



MINISTÉRIO DA
**CIÊNCIA, TECNOLOGIA,
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES**



DIRETORIA DE radioproteção E SEGURANÇA NUCLEAR

Divisão de Suporte Técnico

GUIA DE LICENCIAMENTO 5.2

FORMATO PADRÃO E CONTEÚDO PARA RELATÓRIOS DE ANÁLISE DE SEGURANÇA DE EMBALAGEM PARA TRANSPORTE DE MATERIAIS RADIOATIVOS

Introdução

Este Guia de Licenciamento contém orientação para elaboração de Relatórios de Análise de Segurança (RAS) destinados a subsidiar requerimento de aprovação de projeto de embalagens Tipo B e embalagens para o transporte de materiais físseis. O uso deste guia é opcional e a orientação nele apresentada não deve ser considerada mandatória. Outras formas de demonstrar o cumprimento dos requisitos de segurança podem ser utilizadas. Entretanto, este Guia de Licenciamento fornece um modelo aceitável para demonstrar a conformidade de um projeto com a regulamentação de transporte e será utilizado para avaliar os requerimentos submetidos à CNEN.

Este guia utiliza o termo “deve” no sentido de recomendação e não como exigência regulatória.

A orientação aqui contida não dispensa o cumprimento de qualquer requisito de segurança estabelecido na regulamentação da CNEN ou das agências reguladoras do transporte modal.

Em caso de conflito entre a orientação contida neste Guia e os regulamentos de transporte, prevalecerá a regulamentação. A orientação para elaboração de Sistemas de Gestão da Qualidade é fornecida em outro guia.

Relatório de Análise de Segurança

O Relatório de Análise de Segurança é o documento pelo qual o Requerente fornece as informações e as bases para que a CNEN conclua se uma determinada embalagem satisfaz as exigências da regulamentação de transporte de materiais radioativos.

Estrutura

Um RAS para certificação de projeto de embalagem para o transporte de materiais radioativos deve ser composto por pelo menos oito capítulos, sendo cada capítulo dividido em tantas seções quantas forem necessárias para abrigar as informações que demonstrem a conformidade do projeto com os requisitos de segurança contidos nos regulamentos de transporte. Anexos e Apêndices ao RAS poderão ser incluídos para apresentar informações adicionais, julgadas convenientes pelo Requerente.

Uma vez submetido à CNEN, o RAS será objeto de verificação preliminar (denominada Avaliação de Completeza) para identificar se o conjunto das informações nele apresentado é suficiente para iniciar o processo de avaliação de segurança do projeto da embalagem. Se concluir que as informações são suficientes, a CNEN iniciará a avaliação da conformidade das informações. Caso a CNEN conclua que o conjunto das informações não é suficiente para iniciar a avaliação de conformidade, o RAS será devolvido ao Requerente. Os documentos nacionais e internacionais utilizados na elaboração deste guia são os seguintes.

- Norma CNEN-NE-5.01 “Transporte de Materiais Radioativos”;
- Norma CNEN-NN-5.04 “Rastreamento de Veículos de Transporte de Materiais Radioativos”;

- Norma CNEN-NN-1.16 “Garantia da Qualidade para Usinas Termoelétricas”;
- Norma CNEN-NE-1.28 “Qualificação e Atuação de Órgãos de Supervisão Técnica Independente em Usinas Nucleoelétricas e outras Instalações”;
- Norma ABNT-NBR 7503 “Ficha de Emergência e Envelope de Transporte”
- Norma ABNT-NBR 9735 “Conjunto de Equipamentos para Emergências no Transporte Terrestre de Produtos Perigosos”;
- Norma ISO 7195 “Nuclear Energy – Packaging of Uranium Hexafluoride (UF₆) for Transport”
- Norma ANSI 14.1 “Uranium Hexafluoride - Packaging for Transport”;
- Guia “US-Sand Report Accident Conditions versus Regulatory Tests”
- Guia “US-NRC Safety Analysis Report Completeness Checklist”
- Guia “US-NRC NUREG 1609 Standard Review Plan - for Transportation Packages for Radioactive Material”;

Foram também consideradas portarias e resoluções das agências reguladoras do transporte modal (ANAC, ANTT, ANTAQ), Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

As páginas seguintes deste Anexo apresentam a estrutura geral de um RAS¹ e define o conteúdo básico de cada capítulo.

CAPÍTULO 1 – INFORMAÇÃO GERAL

Este capítulo deve apresentar uma descrição geral da embalagem.

Seção 1.1 - Introdução

Esta seção deve especificar os materiais radioativos a serem transportados, as quantidades e atividades máximas permitidas, a classificação da embalagem segundo o regulamento de transporte e a descrição sumária das referências técnicas utilizadas. Os desenhos de engenharia podem compor um apêndice.

Seção 1.2 - Descrição da embalagem

Esta seção deve especificar o uso proposto para a embalagem. Um código (nome fantasia) ou um número deve ser atribuído ao modelo. Deve ser incluído o valor estimado do Índice de Transporte e, em caso de embalagem para transporte de materiais físséis, o Índice de Segurança de Criticalidade (ISC) deve ser também estimado.

O estudo de criticalidade, quando aplicável, deverá compor o Capítulo 6.

Seção 1.3 - Desenhos

Os desenhos devem detalhar as características de segurança consideradas relevantes para a avaliação do projeto da embalagem. Os desenhos devem

também listar materiais, dispositivos (válvulas, parafusos), requisitos de qualificação e procedimentos de soldagem.

CAPÍTULO 2 – ANÁLISE ESTRUTURAL

Este capítulo deve descrever e analisar o projeto estrutural, os componentes e sistemas da embalagem que são considerados importantes para a segurança.

Seção 2.1 - Descrição do Projeto Estrutural

Esta Seção deve identificar os principais componentes e sistemas importantes para a operação segura da embalagem (ex. vaso de pressão, limitadores de impacto, blindagens, dispositivos de fechamento, etc.).

A descrição deve fazer referência a esses dispositivos nos desenhos e abordar sua função estrutural bem como seu desempenho.

Deve-se descrever a combinação de esforços e demais fatores que sirvam como base de projeto para embalagens. Para cada critério, esta seção deve indicar as tensões máximas permitidas e distensões (em percentagem do rendimento ou valores finais para a falha dúctil), e descrever como os outros modos de falha estrutural (por exemplo, fratura frágil, fadiga, flambagem) são considerados.

Se diferentes critérios de projeto forem permitidos para diferentes partes da embalagem ou no caso de diferentes condições de transporte, esta Seção deve indicar os valores apropriados a cada caso.

Deve-se ainda identificar os critérios utilizados para a avaliação do impacto, bem como os códigos e normas usados para determinar as propriedades dos materiais, limites de projeto ou métodos de esforços combinados e estresse.

Em casos em que os critérios de projeto desviem das normas aplicáveis ou em casos onde as normas não cubram componentes específicos, esta Seção deve fornecer uma descrição detalhada dos critérios alternativos utilizados.

O peso total da embalagem deverá ser informado, bem como seu conteúdo e os pesos dos principais componentes, de forma a estabelecer a relação entre o peso das partes e o total da embalagem.

Deverá ser incluída informação sobre o centro de gravidade da embalagem e de quaisquer outros centros de gravidade referidos no RAS. Um esboço ou desenho que mostre claramente o subconjunto dos componentes e o ponto de referência para a localização de seu centro de gravidade devem ser incluídos. Em geral, os cálculos utilizados para determinar os centros de gravidade não precisam ser incluídos.

Deve-se identificar os códigos e normas propostos para o uso no projeto, fabricação, montagem, teste, manutenção e uso. Uma análise da aplicação desses códigos e normas deverá ser incluído. Os códigos ou normas propostos devem ser adequados à categoria da embalagem.

Seção 2.2 – Materiais

Deve-se listar as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na análise estrutural. A lista pode incluir o limite de elasticidade, a tensão de ruptura, módulo de elasticidade, a estirpe final, o coeficiente de Poisson, a densidade, e o

coeficiente de expansão térmica. Se limitadores de impacto forem utilizados, esta Seção deve prever tanto a curva de compressão-tensão para o material quanto a relação forma-deformação para o limitador, conforme apropriado.

No caso de materiais sujeitos a elevadas temperaturas, a propriedade mecânica do material sob tais condições deve ser especificada.

Deve-se mencionar a fonte da informação, indicando publicação e número da página. Onde as propriedades dos materiais forem determinadas através de testes, esta Seção deve descrever - com o nível de detalhe capaz de permitir a avaliação de sua validade - os procedimentos de teste, as condições e as medições realizadas.

Deve-se descrever possíveis reações químicas, galvânicas e outras reações nas embalagens ou entre a embalagem e o seu conteúdo radioativo, bem como os métodos utilizados para evitar reações significativas. Para cada material componente da embalagem, esta Seção deve listar todos os materiais química ou galvanicamente dissimilares entre si. No caso de revestimentos utilizados nas superfícies interna ou externa, quaisquer reações resultantes da entrada de água ou em caso de a embalagem sofrer uma inundação, as possibilidades de geração de hidrogênio ou outros gases provenientes da interação radiolítica devem ser consideradas.

Interações galvânicas e formação de componentes também devem ser considerados.

Deve-se descrever os efeitos da radiação, envelhecimento ou danos, sobre os materiais componentes da embalagem. A descrição pode incluir a degradação de selos, materiais de selagem, revestimentos, adesivos e materiais estruturais.

Seção 2.3 - Fabricação e Exame de Aceitação

Deve-se descrever o processo utilizado na fabricação da embalagem, tais como montagem, alinhamento, brasagem e soldagem, tratamento térmico, uso de espuma e de chumbo. No caso de requisitos fornecidos por qualquer código ou norma (exemplo, códigos e normas publicados pela ASME ou AWS), o código ou norma deveria ser claramente descrito nos desenhos de engenharia.

A menos que seja justificado no RAS, as especificações do mesmo código ou norma utilizadas no projeto devem também ser utilizadas na fabricação. No caso de componentes onde nenhum código ou norma se aplica, o RAS deve identificar qualquer especificação sobre a qual a avaliação deve se basear e descrever o método de controle utilizado para assegurar que as especificações foram atendidas.

Deve-se descrever os métodos e critérios de acordo com os quais o processo de fabricação é aceitável. A menos que seja justificado no RAS, as especificações de um mesmo código ou norma utilizados na fabricação devem também ser utilizados para o exame. No caso de componentes nos quais códigos e normas não sejam aplicáveis, o RAS deve resumir os métodos de exame e o respectivo critério de aceitação no Capítulo 8 (Testes de Aceitação e Programa de Manutenção).

Seção 2.4 - Requisitos Gerais de Projeto

Deve-se especificar as dimensões mínimas do embalado, as quais não devem ser menores que 10 cm.

Deve-se descrever o sistema de fechamento da embalagem com detalhes suficientes para demonstrar que o dispositivo, enquanto intacto, constitui evidência de que pessoas não autorizadas não tenham adulterado a embalagem.

O embalado deve também incorporar, em sua parte externa, um dispositivo tal como um selo, não facilmente quebrável, o qual, enquanto intacto, sirva de evidência de que o embalado não foi aberto.

Seção 2.5 - Dispositivos de Içamento e Fixação da Embalagem

Deve-se identificar todos os dispositivos de fixação ou de içamento da embalagem. A descrição deve também mostrar - através de teste ou análise - que tais dispositivos cumprem com sua função de projeto.

Deve-se também incluir desenhos e esboços que mostrem a localização destes dispositivos e seu efeito em outras embalagens.

Valores documentados do stress dos materiais devem ser usados como critério para demonstração da conformidade com a regulamentação.

Deve-se descrever o sistema de fixação da embalagem. Qualquer dispositivo que seja parte estrutural da embalagem ou que possa ser usado para fixá-la deve ser identificado. Desenhos ou esboços que mostrem a localização desses dispositivos deveriam ser incluídos. Esta Seção deve ainda discutir testes ou análise que demonstrem o atendimento aos requisitos da regulamentação.

Seção 2.6 - Conformidade em Condições Normais de Transporte

Deve-se descrever a capacidade da embalagem quanto à adequação aos requisitos da regulamentação quando submetida aos ensaios associados às condições normais de transporte. As embalagens devem ser avaliadas individualmente para cada situação.

A avaliação deve ser tal que demonstre que a embalagem satisfaz os requisitos de desempenho especificados na regulamentação.

A avaliação estrutural da embalagem sob condições normais de transporte pode ser feita por análise ou por teste/ensaio ou ainda por combinação dessas duas abordagens. Na descrição da avaliação estrutural da embalagem, esta seção deve mostrar claramente a condição inicial de teste mais limitante e ser considerada a orientação mais danosa, bem como se os métodos são apropriados e propriamente aplicados.

Ao analisar as seções listadas abaixo, as seguintes informações devem ser incluídas conforme apropriado:

- Para avaliação por teste, esta seção deve descrever o método de teste, procedimentos, equipamento e instalações utilizadas.
- As orientações da embalagem para o teste de queda devem ser claramente identificadas e justificadas como sendo a mais danosa, caso aplicável.

- Caso a embalagem testada não seja idêntica em todos os aspectos à embalagem descrita no requerimento, as diferenças devem ser identificadas e justificativas devem ser fornecidas mostrando que as diferenças não afetariam os resultados dos testes.
- Os materiais utilizados com substitutos como conteúdos radioativos durante os testes devem ser descritos e justificativas deveriam ser dadas tais que demonstrem que a substituição não afetaria os resultados dos testes, incluindo uma avaliação dos efeitos do decaimento do calor interno e crescimento de pressão, caso apropriado.
- Uma descrição quantitativa detalhada dos danos causados pelos testes deve ser fornecida juntamente com os resultados de quaisquer medições realizadas, incluindo danos interiores e exteriores, assim como registros fotográficos das embalagens.
- Para testes em modelo ou em protótipo, esta Seção deve conter descrição completa da amostra testada, incluindo desenhos detalhados que demonstrem suas dimensões e os materiais de construção, bem como as tolerâncias dimensionais para as quais o modelo ou o protótipo foram fabricados. As tolerâncias de fabricação da amostra testada devem ser comparadas com aquelas que serão utilizadas para as embalagens.
- Para modelos em escala, esta seção deve identificar o fator de escala utilizado e deve fornecer descrição detalhada das leis de semelhança adotadas para os testes, considerando-se escala de tempo, densidade do material, velocidade de impacto e energia cinética. Devem ser fornecidas informações que mostrem que o modelo testado mostrará resultados conservativos para picos de força-g, máxima deformação energia dissipada. Adicionalmente, o dano causado ao modelo deveria ser relacionado ao dano na embalagem.
- Para avaliação por análise, esta Seção deve descrever os métodos e os cálculos utilizados na avaliação das embalagens em suficiente detalhamento para permitir à equipe verificar os resultados. Dessa forma, esta Seção deve descrever claramente e justificar os valores assumidos na análise e incluir adequada narração, esquetes e diagrama de força de corpo livre. Adicionalmente, para equações utilizadas na análise, esta seção deve mencionar tanto a fonte quanto a derivação.
- Os programas de computador devem ser identificados e descritos, devendo ser demonstrado a análise de Benchmark aplicada, largamente utilizada e aplicável à análise.
- Os modelos computacionais e respectivos detalhes devem ser bem descritos e justificados. Por exemplo, o número de elementos finitos discretos utilizados nos modelos deve refletir o tipo de análise realizado e ser apropriado considerando tais fatores de estresse ou deslocamento.
- Estudos de sensibilidade usados para determinar a adequação de nós ou elementos para um modelo particular devem ser fornecidos.

- Uma descrição detalhada da modelagem das conexões parafusadas, incluindo os tipos de elementos, técnica de modelagem e propriedades do material deve ser incluída.
- Para análise de impacto, deve ser fornecida informação que demonstre como as energias cinéticas serão dissipadas, que a deformação local e as forças dinâmicas ocorrerão durante o impacto, a resposta da embalagem em termos de tensão e tensão de componentes estruturais, a estabilidade estrutural de membros individuais, tensões por impacto combinado causados por gradientes de temperatura, expansão diferencial térmica, pressão e demais cargas.
- Os resultados analíticos devem ser diretamente comparados com o critério de aceitação.
- Uma avaliação deve ser incluída tal que demonstre que as condições normais não reduzam a eficácia da embalagem.

Calor: A análise térmica para o teste de fogo deve ser descrita e reportada no Capítulo 3, “Avaliação Térmica” do RAS. Os resultados da análise térmica devem ser usados como input dos capítulos seguintes.

Valores Pressão e Temperatura: Esta seção deve listar todos os valores de pressão e temperatura resultantes do capítulo 3 (análise térmica) que serão utilizados nos cálculos apresentados nas Seções 2.6.1.2 a 2.6.1.4

Expansão Diferencial Térmica: Esta seção deve apresentar os cálculos das deformações axial e circunferencial das deformações térmicas e das tensões (se existirem) resultantes da expansão diferencial térmica. Devem ser consideradas as condições de transiente como de estados estacionários. Tais cálculos devem ser suficientemente abrangentes para demonstrar a integridade da embalagem sob as condições normais de transporte.

Condições de Tensão: Esta seção deveria apresentar os cálculos de tensão atribuídos aos efeitos combinados de gradiente térmico, pressão e cargas mecânicas (incluindo tensões de fabricação provocadas por derrame e esfriamento de chumbo). Esquetes mostrando as configurações e dimensões elementos ou sistemas em análise bem como os pontos nos quais as tensões são calculadas devem ser incluídas.

A análise deve considerar os casos em que repetidos ciclos de carga térmica, junto com outras cargas, causarão falha por fadiga ou extensiva acumulação de deformações.

Comparação com Tensões Admitidas: Esta seção deve apresentar as combinações de tensão adequadas e comparar as tensões resultantes com o critério de projeto especificado no requerimento. Deve ser demonstrado que todos os requisitos relevantes de desempenho foram satisfeitos conforme especificado na regulamentação.

Frio: A análise térmica sob condições de frio deve ser descrita e reportada no capítulo 3 “Análise Térmica”. Utilizando os resultados do capítulo 3, esta seção deve analisar os efeitos que as condições de frio provocam na embalagem, incluindo as propriedades materiais e possível congelamento líquido e

encolhimento do chumbo. As temperaturas resultantes e seus efeitos sobre os componentes e funções operacionais da embalagem devem ser reportadas. A fratura frágil deve ser analisada.

Tensões devem estar dentro dos limites para cargas em condições normais. Para uma série de teste de um hipotético acidente sequencial, a temperatura de 29 graus Celsius é a menor temperatura de serviço a ser considerada, conforme a regulamentação.

Pressão Externa Reduzida: Esta seção deve descrever a análise da embalagem em relação aos efeitos da redução da pressão externa, conforme especificado na regulamentação. A análise deve incluir a maior diferença de pressão interna e externa assim como dentro e fora do sistema de contenção. Deve ainda analisar esta condição em combinação com a maior pressão de operação.

Pressão Externa Aumentada: Esta seção deve descrever a análise da embalagem em relação aos efeitos do aumento da pressão externa, conforme especificado na regulamentação. A análise deve incluir a maior diferença de pressão interna e externa assim como dentro e fora do sistema de contenção. Esta seção deve incluir uma avaliação de flambagem.

Vibração: Esta seção deve descrever a análise da embalagem em relação aos efeitos de vibração inerentes ao transporte. As tensões combinadas atribuídas à vibração, temperatura e pressão devem ser consideradas. Caso aplicável, análise de fadiga deve ser incluída. Em caso de reutilização de parafusos de fechamento, a carga inicial deve ser considerada na análise de fadiga.

Componentes da embalagem, incluído os componentes internos, devem ser analisados em relação a ressonância de vibração, que podem provocar danos por fadiga.

Jato: Esta seção deve demonstrar que o jato de água não tem efeito significativo na embalagem.

Queda Livre: Esta seção deve descrever a análise da embalagem em relação aos efeitos de queda livre. Os comentários gerais da seção 2.7.1 podem ser também aplicáveis a esta condição. Note-se que o teste de queda livre vem em seguida ao de spray. Esta seção deve também analisar fatores como orientação de queda; efeitos da queda em combinação com pressão, calor, e baixas temperaturas e também outros fatores discutidos na seção 2.6.

Teste de Queda de Quina: Caso aplicável, esta seção deve descrever os efeitos na embalagem causados por queda de quina.

Compressão: Para embalagens com até 5000 kg, esta seção deve descrever os efeitos de compressão na embalagem.

Seção 2.7 - Condições Hipotéticas de Acidente

Deve-se demonstrar que a embalagem atende aos padrões especificados no regulamento quando submetida aos testes relacionados às condições hipotéticas de acidente.

A análise estrutural deve considerar as condições hipotéticas de acidente especificadas na regulamentação, na sequência indicada, de forma a determinar seu efeito cumulativo na embalagem. Os danos causados por cada teste são cumulativos e a análise da habilidade da embalagem em resistir a qualquer dos testes deve considerar o resultado de testes anteriores. Esta seção deve confirmar que a eficiência da embalagem não sofreu redução como resultado das condições normais de transporte, como indicado na seção 2.6. Da mesma forma, a fratura frágil deve ser considerada. Esta seção deveria incluir informações aplicáveis relacionada a testes e análises, conforme descrito na seção 2.6 acima.

Deve-se avaliar a embalagem sob teste de queda livre. O desempenho e a integridade estrutural da embalagem devem ser avaliados em relação à orientação que cause o maior dano, incluindo aquela onde o centro de gravidade cai sobre a quina, orientação oblíqua com o segundo impacto, queda de lado e queda sobre o sistema de fechamento.

Orientações nas quais o centro de gravidade encontra-se diretamente sobre o ponto de impacto devem ser consideradas. Uma orientação que resulte no maior dano para um determinado sistema ou componente pode não ser o mais danoso para outros sistemas e componentes. Caso um dispositivo tal como o de fixação seja parte estrutural da embalagem, este deve ser considerado quando da configuração de teste e orientação de queda. Por essas razões, é usualmente necessário considerar diversas orientações de queda.

Os seguintes itens devem ser analisados, caso aplicáveis:

- Para embalagens com blindagem de chumbo, a embalagem deve ser avaliada em relação aos efeitos de queda de chumbo. O decréscimo de chumbo determinado deve ser consistente com o utilizado na avaliação de blindagem.
- O projeto do parafuso de fechamento da tampa deve ser avaliado quanto aos efeitos combinados da força de impacto da queda livre, das pressões internas, do esforço térmico, da força de compressão do anel de vedação e da pré-carga do parafuso.
- A flambagem dos componentes da embalagem deve ser avaliada.
- Demais componentes da embalagem, tais como tampas de portas, placas de cobertura de portas e gabinetes de blindagem, devem ser avaliados quanto aos efeitos combinados da força de impacto da queda da embalagem, punção, pressões internas e tensão térmica.

Deve-se descrever os efeitos do teste de queda na embalagem: queda lateral, queda de quina, queda oblíqua (quina?).

Deve-se descrever as condições da embalagem após cada teste de queda e descrever os danos resultantes em cada orientação.

Caso aplicável, descrever os efeitos do teste de esmagamento dinâmico na embalagem.

Deve-se descrever os efeitos da punção na embalagem e identificar e justificar que foram avaliadas as orientações para as quais se espera um dano máximo. Esta descrição deve considerar qualquer dano resultante dos ensaios de queda

livre e esmagamento, bem como os danos locais perto do ponto de impacto da barra de punção e o efeito global sobre a embalagem. As válvulas e os acessórios do sistema de contenção devem ser tratados. Punções em ângulos oblíquos, perto de uma válvula de suporte, no fecho da embalagem e na penetração, devem ser consideradas, conforme apropriado. As observações gerais fornecidas nas secções 2.6 e 2.7.a podem também aplicar-se a esta condição de ensaio.

Embora os métodos analíticos estejam disponíveis para prever a punção, as fórmulas empíricas derivadas dos resultados do teste de punção de painéis laminados são usualmente usadas para a concepção de embalagens. A fórmula Nelm desenvolvida especificamente para o projeto do embalado fornece a espessura mínima necessária para evitar a punção da camada superficial de aço de uma parede de barril laminada de aço-chumbo-aço típico.

O teste térmico deve seguir os testes de queda livre e punção, e deve ser relatado na Seção 3, "Avaliação Térmica". Esta seção deve avaliar o projeto estrutural para os efeitos de um incêndio estando o embalado totalmente imerso, como especificado no Anexo A item A.4.3.2 (Ensaio Térmico) da Norma CNEN-NE-5.01. Qualquer dano resultante das condições de queda livre, esmagamento e punção deve ser incorporado na condição inicial da embalagem para o teste de fogo.

As temperaturas resultantes do incêndio e qualquer aumento no inventário de gás causado por processos de combustão ou de decomposição devem ser consideradas na determinação da pressão máxima na embalagem durante ou após o ensaio. As tensões térmicas máximas que podem ocorrer durante ou após o incêndio devem ser tratadas.

Deve-se sumarizar todas as temperaturas e pressões, conforme determinado na Seção 3, "Avaliação Térmica", da aplicação.

Deve-se incluir cálculos das deformações circunferenciais e axiais e tensões (se houver) que resultam da expansão termal diferencial. Devem ser consideradas as condições de pico, as condições de estado estacionário pós-fogo e todas as condições transitórias.

Deve-se incluir cálculos das tensões causadas por gradientes térmicos, expansão diferencial, pressão e outras cargas mecânicas. Devem ser incluídos os esboços que mostrem a configuração e as dimensões dos membros dos sistemas sob investigação e os locais dos pontos onde as tensões estão a ser calculadas.

Deve-se fazer as combinações de tensões apropriadas e comparar as tensões resultantes com os critérios de projeto na Seção 2.1.2 da aplicação. Esta seção deve mostrar que todos os requisitos de desempenho especificados nos regulamentos foram satisfeitos.

Se o conteúdo incluir material físsil sujeito aos requisitos de **10 CFR 71.55**, e se não foi assumido fuga de água para a análise de criticalidade, esta seção deve avaliar os efeitos e as consequências da condição de teste de imersão em água. O ensaio deveria considerar a imersão de uma amostra danificada sob uma profundidade de água de pelo menos 0,9 m na orientação para a qual se espera uma fuga máxima.

Deve-se avaliar uma embalagem não danificada para pressão de água equivalente à imersão sob uma profundidade de água de pelo menos 15 m por 8 horas. Para fins de teste, considera-se que uma pressão de água externa de 150 kPa (21,7 psi) satisfaz estas condições.

Teste de Imersão em Água Profunda (para embalagens de Tipo B com mais de 10^5 A₂). Se aplicável, esta seção deve avaliar a embalagem para uma pressão de água externa de 2 Mpa (290 psi) por um período não inferior a 1 hora, conforme especificado em **10 CFR 71.61**.

Deve-se resumir a condição da embalagem após a sequência do teste de acidente. A descrição deve abordar até que ponto os sistemas e componentes de segurança foram danificados e relacionar a condição da embalagem com as normas de aceitação.

Seção 2.8 - Condições de Acidente para Transporte de Pu por Via Aérea

Se aplicável, esta seção deve abordar as condições de acidente especificadas em **10 CFR 71.74**.

Seção 2.9 - Condições Acidentais para Transporte Aéreo de Materiais Físseis

Se aplicável, esta seção deve abordar as condições de acidente especificadas em **10 CFR 71.55 (f)**.

Seção 2.10 - Material Radioativo sob Forma Especial

Para embalagens projetadas para transportar somente material radioativo sob forma especial, esta Seção deve declarar que o conteúdo atende os requisitos da regulamentação quando submetidos às condições de teste.

Deveriam ser especificadas a forma física e química. Adicionalmente, se a fonte constituir de cilindro soldado e duplamente encapsulado, esta seção deve incluir desenho detalhado do encapsulamento, mostrando suas dimensões, materiais, forma de construção e método não destrutivo de exame.

Seção 2.11 - Varetas de Combustível

Na Seção 4, Confinamento, onde o revestimento da barra de combustível é considerado para fornecer confinamento de material radioativo em condições de teste normal ou de acidente, esta seção deve fornecer uma análise ou resultados de teste mostrando que o revestimento manterá integridade mecânica suficiente para fornecer o grau de **contenção(?)** reivindicada.

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

O apêndice deve incluir uma lista de referências, páginas aplicáveis de documentos referenciados, se não estiverem disponíveis, descrições de código de computador, arquivos de entrada e saída, resultados de teste, relatórios de teste e outras informações suplementares apropriadas. Este apêndice também deve incluir materiais e especificações de fabricação para itens que são significativos com relação à segurança, mas não são produzidos de acordo com padrões geralmente reconhecidos. O databook, que contém grande parte destas informações, poderá ser fornecido.

CAPÍTULO 3 – ANÁLISE TÉRMICA

Este capítulo deve descrever, discutir e analisar o projeto térmico da embalagem, seus componentes e sistemas importantes para a segurança, de forma a demonstrar a conformidade do projeto com os requisitos da regulamentação.

Seção 3.1 - Descrição do Projeto Térmico

Esta Seção deve descrever as partes significativas do projeto térmico da embalagem bem como suas características operacionais e discutir a operação de todos os subsistemas. Os critérios térmicos que serão diretamente aplicados aos resultados (ex: temperatura máxima do combustível, temperatura de fusão da blindagem não excedida) devem ser identificados. As propriedades analisadas nesta Seção, mas que servem de suporte a outras análises (ex: pressão, temperatura, distribuição das tensões térmicas) devem também ser identificadas. Os resultados significativos da análise térmica ou testes e a implicação desses resultados sobre a embalagem como um todo deve ser resumida.

As cargas de calor de decaimento mínimo e máximo assumidas na avaliação térmica devem ser especificadas.

A carga máxima de calor de decaimento assumida deve ser consistente com os termos-fonte adotados na análise de blindagem e de contenção.

Deve-se descrever as características do projeto que são importantes para o desempenho térmico, incluindo os itens a seguir:

- Geometria da embalagem e materiais de construção
- Características estruturais e mecânicas que podem afetar a transferência de calor, tais como: aletas de resfriamento, materiais isolantes e condições da superfície dos componentes da embalagem.

A dissipação de calor máxima e a radioatividade do embalado devem ser especificados. Esta seção deve mostrar a dissipação do calor e sua consistência com a quantidade máxima de material radioativo.

Deve-se apresentar tabelas das temperaturas máximas ou mínimas que afetam a integridade estrutural, confinamento, blindagem e criticidade em condições normais de transporte e em condições de acidente. Para a condição de teste de incêndio, as tabelas também devem incluir as seguintes informações:

- As temperaturas máximas de vários componentes da embalagem e o tempo em que ocorrem após o início do fogo.
- As temperaturas máximas da condição de estado estacionário pós-fogo.

As tabelas devem incluir a pressão máxima de funcionamento normal e a pressão máxima em condições de acidente.

Seção 3.2 - Propriedades dos Materiais e Especificação dos Componentes

Esta seção deve especificar as propriedades térmicas apropriadas para os materiais que afetam a transferência de calor tanto dentro da embalagem quanto da embalagem para o ambiente. Devem ser incluídos líquidos ou gases dentro da embalagem e gases externos à embalagem para condições de acidente.

As **absortividades e emissividades** térmicas devem ser adequadas às condições da superfície da embalagem e a cada condição térmica. Ao relatar uma propriedade como um valor único, a avaliação deve mostrar que esse valor limita a propriedade equivalente dependente da temperatura. Além disso, esta seção deve incluir referências para os dados fornecidos.

Deve-se incluir as especificações técnicas de componentes que são importantes para o desempenho térmico do embalado, como ilustrado pelos exemplos a seguir:

- No caso de válvulas ou vedações, a faixa de pressão de funcionamento e os limites de temperatura;
- As propriedades do isolamento e revestimentos, incluindo os dados de teste que justifiquem as suas especificações de desempenho;
- Temperaturas de serviço máximas admissíveis ou pressões para cada componente da embalagem;
- Temperatura de serviço mínima admissível de todos os componentes, que deveria ser menor ou igual a $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-40\text{ }^{\circ}\text{F}$).

Seção 3.3 - Análise Térmica para Condições Normais de Transporte

Esta seção deve descrever a avaliação térmica do funcionamento do sistema e do subsistema em condições normais de transporte. Devem ser consideradas as faixas de temperatura delimitadas pelas temperaturas mínima e máxima do ambiente e pelas cargas de calor de decaimento mínimo e máximo. Os resultados devem ser comparados com os limites permitidos de temperatura, pressão, etc., para os componentes da embalagem.

As informações devem ser apresentadas em tabelas, juntamente com comentários apropriados. As informações que devem ser usadas em outras seções da revisão devem ser identificadas. As faixas de segurança para as temperaturas, pressões e tensões térmicas da embalagem, incluindo os efeitos das incertezas nas propriedades térmicas, condições de teste e diagnósticos, e métodos analíticos devem ser abordados. A análise ou os resultados dos testes devem ser confiáveis.

As seguintes informações gerais devem ser consideradas e incluídas, conforme apropriado:

- Para a avaliação térmica por análise, os métodos e cálculos utilizados na avaliação térmica da embalagem devem ser descritos em detalhes.
- Suposições que são usadas na análise devem ser claramente descritas e justificadas.
- Para análises de computador, incluindo análises de elementos finitos, o programa de computador deve ser descrito e deve ser demonstrado ser bem comparado e amplamente utilizado para análises térmicas e aplicável à avaliação.
- Modelos e detalhes de modelagem devem ser claramente descritos.

- Para a avaliação térmica por ensaio, o método de ensaio, os procedimentos, o equipamento e as instalações que foram utilizados devem ser descritos.
- Se a amostra testada não for idêntica em todos os aspectos à embalagem descrita no pedido, as diferenças devem ser descritas e justificadas, uma vez que estas diferenças não afetariam os resultados do teste.
- Os dados de temperatura devem ser reportados em juntas, válvulas e outros limites de contenção, particularmente para materiais sensíveis à temperatura.
- Algumas condições, como a temperatura ambiente, a dissipação do calor do conteúdo ou a emissividade ou absorvidade do embalado, podem não ser exatamente representadas em um teste térmico e devem ser descritas as correções ou avaliações apropriadas que explicam essas diferenças.
- As temperaturas interior e exterior devem ser incluídas.
- Os danos causados pelos ensaios e os resultados das medições efetuadas devem ser relatados em pormenor, incluindo fotografias dos ensaios e da amostra de ensaio.

Calor e frio

Esta secção deveria demonstrar que os ensaios relativos a condições normais de transporte não resultam numa redução significativa da eficácia da embalagem. Os seguintes itens deveriam ser considerados e abordados:

- Degradação da capacidade de transferência de calor das embalagens (como a criação de novas lacunas entre os componentes)
- Mudanças nas condições ou propriedades materiais (por exemplo, expansão, contração, geração de gás e tensões térmicas) que afetam o desempenho estrutural
- Mudanças na embalagem que afetam a contenção, blindagem ou criticidade (como decomposição térmica ou derretimento de materiais).
- Capacidade da embalagem de suportar os ensaios em condições de acidente.

As temperaturas e pressões dos componentes devem ser comparadas com os valores permitidos. Esta secção deve indicar explicitamente que a embalagem cumpre os requisitos máximos de temperatura de superfície especificados em **10 CFR 71.43 (g)**.

Deve-se indicar a pressão de funcionamento normal máxima e mostrar como foi calculada, supondo que a embalagem tenha estado sujeita à condição de calor durante 1 ano. O cálculo deve considerar possíveis fontes de gases, incluindo as seguintes:

- Gases inicialmente presentes na embalagem
- Vapor saturado, incluindo vapor de água do conteúdo ou embalagem
- Decaimento radioativo do hélio

- Hidrogênio ou outros gases resultantes da decomposição térmica ou induzida por radiação de materiais como água ou plásticos
- Falha da haste de combustível

Esta seção deve demonstrar que o hidrogênio e outros gases inflamáveis não resultarão em uma mistura inflamável dentro de qualquer volume confinado da embalagem.

Seção 3.4 - Análise Térmica para Condições de Acidente

Esta seção deve descrever a avaliação térmica da embalagem sob condições de acidente. As condições de acidente definidas no **10 CFR 71.73** devem ser aplicadas.

A avaliação térmica deve considerar os efeitos da queda, esmagamento (se aplicável). Esta seção deve identificar as condições iniciais e justificar que elas são mais desfavoráveis, incluindo temperatura ambiente inicial, insolação, pressão interna, etc.

Deve-se fornecer uma descrição detalhada da análise ou ensaios utilizados para avaliar a embalagem nas condições de ensaio de incêndio. A avaliação deveria atender aos requisitos do **10 CFR 71.73 (c)**.

Deve-se relatar as temperaturas de pico transientes dos componentes da embalagem em função do tempo durante e após o incêndio, bem como as temperaturas máximas da condição de estado estacionário pós-fogo. Esta seção deve incluir aquelas temperaturas em locais no embalado que são significativos para a análise de segurança. Em particular, as temperaturas para itens como conteúdo, juntas, válvulas e blindagem devem ser descritas. Os cálculos de temperaturas transitórias devem rastrear a história de temperatura-tempo até e além do tempo em que as temperaturas máximas são alcançadas e começam a cair.

A avaliação da pressão máxima na embalagem deve basear-se na pressão máxima de funcionamento normal e deve considerar os aumentos induzidos pelo fogo nas temperaturas da embalagem, processos de combustão térmica ou de decomposição, falha da haste de combustível, alterações de fase, etc.

Esta seção deve fornecer uma descrição geral do desempenho da embalagem e deve comparar os resultados do teste térmico com os limites permitidos de temperatura, pressão, etc., para os componentes da embalagem. Deve ser considerado e descrito qualquer dano à embalagem resultante da interpretação da análise ou da observação do ensaio. A avaliação deve incluir danos estruturais, quebra de confinamento e perda de blindagem.

Deve-se avaliar as condições de tensão térmica mais severas que resultam durante o teste de incêndio e subsequente arrefecimento. As temperaturas correspondentes às tensões térmicas máximas devem ser relatadas.

Condições de acidente para os embalados de materiais físséis para transporte aéreo. Se aplicável, aplique as condições de teste de incêndio expandido especificadas em 10 CFR 71.55 (f).

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

O apêndice deve incluir uma lista de referências, páginas aplicáveis de documentos referenciados, justificção de suposições ou procedimentos analíticos, resultados de testes, fotografias, descrições de programas de computador e arquivos de entrada e saída, especificações de O-rings e outros componentes, e outras informações suplementares.

CAPÍTULO 4 – SISTEMA DE CONTENÇÃO E DE CONFINAMENTO

Este capítulo deve identificar e descrever o sistema de contenção da embalagem e demonstrar como são atendidas as exigências da regulamentação.

Seção 4.1 - Descrição do Sistema de Contenção

Esta Seção deve definir e descrever o sistema de contenção da embalagem, incluindo o vaso de contenção, soldas, selos, tampas, placas, válvulas e outros dispositivos de fechamento. A descrição deve incluir os materiais de construção assim como os códigos e normas aplicáveis.

O Sistema de contenção da embalagem deve ser explicitamente identificado, incluindo o recipiente de contenção, soldas, orifícios de drenagem ou enchimento, válvulas, vedações, testes, dispositivos de alívio de pressão, tampas, placas de cobertura e outros dispositivos de fechamento. Se forem utilizados vários vedantes para um único fecho, deve-se identificar o selo definido como o selo do sistema de contenção. Deve-se detalhar os seguintes itens:

- Penetrações do sistema de contenção e seu método de fechamento;
- Especificações de desempenho para componentes como válvulas e dispositivos de alívio de pressão;
- o método usado para proteger qualquer válvula ou dispositivo similar na embalagem contra operação não autorizada, e o dispositivo usado para reter qualquer vazamento (exceto para uma válvula de alívio de pressão);
- Como o sistema de contenção está firmemente fechado com um dispositivo de fixação positivo que não pode ser aberto involuntariamente ou por uma pressão que pode surgir dentro da embalagem;
- As características que asseguram a ventilação contínua são impedidas.

Seção 4.2 - Contenção em Condições Normais de Transporte

Esta seção deve incluir a avaliação do sistema de contenção em condições normais de transporte. A avaliação deve ser realizada para as formas químicas e físicas mais limitantes dos conteúdos. Devem ser identificados os constituintes de origem libertável, incluindo gases radioativos, líquidos e aerossóis em pó. A avaliação deve abordar o seguinte:

- Pressões internas máximas;
- O desempenho estrutural do sistema de contenção, incluindo vedações, parafusos de fecho e penetrações;
- Teste de vazamento do sistema de contenção.

No caso das embalagens do Tipo A para materiais físséis, a avaliação deve demonstrar que não existe perda ou dispersão de material radioativo em condições normais de transporte. Para os embalados do Tipo B, a avaliação deve demonstrar que não há liberação em condições normais de transporte para a sensibilidade exigida.

Seção 4.3 - Contenção em Condições de Acidente

Esta seção deve incluir a avaliação do sistema de contenção sob condições de acidente, considerando os fatores indicados na Seção 4.2, acima. Esta seção deve demonstrar que a embalagem cumpre os requisitos de confinamento de 10 **CFR 71.51 (a) (2)** sob condições de acidente. Em particular, deve ser abordado o desempenho estrutural do sistema de contenção, incluindo vedações, parafusos de fecho e penetrações, bem como ensaios de fugas do sistema de contenção.

Seção 4.4 - Teste de fuga para Embalados Tipo B

Esta seção deve descrever os testes de vazamento que são usados para mostrar que a embalagem atende aos requisitos de contenção de **10 CFR 71.51**. Estes podem incluir testes de vazamento de unidades de teste, embalagens recém-fabricadas, testes periódicos e testes pré-embarque.

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

O apêndice deve incluir uma lista de referências, páginas aplicáveis de documentos referenciados, informações e análises de apoio, resultados de testes e outras informações suplementares apropriadas.

CAPÍTULO 5 – ANÁLISE DA BLINDAGEM

Este capítulo deve identificar, descrever, discutir e analisar o projeto de blindagem da embalagem, seus componentes e sistemas para a segurança.

Seção 5.1 - Descrição do Projeto de Blindagem

Esta seção deve descrever o projeto de blindagem da embalagem, incluindo dimensões, tolerâncias, materiais de construção e densidades do material para a blindagem de nêutrons e raios gama.

Deve-se apresentar as taxas máximas de dose tanto para condições normais quanto para condições hipotéticas de acidente em locais apropriados seja para remessas sob uso exclusivo e uso não-exclusivo, conforme aplicável.

Seção 5.2 - Especificação da Fonte

Esta seção deve descrever os conteúdos, assim como os termo-fontes gama e nêutrons usado na análise da blindagem. Qualquer incremento no termo-fonte ao longo do tempo deve ser considerado. No caso de embalados projetados para o transporte de combustível irradiado, esta seção deve informar também o fator de queima, a densidade de potência e tempo de refrigeração.

Deve-se especificar a quantidade de material radioativo incluída como conteúdo e informar o decaimento gama (mev/s e fótons/s) como uma função da energia do fóton. Uma descrição detalhada do método utilizado para determinar a energia da fonte gama deve ser apresentada.

Deve-se especificar a quantidade de material radioativo incluída como conteúdo e informar a intensidade da fonte de nêutrons (nêutrons/s) como uma função da energia.

Uma descrição detalhada do método utilizado para determinar a energia da fonte de nêutrons deve ser apresentada.

Seção 5.3 - Modelo de Blindagem

Esta seção deve fornecer uma descrição detalhada do modelo usado na avaliação da blindagem.

Os efeitos dos testes na embalagem e seus conteúdos sob condição normal de transporte e condições de acidente hipotético devem ser avaliados. Os modelos utilizados no cálculo de blindagem devem ser consistentes com esses efeitos.

Esta seção deve incluir desenhos (em escala) e dimensões dos materiais de blindagem axial e radial. As dimensões do veículo de transporte e localização dos embalados para expedições em uso exclusivo para os quais a análise está baseada nos níveis de radiação definidos no item **10 71.47(b) do Código Federal de Regulamentação** devem ser incluídos, conforme apropriado.

A localização dos pontos de dose, incluindo todas as localizações prescritas no **item 10 71.47(a) ou 71.47(b) e item 10 71.51(a)(2)** deve ser identificada. **Tais pontos devem ser escolhidos para identificar os locais de níveis máximos de radiação. Espaços vazios, passagens de fluxo e geometrias irregulares do modelo devem ser incluídas ou alternativamente, devem ser tratados de maneira adequada.**

Deve-se descrever as propriedades do material (ex.: densidade de massa e atômica) dos modelos de blindagem para a embalagem e seu conteúdo. Alterações resultantes das condições normais e de acidente hipotético devem ser incluídas, conforme aplicável. As fontes de dados de materiais incomuns devem ser citadas.

Seção 5.4 - Análise da Blindagem

Esta seção deve fornecer uma descrição geral do método básico utilizado para determinar as taxas de doses gama e de nêutrons em pontos específicos fora do embalado, tanto para condição normal quanto para a condição de acidente. Ela deve incluir uma descrição da distribuição espacial da fonte e qualquer código computacional utilizada. Deve-se também incluir uma descrição detalhada dos parâmetros básicos de entrada, assim como as bases utilizadas para seleção do programa, da atenuação e remoção das seções transversais e fatores de build up.

Deve-se identificar os dados principais para o cálculo de blindagem e mostrar que as informações para os modelos de blindagem são adequadas introduzidas no código. Esta seção deve também mostrar que o código resulta em convergência adequada.

Deve-se incluir uma tabulação de dados dos fatores de conversão do fluxo para a taxa de dose em função da energia e deve mencionar as referências que justifiquem os dados.

Deve-se descrever em detalhes os resultados da análise de radiação. Estes devem ser consistentes com os dados contidos na tabela-resumo. Os locais de máximas taxas de dose para a análise devem ser identificados e dados suficientes devem ser fornecidos de forma a demonstrar que os níveis de radiação são razoáveis e que suas variações com os locais são consistentes com a geometria e as características de blindagem do embalado.

Os resultados devem avaliar tanto as condições normais quanto as de acidente.

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

Referências, procedimentos, resultados de testes, fotografias, softwares e demais informações suplementares podem compor um apêndice.

CAPÍTULO 6 – ANÁLISE DE CRITICALIDADE

Este capítulo deve identificar, discutir e analisar o projeto de criticalidade da embalagem, seus componentes e sistemas importantes para a segurança. Deve também demonstrar a conformidade da embalagem com os requisitos regulamentares.

Seção 6.1 - Descrição do Projeto de Criticalidade

Deve-se descrever os componentes do projeto que são importantes para o controle da criticalidade. A descrição deve incluir informações sobre o sistema de confinamento, absorvedores de nêutrons, materiais moderadores, armadilhas de fluxo, espaçadores, etc..

Deve-se fornecer um resumo dos resultados da análise de criticalidade da embalagem considerando as seguintes situações, conforme descrito nas seções 6.4 a 6.6:

- Uma embalagem única, sob as condições descritas no item 10 do Código Federal de Regulamentação **item 71.55(b), (d), e (e) da US-NRC**;
- arranjo de embalados não-danificados, sob as condições descritas no item 10 do Código Federal de Regulamentação **item 71.59 (b), (d), e (e)** sob as condições descritas no item **10 item 7159 (a)(1) da US-NRC**;
- arranjo de embalados danificados, sob as condições previstas no item **10 71.59(a)(2)** do Código Federal de Regulamentação da US-NRC;

O valor máximo do fator da efetiva multiplicação de nêutrons (k_{eff}), as incertezas e o número de embalados analisados por arranjo devem ser especificados na tabela.

Deve-se informar o índice de segurança de criticalidade (ISC) baseado no número de embalados analisados nos arranjos e mostrar como o índice foi calculado.

Seção 6.2 - Conteúdo Físsil

Esta seção deve descrever em detalhe os materiais físséis contidos no embalado. Massa, dimensões, enriquecimento, composição química e física, densidade, umidade e outras características devem ser definidas.

Seção 6.3 - Considerações Gerais

Esta seção deve avaliar as considerações gerais utilizadas para analisar a criticalidade do embalado. Isto pode ser aplicado em análise de criticalidade de ambas as condições previstas um embalado ou um arranjo de embalados em condições normais e condições hipotéticas de acidente.

Deve-se descrever e fornecer os desenhos do modelo de cálculo utilizados. Os desenhos devem identificar os materiais usados em todas as partes do modelo. Quaisquer diferenças entre o modelo e as condições reais configuração dos embalados devem ser identificadas e justificadas para demonstrar que o modelo é conservativo. Adicionalmente, as diferenças entre modelos para as condições normais e de acidente devem ser claramente identificadas.

Deve-se fornecer as densidades de massa e de número atômico para os materiais usados no modelo de embalagem e seu conteúdo. As propriedades dos materiais devem ser consistentes com a condição do embalado sob os testes especificados no **item 10 71.71 e 71.73 do Código Federal de Regulamentação dos Estados Unidos**. Devem ser claramente identificadas as diferenças entre a condição normal de transporte e a condição de acidente hipotético.

Materiais relevantes para o cálculo de criticalidade, tais como venenos, espumas, plástico e demais hidrocarbonos, devem ser especificamente analisados.

Deve-se descrever os métodos básicos usados para calcular a multiplicação efetiva de nêutrons constante do embalado a fim de demonstrar sua conformidade com os padrões para embalados contendo material físsil.

O seguinte aspectos devem ser verificados:

- Descrição do programa de computador e seções transversais usadas,
- Bases para a seleção do programa específico e das seções transversais,
- Dados importantes de entrada para o cálculo de criticalidade, tais como nêutrons por geração, número de gerações, critérios de convergência, seleção de malha, etc..

Deve-se incluir demonstração de que a configuração mais reativa em cada caso listado nas seções 6.4 a 6.6 (embalado único, arranjo de embalados não-danificados e arranjos de embalados danificados) foram analisados. Devem ser claramente identificadas e justificadas todas as aproximações e valores assumidos.

Deve-se identificar a combinação ótima da moderação interna (dentro do embalado) e a moderação interpassada (entre embalados), conforme aplicável.

Os seguintes aspectos devem ser considerados:

- Moderação por água e qualquer material da embalagem contendo hidrogênio, tais como polietileno,
- Regiões de entrada de água para o interior do embalado,
- Cargas parciais (i.e., massa físsil menor que massa máxima permitida).

Seção 6.4 - Análise de Embalados Individuais Isolados

Esta seção deve demonstrar que um único embalado é subcrítico tanto em condição normal quanto em condição hipotética de acidente. A análise deve considerar os seguintes fatores:

- O material físsil em sua configuração mais reativa possível consistente com a condição do volume e a forma física e química de seu conteúdo,
- moderação por água para o caso mais reativo, incluindo vazamento ao interior do sistema de contenção, conforme especificado no item **10 71.75(b) do Código Federal de Regulamentação**.
- reflexão total por água em todos os lados do sistema de contenção conforme especificado no **item 10 71.75(b)(3) do Código Federal de Regulamentação** ou reflexão pelos materiais do embalado, o que causar a máxima reatividade.

Deve-se apresentar os resultados da análise de um embalado individual e deve também avaliar as especificações adicionais do item **10, 71.75(d)(2) a (d)(4)** sob condições normais de transporte.

Seção 6.5 - Arranjo de Embalados em Condições Normais de Transporte

Esta seção deve avaliar um arranjo de 5N embalados sob condições normais de transporte. A avaliação deve considerar os seguintes fatores:

- a configuração mais reativa (isto é, a orientação do passo e do embalado) sem nada entre os embalados,
- a configuração mais reativa do embalado e seu conteúdo sob condições normais de transporte (caso o teste de spray de água tenha demonstrado que a água não vazaria para o interior do embalado, a entrada de água não seria assumida).
- reflexão total por água em todos os lados de um arranjo finito.

Deve-se apresentar os resultados das análises para arranjos e identificar as condições de arranjo mais reativas.

Seção 6.6 - Análise de Arranjo de Embalados em Condições de Acidente

Esta seção deve avaliar um arranjo de 2N embalados sob condição hipotética de acidente. A avaliação deve considerar os seguintes fatores:

- a configuração mais reativa do arranjo (isto é, orientação do passo e do embalado e moderação interna),
- moderação hidrogenosa ótima interpassada,
- a configuração mais reativa da embalagem e seus conteúdos sob condições hipotéticas de acidente, incluindo vazamento de água para o interior da embalagem,
- reflexão total por água em todos os lados de um arranjo finito.
- Deve-se apresentar os resultados das análises para arranjos e identificar as condições de arranjo mais reativas.

Seção 6.7 - Embalados para Transporte Aéreo de Materiais Físseis

Esta seção deve avaliar um embalado único sob condições expandidas de acidente especificada no item **10 71.55(f) do Código Federal de Regulamentação**. A avaliação deve considerar os seguintes fatores:

- a configuração mais reativa do conteúdo e embalagem sob condições expandidas de acidente,
- reflexão total por água,
- sem vazamento de água para o interior.

Deve-se apresentar os resultados das análises para um embalado único e identificar o conteúdo mais reativo e as condições da embalagem.

Seção 6.8 - Análise de Benchmark

Esta seção deve incluir uma descrição dos métodos usados para comparação com cálculos de criticalidade. Os códigos computacionais para cálculo de criticalidade devem ser comparados com experimentos. O mesmo código computacional, hardware e bibliotecas de seção transversal usados para calcular o fator de multiplicação efetivo do embalado deve ser usado nos experimentos.

Esta seção deve apresentar os resultados dos cálculos de forma a justificar a avaliação do método de cálculo da seção transversal e valores de seção transversal de nêutrons usados na análise.

Deve-se descrever os experimentos críticos de comparação a serem analisados utilizando o método e as seções transversais dados na seção 6.3. Esta seção deve mostrar a aplicação da comparação em relação ao embalado e seus conteúdos, indicando todas as similaridades e tratando todas as diferenças. Devem ser fornecidas referências que possuam toda documentação sobre esses experimentos.

A qualidade final dos experimentos de benchmark e quaisquer incertezas em dados experimentais devem ser analisados. Os resultados dos cálculos de comparação, assim como os parâmetros de entradas geométricas e nuclear usados no cálculo devem ser fornecidos.

Deve-se apresentar os resultados dos cálculos de benchmark e o método utilizado para contabilizar os bias, incluindo a contribuição das incertezas nos dados experimentais.

Esta seção deve mostrar um número suficiente de experimentos de benchmark apropriados e que os resultados dos cálculos de benchmark foram apropriados para determinar o bias para os cálculos do embalado. Parâmetros como diâmetro de passo a rolo, separação de montagem e material de absorção de nêutrons devem ser considerados.

As incertezas estatísticas e de convergência devem ser tratadas.

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

O apêndice deve incluir uma lista de referências, páginas aplicáveis dos documentos referenciados, justificativas quanto a valores e condições assumidos ou procedimento analítico, resultados de testes, fotografias, descrição de códigos

computacionais, arquivos de entrada e saída e outras informações suplementares.

Arquivos de entrada de casos representativos ou casos “mais limitantes” para um único embalado e arranjos de embalados danificados devem ser especificamente incluídos.

CAPÍTULO 7 – PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

Este capítulo deve descrever como serão realizadas as operações de carregamento da embalagem e sua preparação para o transporte, a descrição deve considerar a ordem na qual as ações são realizadas e demonstrar os principais passos para assegurar que a preparação dos embalados é consistente com a análise apresentada nos capítulos 2 ao 6 do RAS.

A embalagem deve ser operada em conformidade com procedimentos escritos com base nas informações fornecidas neste capítulo.

As operações de transporte devem manter as doses “tão baixas quanto razoavelmente possíveis” (ALARA), conforme estabelecido pela regulamentação.

Seção 7.1 - Carregamento do Volume

Esta seção deve descrever os preparativos, os testes e inspeções relacionadas com o carregamento do volume, incluindo as inspeções a serem realizadas antes do carregamento do volume de forma a assegurar que o volume não foi danificado e que os níveis de contaminação na superfície encontram-se dentro dos limites permitidos pela regulamentação.

No mínimo, as operações para preparar o embalado para o carregamento devem especificar que o embalado é carregado e fechado de acordo com procedimentos escritos detalhados, que o embalado está em condição física perfeita e qualquer moderador necessário ou nêutron absorvente está presente e em bom estado. As operações devem também incluir quaisquer controles e precauções especiais de manuseio. Além disso, as operações devem descrever a inspeção de juntas, critérios de substituição, e processos de reparação, se for o caso, bem como a inspeção de cada dispositivo de fechamento e os critérios para a substituição.

As operações de carregamento do conteúdo devem descrever como os conteúdos são carregados e como a embalagem está fechada.

As operações de preparação da embalagem para transporte devem abordar os ensaios de radiação e de contaminação da embalagem, os ensaios de fuga da embalagem, a medição da temperatura da superfície da embalagem, a fixação do volume e a aplicação de dispositivos indicadores de violação.

Seção 7.2 - Descarregamento do Volume

Esta seção deve incluir inspeções, ensaios e preparações especiais da embalagem para descarga. Conforme aplicável, esta seção deve também descrever as operações utilizadas para assegurar a remoção segura de gases de fissão, refrigerante contaminado e contaminantes sólidos.

O processo de recepção da embalagem deve abordar os ensaios de radiação e de contaminação e a inspeção do dispositivo indicador de violação. Esta seção

também deve descrever quaisquer controles especiais e precauções especiais para manuseio e descarregamento e atender aos requisitos apropriados do 10 CFR 20.1906, "Procedimentos para Receber e Abrir embalados".

Seção 7.3 - Preparação do Volume Vazio para Transporte

Esta seção deve descrever as inspeções, ensaios e preparações especiais necessárias para assegurar que a embalagem é verificada como vazia e devidamente fechada e que os níveis de radiação e contaminação estão dentro dos limites permitidos. Além disso, esta seção deve abordar os requisitos apropriados de **49 CFR 173.428 "Empty Class 7 (Radioactive) Materials Packaging"**.

Seção 7.4 - Outras Operações

Esta seção deve incluir as provisões para quaisquer controles operacionais especiais (por exemplo, rota, tempo, restrições de tempo de embarque, etc.).

Apêndice (referências, códigos, resultados de teste, etc.)

O apêndice deve incluir uma lista de referências, páginas aplicáveis, documentos referenciados, descrições detalhadas e análise de processos ou protocolos, apresentações gráficas, resultados de testes e outras informações suplementares.

CAPÍTULO 8 – TESTES DE ACEITAÇÃO E PROGRAMA DE MANUTENÇÃO

Este capítulo deve descrever os testes de aceitação e o programa de manutenção das embalagens.

Seção 8.1 - Testes de Aceitação

Esta seção deve descrever os testes a serem realizados antes do primeiro uso da embalagem. Cada teste e seu respectivo critério de aceitação devem ser descritos. Os testes de aceitação devem confirmar que cada embalagem foi fabricada de acordo com os desenhos de projeto descritos no RAS.

Inspeção visual e medições: Esta seção deve descrever os detalhes das inspeções visuais a serem realizadas, bem como o objetivo de cada inspeção. O critério de aceitação de cada inspeção deve ser informado, bem como devem ser descritas as ações a serem tomadas em caso de constatação de não-conformidades.

As inspeções devem verificar se cada embalagem foi fabricada e montada em conformidade com os desenhos de projeto e que todas as medições e tolerâncias especificadas nos desenhos de fabricação foram confirmadas através de medição.

Exame de soldas

Esta seção deve descrever os exames de solda realizados a fim de verificar que a fabricação foi feita de acordo com desenhos, códigos e normas descritos no RAS.

Os locais, os tipos e tamanho das soldas devem ser confirmados através de medições. Quaisquer outras especificações para solda, ensaio não-destrutivo e testes de aceitação devem ser identificadas.

Testes estruturais e de pressão:

Esta Seção deve identificar e descrever os testes estruturais e de pressão para demonstrar a conformidade com códigos e normas aplicáveis ao projeto da embalagem.

A sensibilidade dos testes e as ações corretivas, quando o critério de aceitação não for atendido, devem ser especificados.

Teste de fuga:

Esta Seção deve descrever os testes de fuga a serem realizados no cilindro quanto nos dispositivos auxiliares (válvulas).

A sensibilidade dos testes e as ações corretivas, quando o critério de aceitação não for atendido, devem ser especificados.

Teste de materiais e componentes:

Esta Seção deve especificar os testes e critérios de aceitação para componentes que afetam o desempenho da embalagem. Adicionalmente, esta Seção deve especificar a sensibilidade do teste, caso aplicável, fornecer o critério de aceitação e descrever a ação corretiva a ser tomada caso o critério não seja atendido.

Esta Seção deveria também especificar os testes e o respectivo critério de aceitação para os materiais da embalagem. Os testes devem incluir componentes tais como juntas, e simular as mais severas condições de serviço sob as quais os testes devem ser realizados.

Isso inclui desempenho sob pressão e sob altas e baixas temperaturas. Testes para absorvedores de nêutrons (Boro) e materiais de isolamento (espumas, papelão) devem assegurar que as especificações mínimas de densidade e conteúdo isotópico são atingidos.

Adicionalmente, testes que demonstrem a habilidade dos materiais em atender as especificações de desempenho mostradas nos desenhos de engenharia devem ser descritos.

Testes de blindagem:

Esta Seção deve especificar os testes de blindagem tanto para radiação gama quanto para nêutrons. Tais testes devem ser suficientes para assegurar que a blindagem está livre de defeitos, espaços vazios ou passagens.

Testes térmicos:

Esta Seção deve especificar os testes necessários para demonstrar a capacidade de transferência de calor da embalagem. Tais testes devem confirmar que o desempenho quanto a transferência de calor determinado na análise térmica (capítulo 3 do RAS) é obtida durante o processo de fabricação.

Outros testes:

Esta Seção deve descrever quaisquer testes adicionais realizados antes do uso da embalagem.

Seção 8.2 - Programa de Manutenção

Esta seção deve descrever o Programa de Manutenção utilizado para assegurar um adequado desempenho da embalagem. Tal programa deve incluir cronograma de testes periódicos, inspeção e de substituição, bem como os critérios para substituição e reparo dos componentes e subsistemas.

Testes estruturais e de pressão:

Esta Seção deve identificar e descrever quaisquer testes (estrutural e de pressão) periódicos programados. Tais testes devem ter relação com códigos, normas ou outros procedimentos especificados no RAS.

Testes de fuga:

Esta Seção deve descrever os testes e a frequência com que são realizados e a sensibilidade de cada teste.

Para a maioria dos sistemas, esta descrição deve incluir um teste antes de cada remessa e também teste anual. Em geral, esta Seção deve especificar que selos elastômeros devem ser substituídos, seguidos de teste de fuga a cada período de 12 meses antes da remessa, e que selos metálicos devem também ser substituídos e testados antes de cada remessa.

Teste de componentes e de materiais:

Esta Seção deve apresentar um cronograma de testes periódicos e de substituição de componentes da embalagem.

Qualquer processo que possa resultar em deterioração dos materiais da embalagem, incluindo perda de absorvedores de nêutrons, redução do conteúdo de hidrogênio de blindagem, alterações na densidade de materiais de isolamento deve ser avaliada.

Intervalos de substituição de componentes, tais como parafusos suscetíveis à fadiga, devem ser especificados.

Testes térmicos:

Esta Seção deve descrever os testes periódicos empregados para assegurar a capacidade de transferência de calor durante a vida útil da embalagem. Esta Seção deve ainda descrever os testes térmicos periódicos e o intervalo para a realização destes testes, os quais ocorrem normalmente a cada 5 anos.

Outros testes:

Quaisquer outros testes adicionais a serem realizados periodicamente na embalagem ou em seus componentes devem ser descritos.

Referências, códigos e resultados de testes podem compor um Apêndice.