ( $\cos\phi$ ); velocidade de rotação nominal (r/min.) e velocidade de rotação máxima (r/min.); tensão de excitação nominal (V) e corrente de excitação nominal (A); quantidade de fases, método de ligação para o enrolamento do estator e grau de isolamento, nome do país, nome do fabricante, data de entrega e número do produto.

**9.2 Embalagem, transporte e armazenamento**

**9.2.1** A embalagem deve ser negociada entre o fornecedor e o utilizador e deve respeitar as disposições relevantes do país que importa o equipamento. Caso existam requisitos especiais para o equipamento, estes devem ser indicados no contentor da embalagem.

**9.2.2** O contentor da embalagem deve ser produzido de acordo com o desenho da caixa. Do exterior do contentor devem constar as seguintes informações:

- a) Nome e morada do utilizador;
- b) Nome e morada do fornecedor;
- c) Nome, modelo e número de série;
- d) Peso líquido, peso bruto, centro da linha de gravidade do contentor da embalagem, posição das lingas e dimensões gerais do contentor da embalagem;
- e) Expressões e sinais como "Manusear com cuidado", "Proteger da humidade" e "Não colocar virado para baixo".

**9.2.3** Antes de embalar, devem ser realizados os seguintes preparativos:

- a) Verificar se a aparência do equipamento está danificada;
- b) Tomar as medidas de prevenção necessárias contra a ferrugem e deformação em relação à superfície de maquinaria exterior do equipamento;
- c) Remover os componentes e aparelhos de medição frágeis e sensíveis a vibrações e embalá-los separadamente;
- d) Fixar as partes móveis do equipamento ao corpo do gerador;
- e) Garantir que as peças sobressalentes, o certificado de conformidade e os documentos técnicos relevantes que acompanham o equipamento estão completos, acondicioná-los adequadamente e fixá-los na posição adequada.

**9.2.4** Após a abertura do contentor da embalagem do equipamento depois de este ser entregue no local da central hidroelétrica, o equipamento deve ser armazenado no armazém protegido a uma temperatura não inferior a 5 °C e protegido da humidade, deve ser armazenado adequadamente e não deve ser empilhado.

## **10 Instalação, utilização e manutenção**

### **10.1 Instalação**

A instalação deve estar em conformidade com o disposto nas instruções de instalação, utilização e manutenção do produto facultadas pelo fornecedor.

### **10.2 Operação e manutenção**

A operação e manutenção devem cumprir as disposições das referências normativas, as instruções de instalação, utilização e manutenção facultadas pelo fornecedor, bem como as especificações de operação relevantes da central hidroelétrica.

O fornecedor deve providenciar o suporte técnico para a solução dos problemas que ocorram durante a instalação, utilização e manutenção do equipamento e deve dar formação à equipa do utilizador relativamente à instalação, utilização e manutenção do equipamento.

## **11 Período de garantia de qualidade**

Sob a premissa de que o produto é devidamente armazenado, instalado e utilizado, o período de garantia de qualidade será de um ano após a data em que a operação experimental de 72 horas é concluída ou dois anos após a data de entrega do último lote de mercadorias, consoante a que ocorrer primeiro. Se o equipamento estiver danificado ou não funcionar correctamente devido à qualidade de fabrico durante o período de garantia de qualidade, o fornecedor deve repará-lo ou substituí-lo gratuitamente.

**Apêndice A  
(Informativo)**

**Principais peças sobressalentes do gerador da turbina hidráulica**

**Quadro A.1 Principais peças sobressalentes do gerador da turbina hidráulica**

N.º	Nome	Unidade	Quantidade			Observações
			1-2 unidades	3-4 unidades	5 unidades ou mais	
1	Cepo de freio, anel vedante e mola	Unidade/conjunto	1	1	1	Peças sobressalentes obrigatórias
2	Escova de carvão	Unidade/conjunto	Um conjunto para cada unidade ou 2 peças para cada unidade			
3	Silício de rotação	Peça	2 peças para cada unidade			
4	Porta-escovas	Unidade/conjunto	1/4	2/4	3/4	
5	Placa isolante e manga isolante do mancal	Unidade/conjunto	1	1	1	
6	Componente de medição de temperatura	Peça	Um de cada tipo para cada unidade			
7	Enrolamento do estator	Unidade/conjunto	1/15	2/15	3/15	Peças sobressalentes opcionais
8	Cunha de ranhura do estator		1/3 do nível de reserva das bobinas multiplicando o número de ramais por ranhura			
9	Casquilho do rolamento de carga axial	Unidade/conjunto	1	1	1	
10	Casquilho do rolamento-guia	Unidade/conjunto	1	1	1	
11	Casquilho da luva do mancal (rolamento horizontal)	Unidade/conjunto	1	1	1	
<b>NOTA</b> "Unidade/conjunto" diz respeito aos conjuntos (ou à quantidade) de cada unidade.						

**Apêndice B**  
**(Informativo)**

**Passos da inspeção de aceitação do gerador da turbina hidroelétrica**

**Quadro B.1 Passos da inspeção de aceitação do gerador da turbina hidroelétrica**

N.º	Elementos de ensaio	Ensaio de entrega	Ensaio de transferência	Arranque e ensaio	Ensaio de desempenho	Observações
1	Inspeção dos componentes químicos e das propriedades mecânicas dos principais componentes e materiais		√			De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
2	Ensaio da magnetização do núcleo do estator (perda de ferro)		√			De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
3	Inspeção da resistência dielétrica da bobina formada do estator		√			Aplicar na montagem do estator bipartido completo na área de construção da central hidroelétrica
4	Medição da resistência de isolamento do enrolamento no invólucro e entre enrolamentos	√	√			
5	Medição da resistência de isolamento do componente de medição de temperatura	√	√			
6	Medição da resistência de corrente contínua do enrolamento na temperatura mínima de trabalho real	√	√			
7	Ensaio da tensão suportável de corrente contínua do enrolamento do estator no invólucro e entre enrolamentos, bem como medição da corrente de fuga	√	√			$U_N \geq 6,3$ kV
8	Ensaio da tensão suportável de corrente alternada à frequência industrial do enrolamento no invólucro e entre enrolamentos	√	√			
9	Medição da impedância de corrente alternada do pólo magnético único do rotor	√	√			De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
10	Ensaio de equilibragem do rotor	√	√			
11	Medição da resistência de isolamento dos rolamentos	√	√			A resistência não precisa de ser testada se o rolamento de rolos não dispuser de isolamento

Quadro B.1 (continuação)

N.º	Elementos de ensaio	Ensaio de entrega	Ensaio de transferência	Arranque e ensaio	Ensaio de desempenho	Observações
12	Ensaio da tensão suportável do refrigerador	√	√			
13	Ensaio da tensão suportável do travão	√	√			
14	Ensaio do sistema óleo-ar-água			√		
15	Medição da temperatura dos rolamentos	√		√		Se o rolamento dispuser de dispositivo de medição de temperatura
16	Calibração do equilíbrio dinâmico			√		Se necessário
17	Inspeção da função de travagem			√		
18	Ensaio de sobre-velocidade	√		√		
19	Medição da sucessão de fases	√		√		
20	Medição da tensão do veio			√		A resistência não precisa de ser testada se o rolamento de rolos não dispuser de isolamento
21	Ensaio das características sem carga	√		√		
22	Ensaio de sobretensão	√		√		
23	Ensaio de curto-circuito trifásico no estado estável	√		√		
24	Ensaio de sobreintensidade	√		√		
25	Medição da vibração e do alcance			√		
26	Medição da corrente de excitação nominal e da razão de variação da tensão				√	
27	Medição da impedância do enrolamento e da constante de tempo				√	
28	Medição do factor de distorção harmónica total (THD) da forma de onda da tensão				√	
29	Medição do nível de ruído				√	
30	Ensaio do aumento da temperatura				√	
31	Medição da eficiência e das perdas				√	De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
32	Ensaio da operação de modulação de fase de sobre-excitação e da fase avançada sub-excitação				√	De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador

Quadro B.1 (continuação)

N.º	Elementos de ensaio	Ensaio de entrega	Ensaio de transferência	Arranque e ensaio	Ensaio de desempenho	Observações
33	Ensaio de descarga				√	A realizar abaixo de 25%, 50%, 75% e 100% das cargas nominais.
34	Ensaio de curto-circuito trifásico repentino				√	De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
35	Ensaio da velocidade de rotação máxima				√	De acordo com o contrato entre o fornecedor e o comprador
<p><b>NOTA 1</b> Os pontos sinalizados com "√" no quadro devem ser concluídos.</p> <p><b>NOTA 2</b> Se o equipamento testado não apresentar a estrutura e a função relevantes para um determinado passo de ensaio, esse passo não precisa de ser testado.</p> <p><b>NOTA 3</b> As funções e as peças adquiridas não listadas no Quadro 12 podem ser testadas de acordo com as disposições do fornecedor;</p> <p><b>NOTA 4</b> Alguns passos dos ensaios de entrega que não puderam ser executados nas instalações do fornecedor, podem ser realizados no local da central hidroeléctrica após a instalação do gerador da turbina hidroeléctrica.</p>						