

**GARANTIA DA QUALIDADE NA
AQUISIÇÃO, PROJETO E FABRICAÇÃO
DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS**

CNEN

Comissão Nacional de Energia Nuclear

**Garantia da Qualidade na Aquisição Projeto e
Fabricação de Elementos Combustíveis**

RESOLUÇÃO CNEN 02/95
Publicação: D.O. U. de 01/09/95

RESOLUÇÃO CNEN 12/99
Publicação: D.O. U. de 21/09/99

SUMÁRIO
CNEN-NE-1.27: “GARANTIA DA QUALIDADE NA AQUISIÇÃO, PROJETO E FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS”

1.	OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO	4
1.1	OBJETIVO	4
1.2	CAMPO DE APLICAÇÃO	4
2.	GENERALIDADES	4
2.1	INTERPRETAÇÕES	4
2.2	RESPONSABILIDADES.....	4
3.	DEFINIÇÕES E SIGLAS.....	5
4.	CONTROLE DE AQUISIÇÃO	5
4.1	GENERALIDADES	5
4.2	REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE	6
4.3	REQUISITOS TÉCNICOS	6
4.4	DIREITO DE ACESSO A INSTALAÇÕES E DOCUMENTOS	6
4.5	ACEITAÇÃO DE ITENS E SERVIÇOS	6
4.6	REGISTROS DE GARANTIA DA QUALIDADE	6
5.	CONTROLE DE PROJETO	7
5.1	REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE	7
5.2	CONSIDERAÇÕES DE PROJETO	7
5.3	VERIFICAÇÃO DE PROJETO	7
5.4	CONTROLE DE INTERFACES	8
6.	CONTROLE DE FABRICAÇÃO	8
6.1	REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE	8
6.2	QUALIFICAÇÃO E CONTROLE DOS PROCESSOS E DAS CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO	8
6.3	CONTROLE DE FABRICAÇÃO	9
6.4	IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS	9
7.	MANUSEIO, ACONDICIONAMENTO E ARMAZENAGEM DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS.....	9
8.	TRANSPORTE E RECEBIMENTO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS	10
	ANEXO I	11
	ANEXO II	13
	ANEXO III	14
	ANEXO IV	18
	COMISSÃO DE ESTUDO	19

GARANTIA DA QUALIDADE NA AQUISIÇÃO, PROJETO E FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

1. OBJETIVO E CAMPO DE APLICAÇÃO

1.1 OBJETIVO

O objetivo desta Norma é estabelecer requisitos para *Programas de Garantia da Qualidade (PGQ)* aplicáveis especificamente na aquisição, projeto e fabricação de *Elementos Combustíveis* para *Usinas Nucleoelétricas*.

1.2 CAMPO DE APLICAÇÃO

1.2.1 Esta Norma aplica-se ao trabalho do indivíduo ou organização que participe das atividades de aquisição, projeto e fabricação de *Elementos Combustíveis* para *Usinas Nucleoelétricas*.

1.2.2 Esta Norma deve ser aplicada em conjunto com as seguintes Normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN):

- a) CNEN-NE-1.04: "Licenciamento de Instalações Nucleares";
- b) CNEN-NE-1.28: "Qualificação e Atuação de Órgãos de Supervisão Técnica Independente em Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações";
- c) CNEN-NE-1.16: "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações";
- d) CNEN-NE-1.17: "Qualificação de Pessoal e Certificação, para Ensaios Não-Destrutivos em Itens de Instalações Nucleares";
- e) CNEN-NE-2.01: "Proteção Física de Unidades Operacionais na Área Nuclear";
- f) CNEN-NE-3.01: "Diretrizes Básicas de Radioproteção";
- g) CNEN-NE-5.01: "Transporte de Material Radioativo";
- h) CNEN-NE-5.02: "Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Elementos Combustíveis de Usinas Nucleares".

2. GENERALIDADES

2.1 INTERPRETAÇÕES

2.1.1 Qualquer dúvida que possa surgir com referência às disposições desta Norma será dirimida pela CNEN.

2.1.2 A CNEN pode, através de Resolução, substituir e/ou acrescentar requisitos aos constantes desta Norma, conforme apropriado ou necessário.

2.2 RESPONSABILIDADES

2.2.1 A organização que tem a responsabilidade pelo estabelecimento e implementação do *Programa de Garantia da Qualidade* da *Usina Nucleoelétrica* é daqui em diante referida como *Requerente*.

2.2.2 O *Requerente* pode delegar a outras organizações a tarefa de estabelecer e implementar partes de seu *Programa de Garantia da Qualidade* para aquisição, projeto e fabricação de *Elementos Combustíveis*, porém continuará integralmente responsável perante a CNEN pela eficácia dos mesmos, sem prejuízo das suas responsabilidades legais ou das de seus contratados.

2.2.3 O *Requerente* deve assegurar que todos os *Registros de Garantia da Qualidade* estabelecidos nos documentos de aquisição estejam completos, corretos e disponíveis antes do transporte do *Elemento Combustível*.

3. DEFINIÇÕES E SIGLAS

Para fins desta Norma são adotadas as seguintes definições e siglas:

- 1 **Aquisição** - atividade realizada pelo *Requerente* ou por seu representante autorizado para obtenção de um item ou serviço, iniciando com a preparação de requisitos específicos e terminando com a aceitação de tal item ou serviço.
- 2 **CNEN** - Comissão Nacional de Energia Nuclear.
- 3 **Combustível Nuclear** (ou simplesmente **Combustível**) - material contendo nuclídeos físseis que, quando utilizado em um *Reator Nuclear*, possibilita uma reação nuclear em cadeia.
- 4 **Elemento Combustível** - conjunto de *Varetas* contendo *Combustível*, mantidas unidas por meio de componentes estruturais, constituindo uma unidade estrutural.
- 5 **Fornecedor de Elementos Combustíveis** (ou simplesmente **Fornecedor**) - organização responsável pelo fornecimento de elementos combustíveis ao *Requerente*.
- 6 **Garantia da Qualidade** - conjunto de ações sistemáticas e planejadas necessárias para proporcionar confiança adequada de que uma estrutura, sistema, componente ou instalação funcionará satisfatoriamente em serviço.
- 7 **Programa de Garantia da Qualidade (PGQ)** – documento, para fins de licenciamento, que descreve ou apresenta os compromissos para o estabelecimento do Sistema de Garantia da Qualidade de uma organização.
- 8 **Reator Nuclear** (ou simplesmente **Reator**) - instalação contendo *Combustível Nuclear* na qual possa ocorrer processo auto-sustentado e controlado de fissão nuclear.
- 9 **Recipiente de Transporte de Elemento Combustível** (ou simplesmente **Recipiente**) - conjunto de componentes necessários para o acondicionamento de *Elementos Combustíveis* para o transporte.
- 10 **Registros** - documentos que proporcionam evidência objetiva da qualidade de matérias primas, componentes e sistemas e de atividades que afetam a segurança.
- 11 **Requerente** - pessoa jurídica, autorizada na forma da Lei, que requer à *CNEN* a Licença de Construção e/ou Autorização para Operação da *Usina Nucleoelétrica*.
- 12 **Usina Nucleoelétrica** (ou simplesmente **Usina**) - instalação fixa dotada de um único *Reator Nuclear* para produção de energia elétrica.
- 13 **Serviços** - atividades realizadas por um indivíduo ou por uma organização sob contrato, tais como projeto, fabricação, inspeção, ensaio, consultoria, reparo ou instalação.
- 14 **Vareta Combustível** - (ou simplesmente **Vareta**) - componente do *Elemento Combustível*, construtivamente independente, que contém o *combustível*, de forma estanque.
- 15 **Veneno Nuclear** (ou simplesmente **Veneno**) - substância que, devido a sua alta seção de choque de absorção de nêutrons reduz a reatividade do núcleo de um *Reator*.

4. CONTROLE DE AQUISIÇÃO

4.1 GENERALIDADES

Os requisitos para projeto, fabricação e aceitação de *Elementos Combustíveis* devem ser estabelecidos e incluídos ou referidos nos documentos de *Aquisição*.

4.2 REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE

4.2.1 Os documentos de *aquisição* devem exigir que o projetista e o fabricante de *Elementos Combustíveis* tenham um Sistema de Garantia da Qualidade consistente com os requisitos particulares desta Norma e com aqueles da Norma CNEN -NN-1.16 - "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações."

4.2.2 O *PGQ* deve incluir requisitos para a realização de auditorias internas a fim de verificar sua implementação e eficácia.

4.2.3 O *Requerente* deve submeter à aprovação da *CNEN* as partes aplicáveis do *PGQ* do *Fornecedor*.

4.3 REQUISITOS TÉCNICOS

4.3.1 Os documentos de *Aquisição* devem incluir os aspectos técnicos pertinentes aos itens e *Serviços* a serem fornecidos, fazendo referência a códigos relacionados à segurança, normas, especificações técnicas, listas de dados, desenhos, procedimentos ou instruções.

4.3.2 Os documentos de *Aquisição* devem especificar as instruções e requisitos especiais para identificação, testes de aceitação de fabricação, testemunhos de fabricação, embalagem, manuseio e armazenagem.

4.4 DIREITO DE ACESSO A INSTALAÇÕES E DOCUMENTOS

4.4.1 Os documentos de *Aquisição* devem incluir, quando for apropriado e compatível com as práticas nacionais, cláusulas para acesso às instalações e documentos de *Garantia da Qualidade do Fornecedor* e subfornecedores para fins de inspeção e auditoria pelo *Requerente* ou seu representante autorizado.

4.4.2 Os documentos de *Aquisição* devem incluir cláusulas para que o *Fornecedor* apresente e mantenha atualizados cronogramas cobrindo as várias fases que compõem o fornecimento dos *Elementos Combustíveis*, de modo a permitir ao *Requerente* o planejamento de inspeções e auditorias.

4.5 ACEITAÇÃO DE ITENS E SERVIÇOS

4.5.1 Os documentos de *Aquisição* devem especificar os métodos e condições para aceitação de itens e *Serviços*.

4.5.2 As não-conformidades devem ser registradas, analisadas e ter sua disposição definida de acordo com procedimentos escritos.

4.5.3 As não-conformidades consideradas aceitáveis pelo *Fornecedor*, que envolvam desvios de requisitos de *Aquisição*, devem ser comunicadas ao *Requerente*, que poderá questionar a disposição dada.

4.5.4 Os documentos de *Aquisição* devem conter o direito do *Requerente* de amostrar material ao longo do processo, a fim de verificar se o material fornecido está de acordo com o pedido no documento de *Aquisição*, direito este sujeito a condições mutuamente acordadas entre o *Requerente* e o *Fornecedor*.

4.5.5 A aceitação final deve ser baseada nos resultados das verificações de projeto, das inspeções, das auditorias e da análise dos *Registros* especificados nos documentos de *Aquisição*.

4.6 REGISTROS DE GARANTIA DA QUALIDADE

Os documentos de *Aquisição* devem definir os *Registros de Garantia da Qualidade* a serem preparados, indicando a quem deverão ser submetidos para fins de inspeção/verificação, especificando ainda quais *Registros* devem ser fornecidos ao *Requerente* e/ou mantidos pelo *Fornecedor*, bem como os respectivos tempos de guarda.

5. CONTROLE DE PROJETO

5.1 REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE

5.1.1 O controle das atividades de projeto do *Elemento Combustível* deve ser implementado de acordo com os requisitos pertinentes estabelecidos na Norma CNEN-NN-1.16 - "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações".

5.1.2 O PGQ deve levar em conta características próprias do projeto dos *Elementos Combustíveis*, tais como:

- a) a complexidade das interfaces entre o projeto dos *Elementos Combustíveis* e o projeto do núcleo do *Reator*;
- b) a complexidade da influência de alguns parâmetros específicos de projeto do *Elemento Combustível* e de operação do *Reator* sobre o desempenho do *Elemento Combustível*;
- c) o grau de padronização do projeto do *Elemento Combustível*.

5.1.3 A base de projeto do *Elemento Combustível* deve ser documentada, incluindo uma lista de dados dos projetos do *Elemento Combustível* e do núcleo do *Reator*, assim como uma lista de verificação para controle das interfaces de projeto.

5.2 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO

5.2.1 O *Requerente* deve franquear ao projetista realimentação de informações relativas ao histórico de fabricação, à experiência operacional com o *Elemento Combustível* e aos resultados de exames de pós-irradiação.

5.2.2 Como conseqüência da complexidade com respeito a interfaces e desempenho, os documentos de projeto devem, se aplicáveis, levar em consideração as seguintes propriedades e características:

- a) *Combustível*: enriquecimento, composição química, impurezas, estrutura (homogeneidade, densidade e microestrutura), dimensões e integridade;
- b) *Venenos*: composição química, impurezas, homogeneidade, densidade, dimensões e integridade;
- c) Revestimento: composição química, impurezas, resistência à corrosão, propriedades mecânicas, dimensões e integridade;
- d) Componentes Estruturais e Itens Associados: composição química, impurezas, resistência à corrosão, compatibilidade de materiais, propriedades mecânicas, comportamento sob vibração, integridade, dimensões e características hidrodinâmicas;
- e) *Varetas e/ou Elemento Combustível*: propriedades relacionadas ao comportamento da *Vareta* e do *Elemento Combustível* e integridade sob todos os estados operacionais e condições de acidente e durante seu tempo de vida esperado.

Observação: No Anexo I é apresentada uma lista mais detalhada das propriedades e características acima citadas.

5.3 VERIFICAÇÃO DE PROJETO

Na verificação do projeto devem ser usados métodos compatíveis com a tecnologia disponível e a experiência já adquirida com o tipo particular do *Elemento combustível*, de modo que:

- a) Um projeto de *Elemento Combustível* já usado em um determinado *Reator* requer verificação para que não sejam feitas alterações de projeto não autorizadas;

- b) Um projeto de *Elemento Combustível* já usado em outros *Reatores* requer análise do projeto, com ênfase sobre o controle de interfaces;
- c) Um projeto de *Elemento Combustível*, obtido através de alterações feitas em um projeto usado anteriormente, requer análise do projeto na qual o projetista deve descrever os testes e cálculos a serem realizados face àquelas alterações que, a princípio, devem ser os mesmos que os realizados para o projeto original. A não necessidade de algum teste ou cálculo, incluindo testes de qualificação de protótipo ou de *Elementos Combustíveis* precursores, deve estar evidenciada na análise de alteração de projeto, análise esta que deve ser submetida ao *Requerente*, para avaliação.

5.4 CONTROLE DE INTERFACES

5.4.1 Deve ser efetuado um controle meticuloso de interfaces de projeto, levando-se em conta até mesmo pequenas alterações no projeto do *Elemento Combustível* que podem ter conseqüências sobre outras áreas de projeto.

5.4.2 Devem ser observadas as seguintes áreas de controle de interfaces de projeto:

- a) projeto estrutural do núcleo do *Reator*;
- b) projeto neutrônico e gerenciamento do *Combustível*;
- c) características termo e hidrodinâmicas;
- d) compatibilidade de materiais;
- e) análise de segurança;
- f) projeto de sistemas de controle de reatividade;
- g) projeto da instrumentação interna do núcleo;
- h) projeto de equipamentos e instalações para manuseio e armazenagem do *Elemento Combustível*.

5.4.3 Devem ser estabelecidas linhas de comunicação entre o *Fornecedor* e o *Requerente* para controle de interfaces de projeto do *Elemento Combustível*.

6. CONTROLE DE FABRICAÇÃO

6.1 REQUISITOS DE GARANTIA DA QUALIDADE

O PGQ para fornecimento do *Elemento Combustível* deve ser estabelecido pelo *Fornecedor* de modo a atender aos requisitos pertinentes desta Norma e das Normas: CNEN-NN-1.16 "Garantia da Qualidade para a Segurança de Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações"; CNEN-NE-1.28: "Qualificação e Atuação de Órgãos de Supervisão Técnica Independente em Usinas Nucleoelétricas e Outras Instalações e CNEN-NN-1.17 "Qualificação de Pessoal e Certificação para Ensaio Não-Destrutivo em Itens de Instalações Nucleares".

6.2 QUALIFICAÇÃO E CONTROLE DOS PROCESSOS E DAS CONDIÇÕES DE FABRICAÇÃO

6.2.1 O PGQ do *Fornecedor* do *Elemento Combustível* deve incluir a identificação e o controle de processos que requeiram consideração especial e qualificação especial do pessoal que executa esses processos. Os processos que requerem consideração especial são aqueles que influenciam significativamente as propriedades ou características de qualidade de um material ou componente, e que têm propriedades ou características que não podem ser verificadas prontamente no produto final.

6.2.2 O PGQ deve estabelecer que sejam elaborados e implementados procedimentos para qualificação e requalificação dos processos referidos em 6.2.1 e do pessoal que os executa.

6.2.3 No Anexo II estão listados alguns processos que requerem consideração especial utilizados na fabricação e na verificação da qualidade do *Elemento Combustível*.

6.3 CONTROLE DE FABRICAÇÃO

6.3.1 Os procedimentos para o controle de fabricação, incluindo retrabalho e reparo de elementos combustíveis, devem ser estabelecidos de acordo com requisitos técnicos especificados em documentos aprovados. Pode ser considerado, para este controle, o uso de métodos estatísticos.

6.3.2 Deve ser dada consideração especial aos seguintes controles:

- a) Controle do Processo de Fabricação do *Combustível*: controle dos processos de conversão e de produção do *Combustível* com relação a enriquecimento, homogeneidade, composição química e teor de impurezas, características físicas e dimensionais;
- b) Controle do *Veneno*: controle dos materiais de *Veneno* com relação à sua homogeneidade e impurezas, e controle de fabricação das respectivas barras com relação às características físicas e dimensionais;
- c) Controle do Revestimento do *Combustível*: controle de fabricação do revestimento do *Combustível* com relação à composição química, impurezas, propriedades mecânicas e metalúrgicas, integridade, dimensões e características de corrosão;
- d) Controle dos Componentes Estruturais e Itens Associados: controle de fabricação de componentes com relação à composição química, impurezas, propriedades mecânicas e metalúrgicas, dimensões, integridade e características de corrosão;
- e) Controle de Fabricação da *Vareta*: controle de fabricação da *Vareta* com relação às características da coluna de pastilhas combustíveis, teor de hidrogênio, enriquecimento, integridade das soldas, pressão interna, análise do gás interno e dimensões;
- f) Controle da Montagem do *Elemento Combustível*: controle durante a montagem do *Elemento Combustível*, com relação à identificação das *Varetas*, posicionamento, dimensões, integridade das soldas, limpeza, condições superficiais, contaminação superficial por urânio.

6.3.3 No Anexo III são apresentados exemplos de controles de fabricação.

6.4 IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

6.4.1 Deve ser acordado entre o *Requerente* e o *Fornecedor* um sistema de identificação dos elementos combustíveis para fins de rastreabilidade, inventário e gerenciamento do *Combustível*.

6.4.2 Devem ser estabelecidas medidas para a implementação do sistema de identificação acima citado, durante a fabricação e a montagem de cada *Elemento Combustível*.

6.4.3 O Anexo IV contém um exemplo de sistema para identificação dos elementos combustíveis.

7. MANUSEIO, ACONDICIONAMENTO E ARMAZENAGEM DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

7.1 Devem ser estabelecidos procedimentos de acondicionamento para assegurar proteção adequada aos *Elementos Combustíveis* durante a armazenagem nas instalações do *Fornecedor*.

7.2 Devem ser estabelecidos procedimentos para assegurar cuidado adequado no manuseio e acondicionamento nos *Recipientes* de transporte dos *Elementos Combustíveis*.

7.3 Aparelhos de içamento e manipuladores devem ser adequados ao uso.

7.4 Operadores dos equipamentos citados em 7.3 devem estar qualificados para a operação dos mesmos. Devem ser estabelecidos procedimentos contendo requisitos para essa qualificação.

7.5 Os procedimentos de manuseio e armazenagem devem incluir os requisitos necessários para evitar criticidade acidental.

8. TRANSPORTE E RECEBIMENTO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

No transporte e no recebimento de *Elementos Combustíveis* devem ser observados os requisitos estabelecidos na Norma CNEN -NE-5.02: "Transporte, Recebimento, Armazenagem e Manuseio de Elementos Combustíveis de Usinas Nucleoelétricas".

ANEXO I

EXEMPLOS DE ITENS E SUAS PROPRIEDADES QUE REQUEREM CONSIDERAÇÃO PARTICULAR NUM PROJETO TÍPICO DE ELEMENTO COMBUSTÍVEL

1. Combustível
 - ▶ Enriquecimento (composição isotópica) - a porcentagem em peso de material fissil deve ser especificada
 - ▶ Impurezas - as substâncias que têm efeitos nocivos sobre o material combustível devem ser identificadas e os limites máximos estabelecidos.
 - ▶ Estrutura - a homogeneidade, a densidade e a microestrutura devem ser especificadas.
 - ▶ Dimensões - as dimensões devem ser definidas em detalhes suficientes para se obter os atributos desejados.
 - ▶ Integridade - os limites para os quais a forma é mantida em relação a lascas, rebarbas, trincas, etc, devem ser definidos.

2. Venenos
 - ▶ Composição química.
 - ▶ Impurezas - as substâncias que têm efeitos nocivos sobre o material do *Veneno* devem ser identificadas e os limites máximos estabelecidos.
 - ▶ Homogeneidade.
 - ▶ Densidade - a densidade deve ser especificada.
 - ▶ Dimensões - as dimensões devem ser definidas em detalhes suficientes para se obter os atributos desejados.

3. Revestimento
 - ▶ Composição química - os elementos contidos no material do revestimento devem ser especificados de acordo com as características da liga base desejada e com as características de absorção parasítica de nêutrons permitidas.
 - ▶ Impurezas - as substâncias que têm efeitos nocivos sobre as propriedades do revestimento devem ser identificadas e os limites máximos estabelecidos.
 - ▶ Resistência à corrosão - as características de corrosão sob condições operacionais e ambientais devem ser identificadas para o desempenho requerido.
 - ▶ Propriedades mecânicas - a microestrutura e as propriedades a curto e longo prazo de material, para atender o desempenho desejado devem ser identificadas.
 - ▶ Integridade - a condição da superfície e defeitos de material aceitáveis devem ser especificados para o revestimento.
 - ▶ Dimensões - o diâmetro, espessura, retilinearidade e ovalização devem ser especificados.

4. Estrutura de Suporte e Itens a ela Associados (tais como bocais, tubos guias, grades, canais, luvas, etc ...)
 - ▶ Materiais - a composição química dos materiais deve ser especificada de acordo com as características da liga base desejada e com as características de absorção parasítica de nêutrons permitidas.
 - ▶ Propriedades dos materiais e componentes (ex: mecânicas, de corrosão, compatibilidade de materiais, comportamento à vibração, crescimento) - devem ser identificadas e verificada a sua compatibilidade com os objetivos do projeto.
 - ▶ Dimensões - o comportamento dimensional e a características hidrodinâmicas associadas devem ser especificados.

5. Vareta Combustível
 - ▶ Impurezas - as substâncias que têm efeitos nocivos sobre as propriedades da *Vareta Combustível* devem ser identificadas e os limites máximos estabelecidos.
 - ▶ Desempenho da *Vareta Combustível* - p. ex. transferência de calor, temperatura do *Combustível*, liberação de gás de fissão, pressão interna, inchamento e densificação do *Combustível* e interação entre *Combustível* e revestimento devem ser considerados para todos os estados operacionais e condições de acidente postulado.

- ▶ Expansão e contração - as propriedades de crescimento e fluência induzidas pela irradiação e os efeitos térmicos devem ser verificados quanto à compatibilidade com a estrutura do *Elemento Combustível*.

6. Elemento Combustível

- ▶ Expansão e contração - as propriedades de crescimento de materiais devem ser identificadas e verificadas quanto à compatibilidade com a estrutura do núcleo do reator.
- ▶ Compatibilidade de materiais.
- ▶ Desempenho do *Elemento Combustível* - as dimensões globais, bem como arqueamento, distorção e outras deformações não devem exceder os limites prescritos para cada um dos estados operacionais e condições de acidente postulado ao longo de todo o tempo de vida esperado do *Elemento Combustível*.

ANEXO II

EXEMPLOS DE PROCESSOS QUE REQUEREM CONSIDERAÇÃO ESPECIAL

1. Fabricação

- ▶ Soldagem estrutural e de tampões terminais;
- ▶ Sinterização e tratamento térmico;
- ▶ Eletrodeposição;
- ▶ Autoclavagem ou eletropolimento;
- ▶ Enchimento com gás;
- ▶ Preservação da integridade da pastilha;
- ▶ Carregamento da pastilha dentro da *Vareta Combustível*.

2. Verificação da Qualidade

- ▶ Ensaios de ultra-som;
- ▶ Ensaio de correntes parasitas;
- ▶ Ensaio de líquido penetrante;
- ▶ Ensaio de vazamento de hélio;
- ▶ Ensaio radiográfico;
- ▶ Ensaios destrutivos de amostras, conforme especificado;
- ▶ Métodos especiais de verificação dimensional.

ANEXO III

EXEMPLOS DE CONTROLE DURANTE A FABRICAÇÃO DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL

1. Controle de Processo de Fabricação do Combustível

A. Controle de Conversão do UF₆ (onde aplicável)

(1) Programa de supervisão do UF₆.

Os requisitos típicos de programa de supervisão devem incluir:

- ▶ monitoração da transferência do UF₆ dos cilindros de armazenagem originais para os cilindros de transporte;
- ▶ amostragem independente por outra organização diferente do fornecedor;
- ▶ verificação das medições (peso bruto, tara e peso líquido) e análise;
- ▶ verificação de parâmetros físicos, p. ex.: peso, selo do cilindro, identificação do cilindro.

(2) Linha de Conversão do UF₆

Procedimentos e controles devem existir para:

- ▶ mudança das linhas de processo de enriquecimento;
- ▶ evitar misturas de enriquecimento;
- ▶ prevenir a introdução de impurezas.

B. Controle do Pó de UO₂

(1) Químico

Os parâmetros do processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que o pó de UO₂ obedecerá os limites de especificação para:

- ▶ porcentagem de urânio;
- ▶ impurezas;
- ▶ umidade;
- ▶ razão de oxigênio/urânio (O/U);
- ▶ concentração isotópica, se aplicável;
- ▶ concentração equivalente de boro (CEB).

(2) Físico

Os parâmetros do processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que o pó de UO₂ obedecerá os limites de especificação para:

- ▶ superfície específica;
- ▶ tamanho de partícula;
- ▶ densidade solta e batida do pó;
- ▶ escoabilidade;
- ▶ sinterabilidade.

(3) Controles do Processo/Armazenagem

Os parâmetros do processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que o pó de UO₂ obedecerá os limites de especificação para:

- ▶ uniformidade e métodos de mistura (quando diferentes enriquecimentos são usados);
- ▶ verificações isotópicas, onde aplicável, sobre material reciclado de todas as fontes; por ex: sedimento de rebolo (lama de retífica), refugo não sinterizado, refugo sinterizado;
- ▶ identificação de materiais;
- ▶ planos de amostragem; por ex: seleção de amostras, interpretação;

- ▶ procedimentos de armazenagem, incluindo identificação, manuseio, separação, acesso e, sempre que for usado material enriquecido, os limites de criticidade;
- ▶ controle de impurezas.

C. Produção de Pastilhas de Combustível UO_2

Os parâmetros de processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que as pastilhas cerâmicas de UO_2 satisfarão os limites de especificação para os seguintes controles:

(1) Químico

- ▶ porcentagem de urânio;
- ▶ impurezas;
- ▶ quantidade total de hidrogênio;
- ▶ razão oxigênio/urânio (O/U);
- ▶ concentração equivalente de boro (CEB)
- ▶ concentração isotópica (enriquecimento), se aplicável

(2) Físico

- ▶ acabamento superficial; verificações isotópicas, onde aplicável, sobre material reciclado de todas as fontes; por ex: sedimento de rebolo (lama de retífica), refugo não sinterizado, refugo sinterizado;
- ▶ dimensões (comprimento, diâmetro etc...);
- ▶ densidade;
- ▶ integridade (lascas, trincas etc.);
- ▶ características ceramográficas (tamanho de poro, tamanho de grão, estrutura etc), onde necessário; estabilidade à resinterização;
- ▶ marca de identificação, onde necessário.

D. Controle de Material de Pastilha Reprocessado

Procedimentos devem ser estabelecidos para o seguinte:

- ▶ uso e controle de material virgem reprocessado;
- ▶ controle de enriquecimento;
- ▶ métodos para manusear refugos.

2. Controle de Veneno

Os parâmetros de processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que os *Venenos* satisfarão os limites de especificação para os seguintes controles:

A Químico

- ▶ impurezas;
- ▶ hidrogênio total;
- ▶ teor percentual e distribuição do *Veneno*.

B FÍSICO

- ▶ homogeneidade;
- ▶ dimensional (comprimento, diâmetro);
- ▶ densidade;
- ▶ integridade (lascas, trincas).

3. Controle do Revestimento do Combustível

Os parâmetros de processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que os tubos de revestimento do *Combustível* satisfarão os limites de especificação para:

- ▶ rastreabilidade e identificação de materiais;

- ▶ composição química (impurezas);
- ▶ propriedades mecânicas e metalúrgicas incluindo resistência à tração e ductibilidade;
- ▶ integridade;
- ▶ dimensões (diâmetro, espessura de parede, ovalização);
- ▶ condição de superfície;
- ▶ rugosidade superficial;
- ▶ características de corrosão;
- ▶ microestrutura (por ex.: orientação de hidretos, tamanho do grão, textura);
- ▶ quantidade de O, H, e N em tubos acabados.

4. Controle de Estrutura de Suporte e Itens Associados

Os parâmetros de processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que a estrutura de suporte e itens a ela associados satisfarão os limites de especificação para o seguinte:

A. Tampão Terminal, Arames, Placas, Grades ou Espaçadores (quando aplicável)

- ▶ rastreabilidade e identificação de materiais;
- ▶ composição química;
- ▶ qualificação de processo (soldagem etc.);
- ▶ resistência da junta soldada e penetração da solda;
- ▶ propriedades mecânicas;
- ▶ resistência à corrosão;
- ▶ dimensões (tamanho de célula, perpendicularidades);
- ▶ força de mola.

B. Bocais

- ▶ qualificação de processos (fundição, tratamento térmico, soldagem, etc);
- ▶ rastreabilidade e identificação de materiais;
- ▶ composição química;
- ▶ propriedades mecânicas;
- ▶ microestrutura;
- ▶ inclusões, vazios e porosidades;
- ▶ dimensões;
- ▶ integridade e penetração da solda.

C. Tubos-Guia

- ▶ rastreabilidade e identificação de materiais;
- ▶ composição química;
- ▶ qualificação de processos (soldagem, dimensionamento, etc.);
- ▶ integridade da solda;
- ▶ dimensões;
- ▶ propriedades mecânicas;
- ▶ retilinearidade;
- ▶ microestrutura (região da solda).

D. Peças Variadas (quando aplicável)

Estas podem incluir porcas, parafusos, fixadores, arruelas, molas, discos isolantes, tubos de instrumentação, termopares, etc. Parâmetros dos processos de fabricação para esses itens devem ser estabelecidos e controlados de modo a assegurar que os requisitos pertinentes de especificação sejam satisfeitos.

5. Controle da Fabricação de Vareta

Os parâmetros de processo devem ser estabelecidos e controlados para assegurar que *Varetas Combustíveis* satisfarão os limites de especificação para:

A. Carregamento das pastilhas de UO_2

- ▶ controle de componentes e do meio ambiente;
- ▶ controle das características da coluna de pastilhas combustíveis;
- ▶ comprimento e peso da coluna;
- ▶ concentração isotópica (onde aplicável);
- ▶ tipo e localização das pastilhas;
- ▶ umidade e contaminação por hidrogênio;
- ▶ comprimento do plenum (onde aplicável).

B. Soldagem do Tampão Terminal

- ▶ qualificação do processo para se alcançar fusão aceitável;
- ▶ qualidade uniforme (controle do processo);
- ▶ identificação (numeração, onde necessário);
- ▶ aparência visual;
- ▶ dimensão (diâmetro externo, perfil, etc.);
- ▶ atmosfera de soldagem (química da solda);
- ▶ pressão interna (se pressurizada);
- ▶ análise do gás interno.

C. Vareta Combustível Pronta

- ▶ rastreabilidade do material, controle da identificação e do enriquecimento (onde necessário);
- ▶ integridade das soldas;
- ▶ dimensão (comprimento, retilinearidade);
- ▶ condições da superfície (riscos, cortes, aspecto da solda);
- ▶ ensaio de estanqueidade;
- ▶ quantidade total de hidrogênio;
- ▶ conteúdo de gás interno.

6. Controle da Montagem do Elemento Combustível

A montagem do *elemento combustível* deve ser realizada levando-se em conta os seguintes requisitos:

- ▶ identificação das *Varetas Combustíveis*;
- ▶ posicionamento da *Vareta Combustível*;
- ▶ dimensões e retilinearidade;
- ▶ integridade;
- ▶ forças de carregamento, onde aplicável;
- ▶ integridade da solda, onde aplicável.

7. Inspeção Final do Elemento Combustível

O *Elemento Combustível* acabado deve satisfazer os limites de especificação para:

- ▶ contaminação superficial;
- ▶ espaçamento entre *Varetas* e empenamento máximo da *Vareta*;
- ▶ dimensões, incluindo dimensões globais;
- ▶ defeitos mecânicos;
- ▶ perpendicularidade;
- ▶ posição das *Varetas* (mapeamento do *Elemento Combustível*);
- ▶ abaulamento, distorção e outras deformações.

ANEXO IV

IDENTIFICAÇÕES DOS ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

1. Em um primeiro grupo de no máximo de três caracteres é definido o projetista.
2. Um traço separa o primeiro do segundo grupo.
3. No segundo grupo, tem-se três caracteres alfanuméricos. O primeiro caractere é alfabético e define a série da encomenda e é utilizada pelo cliente para arranjo dos *Elementos Combustíveis* no núcleo. Os dos outros caracteres são numéricos e definem a identificação seqüencial dos *Elementos Combustíveis* na série encomendada.
4. A identificação dos *Elementos Combustíveis* é feita com letra média e grossa, altura 20 mm e profundidade de 1 mm.
5. Apresenta-se **KHU - HOI** como um exemplo de identificação.
6. O posicionamento da identificação nos *Elementos Combustíveis* não deve ter influência na estrutura do bocal superior, peça do *Elemento Combustível* adequada para apresentação da identificação.
7. Caso seja necessário posicionar identificações adicionais, estas devem ser sempre no bocal superior, podendo ser somente com os três últimos caracteres. A definição de tamanho será feita conforme acordo entre *Fornecedor* e requerente.
8. O fabricante, caso deseje, pode gravar seu símbolo no bocal superior, respeitando as considerações do item 6.

COMISSÃO DE ESTUDO

Presidente: Luiz Ferreira

SENOR/CNEN

Membros: Ronaldo Pollis
Rogério Cunha de Paiva
Ricardo Alberto N. Ferreira
Paulo Ernesto O.Lainette
José Antônio Batista de Souza
José Augusto Perrota
Paulo André M. A. Gomes
Hans Herbert Nolte
Maria Elisa Hamacher
Emílio José Lento

CODRE/CNEN
GEDIN/CNEN
CDTN/CNEN
IPEN/CNEN
IPEN/CNEN
IPEN/CNEN
NUCLEN
INB
FURNAS
NUCLEN

Secretária: Sônia Maria Coutinho Cardoso

SENOR/CNEN