

# **AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL POR TRANSPORTE DE COMBUSTÍVEL NUCLEAR QUEIMADO**

**Luiz Sergio Romanato<sup>1</sup> e Barbara Maria Rzycki<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo  
Departamento da Qualidade - Divisão de Sistemas da Qualidade  
Av. Professor Lineu Prestes 2468  
05508-900 São Paulo, SP  
711@ctmsp.mar.mil.br

<sup>2</sup> Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN / CNEN - SP)  
Divisão de Ensino  
Av. Professor Lineu Prestes 2242  
05508-000 São Paulo, SP  
bmrzyski@ipen.br

## **RESUMO**

As normas de Sistema de Gestão Ambiental, série NBR ISO 14000, são mundialmente conhecidas e utilizadas em várias empresas que têm o compromisso de operar sem agredir a natureza e o meio ambiente, inclusive as da indústria nuclear. Os impactos que um acidente causaria ao meio ambiente durante o transporte de combustível nuclear queimado, da central nuclear para o local de armazenagem intermediária, podem ser imprevisíveis; o principal seria a liberação de material radioativo para o meio ambiente. Sem deixar de lado a importância dos aspectos potenciais de um acidente, este trabalho tem como objetivo apresentar um levantamento dos aspectos que possam causar impactos significativos, e conseqüentemente, contaminação ao meio ambiente, durante o transporte de combustível nuclear queimado do reator até uma estação de armazenagem temporária antes da disposição em repositórios definitivos.

## **1. INTRODUÇÃO**

Aproximadamente vinte milhões de embalagens de todos os tamanhos, contendo material radioativo, são transportadas anualmente em todo o mundo, por rodovias, ferrovias e por via marítima [1]. Os rejeitos radioativos são classificados no Brasil conforme sua atividade (CNEN-NE 6.05) [2]. O recipiente de transporte de rejeitos de atividade alta, que englobam o Combustível Nuclear Queimado (CNQ), além da blindagem contra a radiação requer sistema de arrefecimento para remoção do calor continuamente gerado.

O CNQ é aquele que já não sustenta a reação requerida no reator de potência e é substituído por um novo. O CNQ também é considerado por outros países, como fonte do qual pode-se ainda extrair material físsil remanescente para a produção de combustível nuclear novo. Durante a troca de combustíveis o CNQ é retirado do reator e transferido para uma piscina de armazenagem provisória para decaimento do nível de atividade. Após algum tempo, dependendo do tipo de reator [3], o CNQ é transferido dessa piscina para outro local de armazenagem por via seca ou úmida, e deste último poderá seguir para o reprocessamento ou para um repositório final. Não importa qual o destino, o transporte deve ser feito com segurança para o local indicado.

O transporte de material radioativo é regido por normas estipuladas em cada país. No Brasil as normas de transporte de produtos perigosos e materiais nucleares estão na publicação CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) NE 5.01 de 1988 [4].

Normalmente, o acondicionamento é feito em uma embalagem na forma de cilindro, denominado 'casco'. A embalagem de transporte do CNQ pode ser provisória ou definitiva e em ambas, o material é confinado com a máxima segurança e enviado ao destino por diferentes vias de transporte: terrestre ou marítimo. A embalagem normalmente é do tipo multi-propósito, servindo tanto para transporte como para armazenagem no destino. Eventos inesperados, durante o transporte da carga radioativa, que possam gerar danos a pessoas, bens, meio-ambiente, meios de transporte ou a própria carga são denominados acidentes de transporte. A segurança de uma embalagem tem como objetivo reduzir os níveis de radiação aos níveis permissíveis e evitar qualquer tipo de liberação de substâncias radioativas no meio-ambiente. Estes são os grandes impactos ambientais associados.

## **2. IMPACTOS AMBIENTAIS NO TRANSPORTE DE CNQ**

### **2.1 Normas ISO Série 14000 e Meio-Ambiente**

As Normas ISO 14001 e 14004 [5, 6], dão as diretrizes para o levantamento de aspectos e impactos ambientais para que se possa implantar um sistema de gestão ambiental. Estas normas fornecem assistência para as organizações que se preocupam com a manutenção e melhoria da qualidade do meio ambiente voltando sua atenção para os impactos ambientais. O homem, durante toda a vida, utiliza o meio ambiente para seu desfrute e desenvolvimento, sempre lhe acarretando um dano associado, seja a poluição do ar, água ou solo. Hoje em dia, com as modificações climáticas, problemas atmosféricos e hídricos, o homem tem que se conscientizar cada vez mais, sobre a importância da evolução tecnológica com a não agressão e proteção do meio ambiente, para que as gerações futuras possam usufruí-los. Isto é chamado de desenvolvimento sustentável.

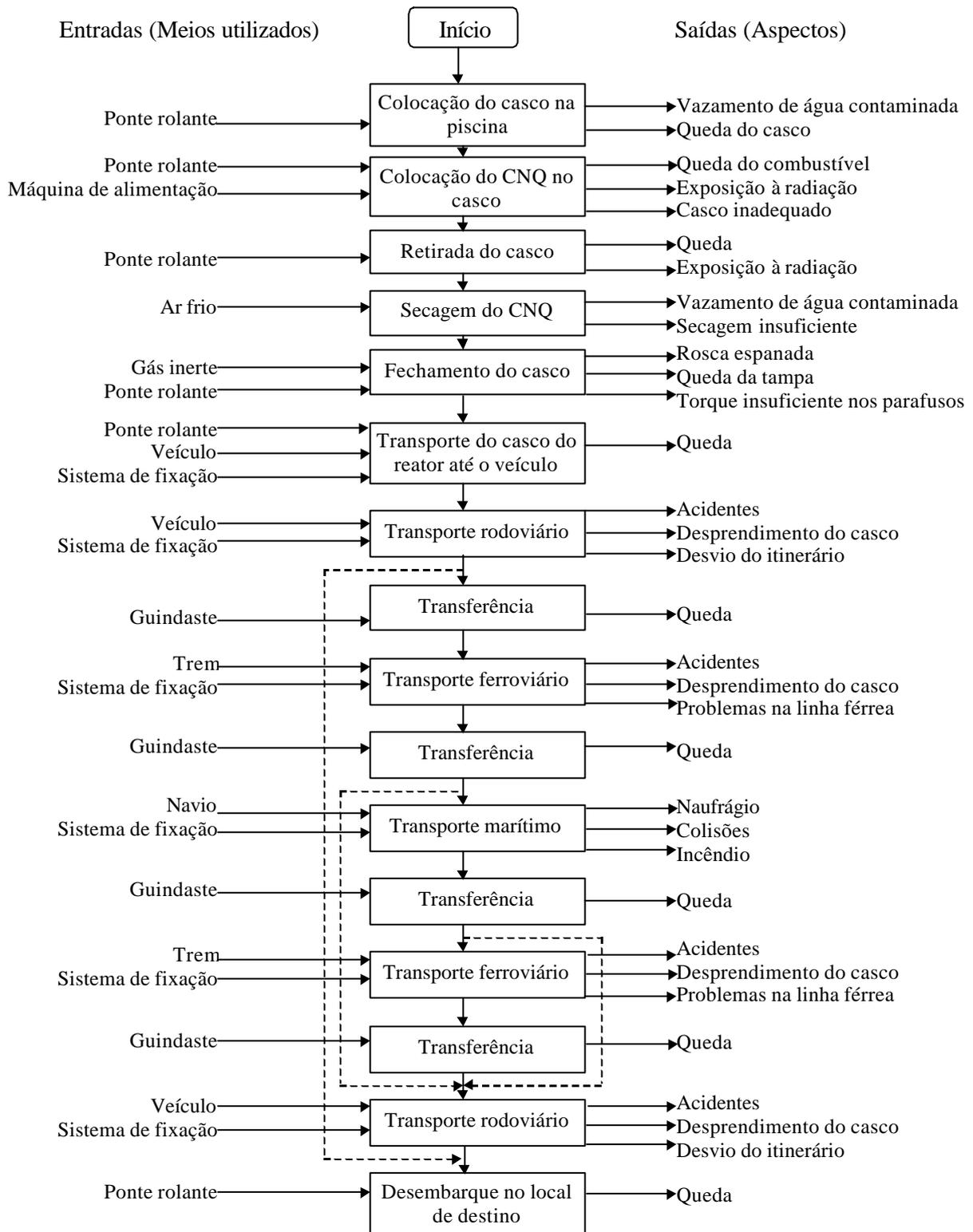
### **2.2 Aspectos e Impactos Ambientais**

Pela própria definição existente na Norma ISO 14001, *aspectos* são os elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que podem interagir com o meio ambiente e *impactos ambientais* são quaisquer modificações no meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, num todo ou em parte, dos aspectos ambientais de uma organização. Pode-se tomar como exemplo de um aspecto ambiental, a liberação de radionuclídeos através de uma trinca na tampa de um casco de transporte, advindo de um acidente em uma rodovia, que resulte em impacto ambiental pela contaminação radiológica do ar, da água e/ou do solo.

### **2.3 Transporte do CNQ**

O transporte do CNQ do reator até o local de armazenagem provisória é um processo que envolve várias fases e é necessário cuidado para que não haja liberação de material radioativo no meio ambiente. Este processo pode ser dividido nas seguintes fases: colocação do casco de transporte na piscina do reator; colocação do CNQ no casco; retirada do casco carregado da piscina; secagem do CNQ dentro do casco; fechamento; transferência do casco até o meio de transporte; o próprio transporte; e o desembarque do casco no local de destino.

Na Fig. 1 é apresentado um diagrama, com as diversas fases do processo de transporte, indicando os meios utilizados e os aspectos gerados em cada fase [7]. Os meios utilizados são os equipamentos que podem propiciar o aparecimento de um aspecto.



**Figura 1. Aspectos ambientais no transporte de CNQ.**

## **2.4 Aspectos Durante as Fases do Processo**

A principal garantia de segurança no transporte de CNQ é o projeto de acondicionamento, que deve levar em conta acidentes potenciais, também chamados aspectos.

### **2.4.1 Colocação do casco de transporte na piscina do reator**

O casco, totalmente limpo e livre de impurezas, é introduzido cuidadosamente, por meio de uma ponte rolante, no interior da piscina de armazenagem de CNQ, de modo que este ao ser inserido não fique exposto ao ar ambiente. Deve haver espaço suficiente para a colocação do casco na piscina. Um primeiro aspecto é a possibilidade de queda do casco na própria piscina, espalhando água no recinto ou, em caso mais grave, a queda do casco sobre o que pode causar dano ao invólucro e até provocar um evento de criticalidade.

### **2.4.2 Colocação dos elementos combustíveis no casco**

Cada elemento CNQ deve ser introduzido cuidadosamente no casco, sem choques que possam causar alterações na sua geometria interna, e possíveis problemas de rompimento no próprio elemento que está sendo armazenado. A introdução do CNQ é feita através de uma máquina de reabastecimento. A inadequação do CNQ ao casco e a retirada do CNQ além da blindagem de água permitindo a exposição de radiação no ambiente, são aspectos ambientais.

### **2.4.3 Retirada do casco com combustível da piscina do reator**

Após a emersão do casco carregado da piscina, o espaço interno ainda permanece preenchido com água. Após a colocação da tampa, a água deve ser drenada desse conjunto e se for considerada efluente de acordo com a norma CNEN NE 6.05, poderá ser desprezada no sistema de descarga. Outro aspecto é a possibilidade de queda do casco na própria piscina, que pode provocar espalhamento da água no recinto; ou ainda, a queda do casco sobre o piso que pode danificá-lo.

### **2.4.4 Secagem do CNQ**

Antes que o casco seja totalmente lacrado, a parte interna deve ser seca. A operação de secagem deve evitar que água residual dentro do casco, após o fechamento, se transforme em vapor (por causa do calor gerado pelo CNQ), ocasionando aumento de pressão interna ou oxidação do CNQ.

### **2.4.5 Fechamento do casco**

A tampa é aparafusada ao casco de modo a impedir abertura acidental e liberação de radioatividade. Um acidente durante o fechamento do casco, como a queda da tampa, pode afetar as características dimensionais da mesma e não proporcionar uma boa vedação.

### **2.4.6 Transferência do casco até o meio de transporte**

O casco vedado é içado por uma ponte rolante para fora do prédio do reator, sendo transferido para outra ponte externa que o conduz até o veículo de transporte. Nesta fase pode ocorrer a queda do casco e em caso de rompimento, uma eventual liberação de radioatividade.

## **2.4.7 Transporte**

Esse é o ponto mais importante e sensível da operação e potencialmente mais sujeito a acidentes até o destino.

A forma de transporte mais simples é realizada colocando-se o casco diretamente, na horizontal ou na vertical, em um veículo reboque especial rodoviário e transportando até o seu destino. Porém, o transporte pode envolver vários veículos, atingindo uma maior complexidade como: colocação do casco com CNQ em um veículo de transferência; transporte até o veículo reboque especial rodoviário e transferência do casco para este; transporte via rodoviária até uma estação ferroviária; realização de uma nova transferência do casco para um vagão ferroviário por meio de guindastes ou pontes rolantes; transporte via férrea até uma estação portuária; embarque do casco, por meio de guindastes, para um local específico de um navio adaptado; transporte via marítima ao porto de destino; realização das operações de desembarque do navio, colocando o casco em um vagão especial, ou em um veículo rodoviário, transportando o CNQ até o destino final ou provisório. Esses fluxos podem ser ainda mais complexos dependendo da malha de transporte do país.

Toda operação de embarque e desembarque requer equipamentos e pessoal especializado, visto o perigo de liberação de radioatividade e do elevado peso do casco. A amarração dos cascos nos veículos rodoviários e plataformas ferroviárias deve ser muito confiável, utilizando-se métodos experimentados de amarração.

No transporte rodoviário e ferroviário, além do estado do veículo transportador, deve ser levada em conta a condição da malha viária, condições climáticas e tudo mais que possa causar acidentes. É de grande valia a execução de verificações no veículo transportador, pois além da vistoria, propicia a realização de manutenções preventivas e corretivas. O motorista deve ser habilitado, com experiência suficiente no transporte de cargas pesadas e perigosas.

No transporte marítimo, a probabilidade de ocorrência de colisões é menor, apesar de acontecerem em virtude do tráfego existente próximo aos portos, e deve-se também, levar em consideração, as condições climáticas que podem ocasionar naufrágios. Nunca houve acidentes graves com ruptura ou vazamento dos cascos contendo CNQ [8]. Os navios de transporte são projetados de modo a resistir a colisões laterais com navios petroleiros. Em caso de naufrágio, o casco ainda permaneceria por muito tempo preservado, de modo que sua recuperação seja possível, já que na instrumentação são incluídas bóias de localização monitoradas. Outro aspecto importante no transporte é a possibilidade de sabotagens, roubos e atos terroristas, que apesar de difícil ocorrência, nos dias de hoje, não devem ser desprezados.

## **2.4.8 Desembarque no local**

Após a chegada do casco no destino, ele deve ser desembarcado através de pontes rolantes e conduzido ao local de armazenagem. Para a armazenagem em uma instalação provisória, deve ser levado em conta o seu tipo, via seca ou úmida.

## **2.5 Cascos de Transporte**

No mundo existe uma grande variedade de cascos, licenciados e outros ainda em fase de testes; cascos leves, de 25.000 a 40.000kg, projetados para confinar de um a sete conjuntos combustíveis, transportados por veículos rodoviários, até os mais pesados, como os de 120.000kg, que carregam acima de 36 conjuntos de combustível por via férrea [9].

Geralmente, esses cascos são cilíndricos com paredes de aço e/ou concreto, construídos de modo a proteger o ambiente externo das radiações gama e de nêutrons emitidas pelo CNQ, bem como a preservar sua integridade estrutural. O calor gerado pelo CNQ deve ser dissipado passivamente, pois outro método mecânico pode ficar inoperante em caso de acidente [10].

Os cascos de transporte devem ser licenciados por um organismo certificador, obedecendo ao prescrito em normas. Alguns ensaios incluídos para o licenciamento são: queda, colisões em plataformas ferroviárias e com outros veículos; imersão, incêndio e como condição de aprovação não deve haver infiltrações, vazamentos ou liberação de radioatividade [11].

### 3. CONCLUSÕES

Os aspectos ambientais devem ser considerados com o objetivo de evitar a ocorrência de um impacto de grande magnitude durante o transporte de combustível nuclear queimado. O método de abordagem destes aspectos ambientais ocorreu com a divisão do processo de transporte em várias fases, estudando-se, posteriormente, cada uma isoladamente. Os aspectos podem variar com relação aos aqui abordados em razão dos variados tipos de cascos e locais de armazenagem provisória utilizados. O transporte de CNQ tem se mostrado seguro, nos últimos 30 anos não ocorreu acidentes significativos com liberação de radiação. Os pontos chaves, para que sejam evitados quaisquer tipos de acidentes de transporte, com danos ao homem e ao meio-ambiente são os tipos de cascos utilizados, aliados ao treinamento do pessoal envolvido, atendimento à ISO 14000 e a manutenção preventiva dos equipamentos.

### REFERÊNCIAS

1. "Uranium Information Center Ltd - Nuclear Issues Briefing Paper # 51" - <http://www.uic.com.au/nip51.htm> (2003)
2. Comissão Nacional de Energia Nuclear, *Gerência de Rejeitos Radioativos em Instalações Radiativas – Norma NE 6.05*, CNEN, Brasil (1985).
3. International Atomic Energy Agency, *Storage, Handling and Movement of Fuel and Related Components at Nuclear Power Plants– Technical Reports Series 189*, IAEA, Vienna, Austria (1979)
4. Comissão Nacional de Energia Nuclear, *Transporte de Materiais Radioativos – Norma NE 5.01*, CNEN, Brasil (1988).
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso – Norma ABNT NBR ISO 14001*, ABNT, Brasil, (2004).
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas, *Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio – Norma NBR ISO 14004*, ABNT, Brasil, (1996)
7. L. A. A. Moura, *Qualidade e Gestão Ambiental: sugestões para implantação das normas ISO 14000 nas empresas*, Editora Juarez de Oliveira, São Paulo, Brasil (2002).
8. "World Nuclear Association" <http://www.world-nuclear.org/info/inf20.htm> (2003).
9. "U.S. Nuclear Regulatory Commission" <http://www.nrc.gov/waste/spent-fuel-storage/diagram-typical-trans-cask-system.doc> (2003).
10. J. T. Long, *Engineering for Nuclear Reprocessing*, American Nuclear Society, USA, (1978).
11. R. Cochran, N. Tsoulfanidis, *The Nuclear Fuel Cycle: Analysis and Management*, American Nuclear Society, USA, (1999).