

3 A Tecnologia Nuclear de Uso Dual

O Tratado de Não-Proliferação Nuclear representava uma barganha entre três partes: Os Estados Nucleares, que se comprometiam com um desarmamento nuclear; os Estados não-nucleares, que se comprometiam a não adquirir armas nucleares; e um acordo global entre todos os Estados-parte, que buscariam a cooperação para o uso pacífico da energia nuclear⁹².

Com a crise do petróleo em 1970, o interesse pela tecnologia nuclear cresceu, e as preocupações com a difusão de tecnologia sensível pelo mundo começaram a aumentar. Ao mesmo tempo em que se buscava um maior controle da não-proliferação dos materiais nucleares, os países em desenvolvimento defendiam o seu direito de acesso à tecnologia nuclear pacífica. A principal discussão sobre a não-proliferação nuclear centrava-se no entrave que a falta de acesso aos materiais nucleares poderia causar nos países em desenvolvimento.

Em 1971, foi formado um grupo de países exportadores de materiais nucleares para redigir uma lista dos materiais que deveriam estar sob as salvaguardas da AIEA quando passados a um país não-nuclear. O grupo, chamado de Comitê *Zanger*, foi o primeiro grande acordo dos exportadores nucleares sobre a regulação do comércio nuclear.

A explosão nuclear realizada pela Índia em 1974 e a crescente busca pela aquisição de tecnologia nuclear levaram a uma nova preocupação em relação à eficiência dos controles de exportações e transferências de tecnologias nucleares. Assim, em 1975, foi criado o Grupo dos Exportadores Nucleares (GEN) que teria como objetivo a coordenação da legislação sobre as exportações de materiais, equipamentos e tecnologias nucleares aos países que ainda não a possuísem.⁹³

A criação do Comitê *Zanger* e do GEN permitiu que padrões para as transferências nucleares pudessem ser estabelecidos, refletindo a concordância desses países de que era necessário restringir as exportações de materiais sensíveis. Durante a conferência de Revisão do TNP, em 1975, os países possuidores de tecnologia nuclear defenderam a necessidade de restringir o acesso

⁹² Joseph, Lance. “*Multilateral approaches to the nuclear fuel cycle*”, Lowy Institute for international policy, August 2005, pg 1.

⁹³ Ruchkin, S.V., Loginov, V.Y, “*Securing the nuclear fuel cycle: What next?*” in AIEA bulletin 48/I, September 2006.

às tecnologias nucleares sensíveis. Por outro lado, os países não-possuidores de tecnologia nuclear defendiam o acesso irrestrito às tecnologias nucleares para fins pacíficos e o cumprimento do artigo quarto do Tratado de Não-Proliferação Nuclear.

O resultado da primeira conferência de revisão do TNP foi uma disputa entre os Estados não-nucleares, que desejavam que as cinco potências cumprissem com a redução dos arsenais estabelecido no Tratado, bem como o acesso à tecnologia nuclear aos não-nucleares, e os Estados Nucleares que, preocupados com a proliferação, desejavam aumentar as restrições aos materiais atômicos.

A principal preocupação estava focada na descoberta e domínio do ciclo da energia nuclear, especialmente na etapa do enriquecimento de urânio. O urânio enriquecido é a matéria prima utilizada para a geração de energia. Uma vez que a tecnologia de enriquecimento de urânio é dominada, ela poderá ser utilizada para fins pacíficos, como a simples geração de energia, ou para fins militares, como a produção de armas nucleares. Outra matéria prima para o desenvolvimento de armas nucleares é o plutônio, que pode ser obtido no lixo nuclear.

As últimas décadas trouxeram enormes desafios ao TNP. Além dos casos já citados neste trabalho, – como a Coreia do Norte e o Iraque, que demonstraram ser possível explorar os benefícios da cooperação nuclear pacífica, prevista no TNP, para desviar seu uso para fins militares – surge a preocupação sobre a aquisição de armas de destruição em massa por grupos não-estatais. A possibilidade de que grupos terroristas possam ter acesso à tecnologia nuclear, por meio da transferência ilegal de tecnologia, fez com que os países nucleares buscassem controlar ainda mais a transferência e o desenvolvimento de materiais nucleares.

3.1

Enriquecimento de Urânio⁹⁴

O urânio é um elemento encontrado na natureza que serve de matéria prima tanto para o combustível nuclear, que permite a geração de energia elétrica, como para a fabricação de armas nucleares. O urânio está presente na natureza em uma mistura de três isótopos:⁹⁵

U^{234} : um componente altamente radioativo encontrado no urânio natural, mas que não tem nenhuma aplicação nuclear.

U^{235} : único material físsil⁹⁶ que ocorre na natureza em quantidades significantes.

U^{238} : isótopo mais encontrado na natureza. 99,2% do urânio natural é desse tipo. No entanto, não é físsil. O U^{238} pode ser separado através de uma descarga de nêutrons, liberando uma enorme quantidade de energia, conhecida como reação de fissão nuclear em cadeia⁹⁷, que posteriormente pode ser usada como combustível nuclear para usinas term nucleares, de hidrogênio e bombas atômicas.

Para ser possível a ocorrência de uma reação de fissão nuclear em cadeia é necessário haver quantidade suficiente de U^{235} , que é fissionada por nêutrons de qualquer energia. O nêutron, ao atingir um núcleo de urânio, provoca sua quebra em dois núcleos menores e a liberação de mais nêutrons que, por sua vez, irão atingir outros núcleos e provocar novas quebras, liberando grande quantidade de

⁹⁴ Esta seção foi feita com base nos seguinte trabalhos:

1. *Manual de No Proliferacion Nuclear*, Gary Gardner;
2. *Uranium Enrichment – Just Plain facts to Fuel an Informed debate on Nuclear Proliferation and Nuclear Power*, Aijum Makhijan, Lois Chalmers, Brice Smith in: Institute for Energy and Enviromental Resarch, www.ieer.org, acesso em 12 de agosto de 2008;
3. *Seminário Internacional: Energia Nuclear como Alternativa Sustentável?* Realizado em 06/07 de dezembro de 2007 na cidade do Rio de Janeiro;
4. www.cnen.gov.br, acesso em 14 de agosto de 2008.
5. www.inb.gov.br acesso em 14 de agosto de 2008

⁹⁵ Isótopos são átomos de um mesmo elemento químico que possuem massas diferentes. Os isótopos do Urânio possuem as mesmas propriedades químicas, mas diferentes propriedades nucleares.

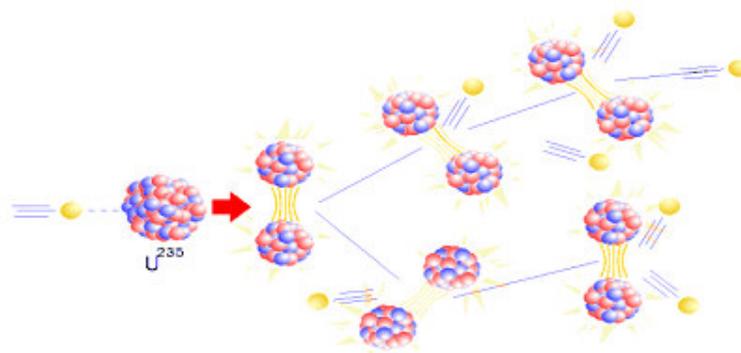
⁹⁶ Matérias físeis são aqueles que podem sofrer fissão nuclear. O evento crucial para controlar a energia nuclear é a divisão do átomo. Essa ação, conhecida como fissão nuclear, libera uma enorme quantidade de energia que dependendo de sua intensidade pode apenas gerar energia elétrica ou criar uma explosão de altas proporções.

⁹⁷ Em cada reação de fissão nuclear resultam dois a três nêutrons, como conseqüências da absorção do nêutron que causou a fissão. Torna-se, então, possível que esses nêutrons atinjam outros nêutrons de urânio 235, sucessivamente, liberando muito calor. Esse processo é conhecido como reação de fissão nuclear em cadeia.

energia. Se a velocidade dessa reação em cadeia não for controlada, a reação ocorre muito rapidamente (em menos de 1 segundo), liberando enorme quantidade de energia. É o que acontece, por exemplo, na explosão da bomba atômica. Mas se a reação for controlada, como ocorre num reator, é possível aproveitar a energia liberada.⁹⁸

A figura a seguir demonstra, de maneira esquemática, a reação de fissão nuclear em cadeia.

Figura 1. Reação de fissão nuclear em cadeia⁹⁹



Em alguns tipos de reatores é necessário haver a proporção de 32 átomos de U^{235} para 968 átomos de U^{238} , em cada grupo de 1000 átomos de urânio, ou seja, 3,2% de U^{235} . O urânio encontrado na natureza precisa ser tratado industrialmente, com o objetivo de elevar a proporção (ou concentração) de U^{235} para U^{238} de 0,7%¹⁰⁰ para 3,2%. O processo físico de retirada de U^{238} do urânio natural, aumentando, em consequência, a concentração de U^{235} , é conhecido como Enriquecimento de Urânio. Foram desenvolvidos diversos processos de enriquecimento de urânio, entre eles o da Difusão Gasosa e da Ultracentrifugação (em escala industrial), Jato Centrífugo (em escala de demonstração), e um processo a Laser. No Brasil, o método utilizado é o da Ultra-centrifugação.

⁹⁸ Mello, Paula Homem, “Radioatividade e a polêmica história das suas aplicações”, in: www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_32/docs/EraumavezABRIL.doc, acesso em 14 de agosto de 2008.

⁹⁹ www.cnen.gov.br, acesso em 14 de agosto de 2008.

¹⁰⁰ Nível Natural de U^{235} .

Reatores de água leve utilizam 3 a 5% de urânio enriquecido, isto é, de U^{235} , sendo o resto U^{238} . Matérias com essa quantidade de urânio são chamadas de Urânio Enriquecido em baixa porcentagem (*Low Enriched Uranium* ou LEU).

Bombas atômicas não podem ser feitas de urânio natural ou de Urânio enriquecido em baixa porcentagem. A proporção de U^{235} é muito pequena para produzir uma reação de fissão nuclear em cadeia crítica. O Urânio deve ser enriquecido em no mínimo 20% para poder ser utilizado como matéria prima para a bomba. No entanto, uma bomba feita com essa quantidade de urânio enriquecido seria grande demais para ser lançada, necessitando enormes quantidades de urânio e ainda mais de materiais explosivos para se tornar uma massa crítica.

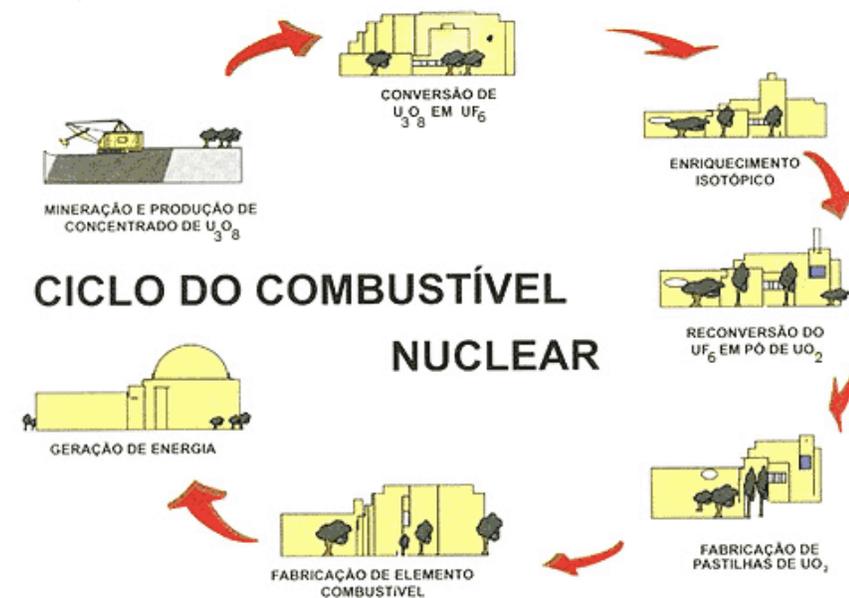
Dessa forma, para criar uma bomba atômica viável é necessário enriquecer urânio a no mínimo 90%. Materiais enriquecidos nessa porcentagem são chamados de urânio altamente enriquecidos (*High enriched Uranium* ou HEU). Os mesmos processos e os mesmos equipamentos utilizados para enriquecer urânio em baixa porcentagem também são utilizados para enriquecer urânio em alta porcentagem. Assim, toda a tecnologia utilizada para enriquecimento de urânio é uma potencial fonte de proliferação de armas nucleares. Por conta da dualidade dessa tecnologia é que a sua proliferação tem se tornado tão controversa nos últimos anos. Algumas formas de enriquecer urânio são mais difíceis de detectar que outras, aumentando a preocupação com o surgimento de programas clandestinos que não passam pelas vistorias, monitoração e salvaguardas da AIEA.

A tecnologia dual gera desconfiança por si só e, conforme será demonstrado no próximo capítulo, a AIEA ainda possui diversos entraves para conseguir realizar o seu trabalho de forma totalmente eficaz. Nas etapas de extração e conversão é muito difícil que o urânio consiga ser desviado para fins militares, uma vez que nessas etapas ele ainda não atingiu o grau necessário para prover uma reação em cadeia crítica capaz de promover uma explosão nuclear. Nas demais etapas do ciclo do combustível, enriquecimento, fabricação de combustível, reprocessamento e produção de água pesada, o risco de desvio de material para fins militares é muito maior, tendo em vista que nessas etapas é possível produzir urânio com alto grau explosivo¹⁰¹.

¹⁰¹ Gary Gardner, *Manual de No Proliferacion Nuclear*, 1994, Instituto de Investigaciones Culturales Latinoamericanas.

Na figura 2, observamos as etapas do ciclo do combustível nuclear.

Figura 2. Ciclo do Combustível Nuclear¹⁰²



A figura 3 apresenta a capacidade de enriquecimento de urânio de alguns dos Estados enriquecedores de urânio. Na tabela abaixo podemos observar todos os Estados que possuem capacidade para enriquecer urânio para fins comerciais e/ou para fins militares.

¹⁰² Comissão Nacional de Energia Nuclear

Figura 3. Capacidade Mundial de Enriquecimento de Urânio.¹⁰³

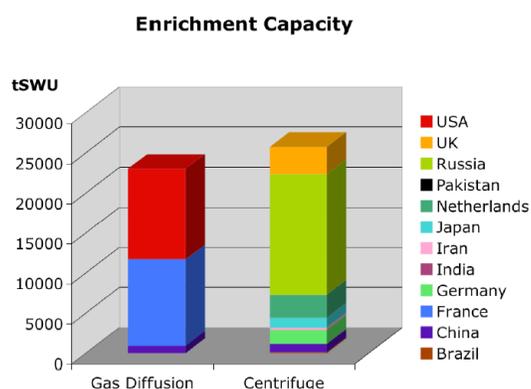


Tabela 1. Enriquecimento de Urânio no mundo.¹⁰⁴

Enriquecimento de Urânio no Mundo		
	Comercial	Militar
Alemanha	Sim	Não
Argentina	Em construção	Não
Brasil	Sim	Não
China	Sim	Sim
Estados Unidos	Sim	Sim
Grã Bretanha	Sim	Sim
Holanda	Sim	Não
França	Sim	Sim
Índia	Programa Experimental de Enriquecimento de Urânio	Sim*
Irã	Sim	Desconhecido
Iraque	Parado	Não
Israel	Programa Experimental de Enriquecimento de Urânio	Sim*
Japão	Sim	Não
Paquistão	Não	Sim
Rússia	Sim	Sim

* Enriquecem a partir de PU-239

Fonte: <http://www.wise-uranium.org/>

Como se pode observar, os únicos países que possuem capacidade de enriquecimento de urânio, além das cinco potências nucleares e de Índia, Israel e Paquistão, são Alemanha, Argentina, Brasil, Irã, Iraque, Japão e Holanda. O programa de enriquecimento do Iraque foi interrompido após a descoberta das atividades nucleares ilegais. Os programas nucleares de Alemanha, Argentina,

¹⁰³ FALK, Jim, BODMAN Roger, Uranium Enrichment, in: www.energyscience.org.au, acesso em 12 de dezembro de 2008

¹⁰⁴ <http://www.wise-uranium.org/>, acesso em 15 de dezembro de 2008

Brasil, Irã, Japão e Holanda serão objeto de análise desta dissertação no capítulo 5.

Plutônio

O urânio enriquecido não é o único material nuclear que gera problemas para a não-proliferação. A utilização do plutônio como matéria prima para bombas nucleares também é alvo das atividades de verificação e das preocupações mundiais.

O plutônio não é encontrado na natureza e é um subproduto do uso do urânio. Existem diversos tipos de isótopos de urânio, Pu^{238} , Pu^{239} , Pu^{240} e Pu^{241} , e todos os tipos são radioativos¹⁰⁵. Quando produzem eletricidade, as usinas nucleares geram plutônio. Ele fica contido no combustível nuclear irradiado, que resulta da operação de um reator nuclear.

Em alguns países, o combustível nuclear irradiado é quimicamente dissolvido em um processo chamado de reprocessamento, no qual o urânio e o plutônio são separados do resto do lixo atômico contido no combustível.

O plutônio é formado quando o núcleo de um átomo de urânio captura um ou mais nêutrons, modificando a estrutura atômica e criando um novo elemento. Esse processo ocorre dentro de um reator nuclear e envolve a transformação de U^{238} em plutônio.

Existem dois tipos de plutônio que devem ser considerados: os de reatores e os de armas. O plutônio de reator é aquele que resulta do combustível nuclear irradiado num processo com duração de três anos. O plutônio para ser utilizado em armas tem que ser fabricado com essa finalidade, e é produzido do urânio que foi irradiado durante dois ou três meses.

Os dois tipos de plutônio são distintos em sua composição isotópica, mas são igualmente considerados como riscos à não-proliferação. A AIEA considera todos os tipos de plutônio como materiais potenciais para a fabricação de bombas atômicas, portanto todos os isótopos de plutônio devem estar sob as salvaguardas da agência.

Ainda que o plutônio seja usado basicamente na construção de armas, houve várias tentativas de empregá-lo como combustível em reatores nucleares. A

¹⁰⁵ US Department of energy, in: www.energy.gov/, acesso em 20 de março de 2009.

primeira vez que o plutônio foi produzido em grandes quantidades foi na década de 1940, como parte do projeto americano de criar bombas atômicas. A produção continuou durante a Guerra Fria.

A dificuldade de acesso ao urânio durante as décadas de 60 e 70 fez com que surgisse o processo de reprocessar o plutônio – produzido pelos reatores nucleares – “*para empregá-lo como combustível de uma nova geração de reatores, chamados de geração rápida. Acreditava-se que esses reatores, além de produzir energia, também gerariam mais plutônio do que o usado originalmente como combustível*”¹⁰⁶.

Enquanto nos Estados Unidos foi proibido o uso da tecnologia de reprocessamento, países como França, Japão e Reino Unido prosseguiram nesse caminho. A França opera, hoje, a maior usina desse tipo no mundo, prestando serviços não só para os reatores franceses, mas também para o Japão, Suíça, Bélgica e Alemanha. “*Elementos combustíveis contendo plutônio e urânio provenientes do reprocessamento são regularmente usados em reatores na França e Japão*”.¹⁰⁷

3.2 Aplicações da energia nuclear para fins pacíficos¹⁰⁸

Os materiais nucleares podem ser utilizados para outras finalidades que não a construção de armas e a geração de energia. A medicina, a indústria e a agricultura são as áreas mais beneficiadas pela energia nuclear. Os isótopos radioativos, radioisótopos, devido à propriedade de emitirem radiações, têm vários usos. Os radioisótopos oferecem aos pesquisadores, engenheiros e médicos, fontes

¹⁰⁶ Greenpeace, in: www.greenpeace.org/brasil/nuclear, acesso em 20 de março de 2009

¹⁰⁷ Dantas, Vera. O destino dos rejeitos radioativos, in: *Revista Brasil Nuclear*, ano 14, n.34, 2008, disponível em: http://www.aben.com.br/html/revista.php?Nu_Revista=34, acesso em 17 de dezembro de 2008.

¹⁰⁸ Esta seção foi realizada utilizando os seguintes trabalhos:

Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN - <http://www.cnem.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>, acesso em 14 de agosto de 2008

ALMEIDA, Elizabeth, TAUHATA, Luiz, *Radiações Nucleares: usos e cuidados*, Comissão nacional de energia nuclear – CNEN, 1984

Mello, Paula Homem, “Radioatividade e a polêmica história das suas aplicações”, in: www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_32/docs/EraumavezABRIL.doc, acesso em 14 de agosto de 2008.

versáteis de radiação atômica, tornando-se um dos instrumentos de maior importância para a ciência, indústria, agricultura e medicina.

Medicina Nuclear

Pela absorção da energia das radiações (em forma de calor) células ou pequenos organismos podem ser destruídos. Essa propriedade, que é inconveniente para os seres vivos, pode ser usada em seu benefício, quando empregada para destruir células ou microorganismos nocivos. A Medicina Nuclear é a área que utiliza os radioisótopos, tanto em diagnósticos como em terapias. Os raios x também advêm de radiações.

Radioterapia

A radioterapia teve origem na aplicação do elemento rádio para destruir células cancerosas. Posteriormente, outros radioisótopos passaram a ser usados, apresentando um maior rendimento.

Agricultura

É possível acompanhar, com o uso de traçadores radioativos, o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e onde um determinado elemento químico fica retido.

A “marcação” de insetos com radioisótopos também é muito útil para a eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável. Nesse caso o predador é utilizado ao invés de inseticidas nocivos à saúde.

Em defesa da alimentação e do meio ambiente também é possível determinar se um agrotóxico fica retido nos alimentos ou quando vai para o solo, para a água e para a atmosfera. Ainda no campo dos alimentos, uma aplicação importante é a irradiação para a conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão.

Indústria

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamafria industrial. Os fabricantes de válvulas usam a

gamafria na área de controle de qualidade para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças.

A indústria farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável.

3.3 Proliferação de Tecnologia Dual no século XXI

3.3.1 Terrorismo

Em janeiro de 1992, a proliferação de armas nucleares, químicas e biológicas foi considerada uma ameaça à paz e à segurança internacional pelo Conselho de Segurança das Nações Unidas - CSNU. No entanto, isso foi apenas uma declaração emitida pelo CSNU, não tendo sido concretizada nenhuma resolução a esse respeito.

As preocupações sobre a segurança das armas nucleares e materiais físséis aumentaram nas últimas décadas devido ao número de alegações sobre tráfico ilícito de materiais radioativos, ao problema crônico de segurança nas instalações nucleares da Rússia e outras ex-repúblicas soviéticas, às afirmações de que grupos terroristas desejam adquirir materiais nucleares, e às preocupações de ataques terroristas a instalações nucleares civis.¹⁰⁹

Os ataques terroristas de 11 de setembro de 2001 trouxeram uma mudança significativa para os esforços internacionais para combater a proliferação de armas de destruição em massa. A questão da proliferação envolvendo atores não-estatais não constava na agenda internacional até então:

*“Depois de setembro de 2001 ficou óbvio que os esforços de não-proliferação tinham que incluir os atores não-estatais em seu âmbito, além da evidência do nexo entre terrorismo e a capacidade destrutiva das armas de destruição em massa”.*¹¹⁰

¹⁰⁹ Weapons of Mass Destruction Commission, final report, “*Weapons of Terror: freeing the world of nuclear, biological and chemical arms*”, Stockholm, Sweden, 1 June 2006, pg 84.

¹¹⁰ AHLSTROM, Christer, “United Nation Security Council Resolution 1540: non proliferation by means of international legislation”, in: *SIPRI 2007 Year book: armaments, disarmament and International Security*, Oxford University Press, 2007, pg 460.

Peter Beckman, Paul Crumlish, Michael Dobkowski e Steven Lee (2000) definem terrorismo nuclear como a posse e o uso – ou ameaça do uso – de armas nucleares por um grupo de indivíduos ou por um indivíduo agindo independentemente de um Estado, os quais, por meio do uso ou da ameaça de uso da violência, desejam atingir objetivos políticos. Os autores colocam ainda que, apesar de dizerem que pode ser um indivíduo agindo independente de um Estado, isso não implica afirmar que eles não estejam recebendo assistência de um governo estatal ou coordenando suas atividades com as de algum país.¹¹¹

A criação de um comitê *ad hoc* contra a proliferação de armas de destruição em massa pelos EUA, a revelação de que A.Q Khan, cientista paquistanês, estava envolvido em uma rede internacional clandestina de transferências de tecnologia de armas nucleares do Paquistão para a Líbia, o Irã e a Coréia do Norte e as crescentes preocupações sobre as brechas dos mecanismos de verificação de armas biológicas reforçaram a urgência de manter as armas de destruição em massa longe das mãos erradas.¹¹²

Para que uma arma nuclear seja construída são necessárias duas coisas: material físsil e conhecimento tecnológico. A produção de urânio enriquecido ou plutônio é altamente custosa e difícil, necessitando de uma infra-estrutura que apenas Estados deveriam possuir. Contudo, foi percebido nas últimas décadas que os sistemas de segurança das instalações nucleares de diversos países não possuíam o controle necessário, permitindo que terroristas pudessem ter acesso aos materiais nucleares bem como às armas nucleares.

De acordo com a *Comissão de Armas de Destruição em Massa*,¹¹³ o primeiro passo para prevenir o terrorismo nuclear é evitar que os terroristas tenham acesso a materiais e armamentos nucleares, passo que requer a implantação de medidas de segurança em todos os lugares que existam ou possam existir esses materiais.

¹¹¹ Peter Beckman, Paul Crumlish, Michael Dobkowski e Steven Lee, *Nuclear Predicament, The Nuclear Weapons in the Twenty-First Century*. Upper sadler river:prentice hall, 2000.

¹¹² BOSCH, Olívia, VAN HAM, Peter, “*Global non proliferation and couter terrorismo: the impact of UNSCR 1540*”, Brooking Institution Press, Washigton DC, 2006. pg 6.

¹¹³ Weapons of mass Destruction comission, Op. Cit, pg 83

A Resolução 1540¹¹⁴ foi discutida em abril de 2004 com o objetivo de acabar com as inadequações das medidas existentes e o desafio de controlar a proliferação de Armas de Destruição em Massa – ADM – nas mãos de atores não-estatais. A Resolução 1540 não substituiu os tradicionais fóruns e processos para negociar tratados de não-proliferação e controle de armamentos. Como um mecanismo suplementar, reforça as normas, obrigações e requerimentos legais dos três grandes tratados de armas de destruição em massa: 1) Tratado de Não-Proliferação Nuclear - TNP, 2) Convenção de armas tóxicas e biológicas - BTWC¹¹⁵ e 3) Convenção das armas químicas - CWC¹¹⁶; bem como requer medidas efetivas para esses.

A Res1540 é uma medida de contra-proliferação, com foco nos atores não-estatais. Requer aos Estados, parte ou não dos tratados de não-proliferação, que criminalizem e reforcem as medidas contra a proliferação de armas para e por atores não-estatais.

Em 2005, a Assembléia-Geral das Nações Unidas adotou a Convenção Internacional para suprimir atos de terrorismo nuclear. Até abril de 2006, a Convenção contava com 102 assinaturas. Essa convenção afirma a necessidade de criminalização nacional dos atos de terrorismo nuclear e compromete as partes a cooperar internacionalmente com a prevenção, investigação e julgamentos de atos de terrorismo nuclear.

Os Estados com armas nucleares possuem seus próprios procedimentos para manter em segurança as armas nucleares. A maioria dos governos prefere lidar com essas ameaças de acordo com leis e políticas domésticas, apesar de a prevenção de terrorismo nuclear ser uma preocupação de todos os Estados. O que a Res1540 e a Convenção contra atos de terrorismo estabelecem é uma ação multilateral para prevenir a aquisição de artefatos nucleares por atores não-estatais. A AIEA também publicou uma lista de padrões comuns para o transporte de materiais nucleares, de acordo com a Convenção sobre a proteção física de

¹¹⁴ A Resolução 1540 decide que os Estados não devem fornecer nenhuma ajuda aos atores não estatais para desenvolver ou adquirir armas de destruição em massa; todos os Estados devem adotar leis efetivas que proibam atores não estatais de adquirir ou desenvolver armas de destruição em massa; todos os estados devem estabelecer medidas efetivas de controle doméstico para evitar a proliferação de armas de destruição em massa; estabelece a criação de um comitê que irá conferir o cumprimento das disposições da resolução. Fonte: RES1540 in: www.un.org.

¹¹⁵ BTWC – sigla do nome da convenção em inglês: Biological and Toxin Weapons Convention

¹¹⁶ CWC – sigla do nome da convenção em inglês: Chemical Weapons Convention

materiais nucleares. Na tabela abaixo estão listados todos os esforços multilaterais para prevenir o uso indevido de armas de destruição em massa.

Tabela 2. Esforços de Prevenção da Proliferação de ADM.¹¹⁷

Ano	Esforços de Prevenção da Proliferação de ADM
2001	Secretariado da AIEA preparou uma série de objetivos e princípios fundamentais para a proteção física das instalações nucleares. A AIEA também auxilia os Estados através do Serviço Internacional de Proteção Física, e desenvolveu um plano de ação contra o terrorismo nuclear apoiado por um orçamento extra do Fundo de Segurança Nuclear
2002	G8 estabeleceu a necessidade de conter a proliferação de armas e materiais de destruição em massa e reforçou a urgência de criar medidas apropriadas para a efetiva proteção física das instalações que contenham materiais nucleares.
2003	A AIEA aprovou um código de conduta sobre a segurança das fontes radioativas. A agência realizou diversos relatórios e adotou diversas resoluções sobre as medidas para garantir a segurança contra o terrorismo nuclear.
2004	O Conselho de Segurança das Nações Unidas adotou a resolução 1540, que requer que todos os Estados desenvolvam e mantenham medidas apropriadas e efetivas de proteção física das instalações nucleares.
2005	Os Estados Unidos investiram US\$ 5 bilhões nas atividades de desarmamento nuclear da Rússia, sendo que ¼ deste montante foi investido no aprimoramento da segurança nuclear.
2005	A Assembléia-Geral da ONU adotou a Convenção Internacional para suprimir os atos de terrorismo nuclear.
2006	Lançada a estratégia global contra o terrorismo. A estratégia, adotada em 8 de setembro de 2006, marca a primeira vez em que os diversos países concordaram com uma abordagem estratégica comum para lutar contra o terrorismo.

A possibilidade de desvio de artefatos nucleares para as mãos de atores não-estatais dificulta o acesso à tecnologia nuclear pacífica aos Estados não-possuidores de armas nucleares. A necessidade de controle desse tipo de material é urgente e necessária, mas a obstrução do desenvolvimento nuclear pacífico, direito garantido aos Estados não-nucleares pelo artigo quarto do TNP, gera inconformidade e revolta nesses Estados.

3.3.2 Energia

O aquecimento global constitui um dos maiores desafios do Século XXI. Diversas pesquisas e estudos realizados nessa área demonstram a urgente

¹¹⁷ Weapons of Mass Destruction Commission, final report, “Weapons of Terror: freeing the world of nuclear, biological and chemical arms”, Stockholm, Sweden, 1 June 2006, pg 84.

necessidade de se reduzir drasticamente as emissões de carbono e, assim, manter o impacto do aquecimento global dentro de limites ainda toleráveis.¹¹⁸ As emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis respondem pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. A geração de energia nuclear ocupa um papel crucial entre as tecnologias que poderiam contribuir para a redução das emissões.

A primeira geração de instalações nucleares foi criada sob a justificativa de amenizar a poluição causada pelas usinas que utilizavam os combustíveis fósseis como matéria-prima. A energia nuclear também era vista como uma forma de reduzir a dependência da geração de energia pelo petróleo. O aumento do preço dos barris de petróleo durante a década de 70 gerou um enorme incentivo econômico para a utilização da energia nuclear.

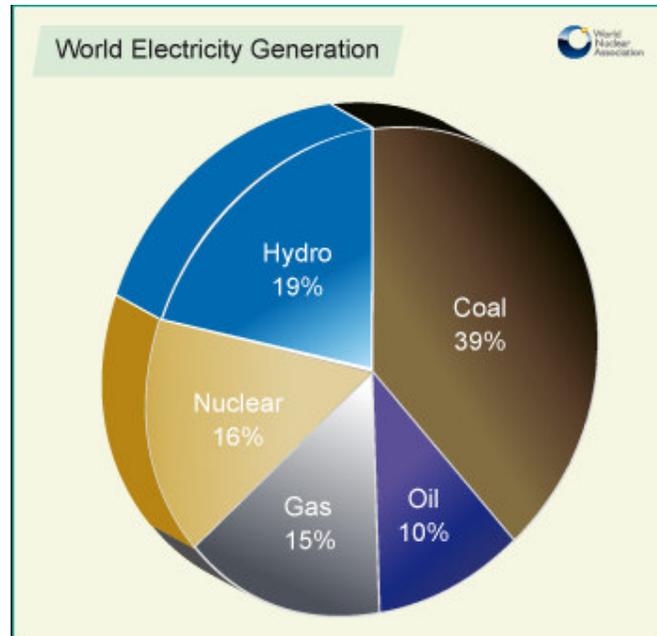
Diversos estudos mostraram que a energia nuclear é a que tem melhor relação custo/benefício quando se trata de geração de energia, custos e preservação do meio ambiente.¹¹⁹ No entanto, o emprego da energia nuclear é alvo de polêmica desde que foi introduzida no mercado de energia devido aos riscos que o desenvolvimento de sua tecnologia gera acidentes, como o caso de Chernobyll, o uso militar dos materiais nucleares e o terrorismo, citados anteriormente neste trabalho.

O aumento da população mundial gerou o crescimento da demanda mundial de energia e forçou o aparecimento de fontes não-convencionais, deslocando a atenção dos países para a necessidade de diversificar os meios de produção de energia.

As mudanças climáticas e os efeitos do aquecimento global fizeram com que os tomadores de decisão pensassem na possibilidade de substituir a geração de energia através de combustíveis fósseis, trocando por fontes de energia com baixa emissão de poluentes, como a energia nuclear, única alternativa capaz de produzir energia suficiente para a demanda da terra.

Atualmente, 64% da energia mundial vem de combustíveis fósseis, 16% de energia nuclear, 19% de hidrelétricas e 1% de outras fontes de energia renováveis, conforme mostrado na figura abaixo.

¹¹⁸ MATTHES, Felix, “*Energia nuclear e mudança climática*”, Fundação Heinrich Boll, 2005.

Figura 4. Fontes de Geração de Energia no Mundo.¹²⁰

Os problemas ambientais gerados pelas usinas que utilizam combustíveis fósseis demonstraram a necessidade de buscar alternativas que não contassem com fatores ambientais, como a necessidade de chuvas para as hidrelétricas, mas que também não contribuíssem para a poluição do meio ambiente. A opção pelo uso de outras fontes renováveis, como biomassa, eólica e solar é perfeita, no entanto de potencial bastante limitado. Essas fontes não podem ser únicas, mas sim complementares, considerando que não são capazes de gerar energia em larga escala.

O que se busca no cenário atual é uma fonte de energia com bom custo-benefício e que gere o menor dano possível à natureza. De acordo com relatório elaborado pela própria AIEA, a energia nuclear utiliza recursos naturais para a produção de energia, aumenta o capital humano e, quando bem administrada, gera pouco impacto nos ecossistemas.

¹¹⁹ AIEA, Nuclear Power and Sustainable Development, in: www.iaea.org/worldatom/programmes/energy/pess/pessindex.shtml, acesso em 11 de dezembro de 2008.

Atualmente, a energia nuclear é utilizada em sua maior parte por países industrializados, que são capazes de produzi-la e que são os grandes consumidores desse tipo de energia. A figura 5 apresenta as usinas nucleares existentes no mundo. Na tabela 3 está exposta a situação de cada uma das usinas em operação no mundo.

Figura 5. Usinas Nucleares no Mundo¹²¹



¹²⁰ World Nuclear Association, in: <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.html>, acesso em 20 de março de 2009.

¹²¹ www.inb.gov.br, acesso em 23 de agosto de 2008

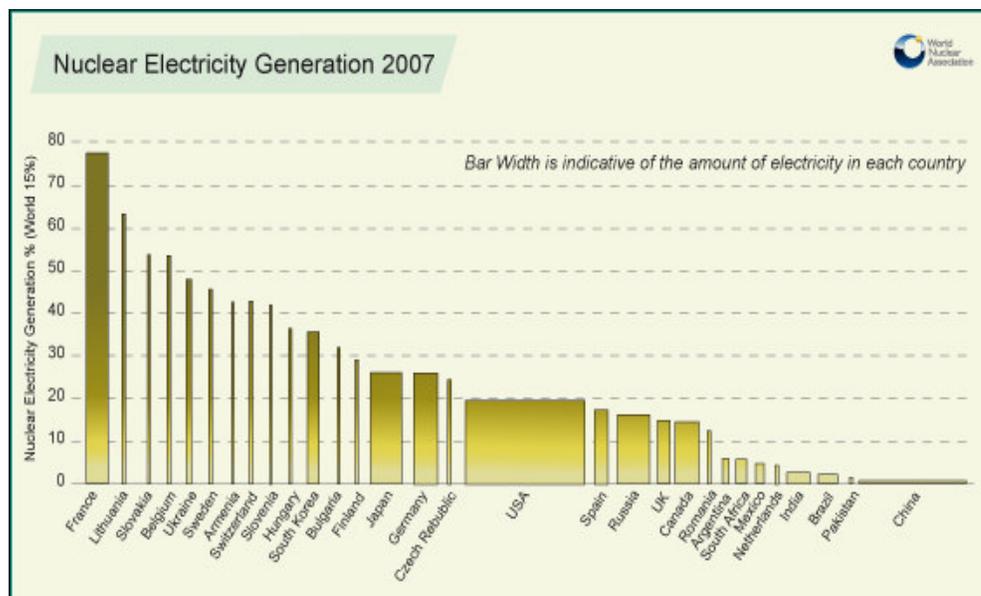
Tabela 3. Usinas nucleares em operação no mundo¹²².

País	Nº. de unidades em Operação	Capacidade de Geração MW	Nº. de unidades em construção	Capacidade de Geração MW
África do Sul	2	1800		
Alemanha	19	21122		
Argentina	2	935	1	692
Armênia	1	376		
Bélgica	7	5712		
Brasil	2	1855		
Bulgária	6	3538		
Canadá	14	9998		
China	3	2167	8	6420
China (Taiwan)	6	4884	2	2560
Coréia	16	12990	4	3820
Eslovênia	1	676		
Espanha	9	7512		
Estados Unidos	104	97411		
Finlândia	4	2656		
França	59	63073		
Grã-Bretanha	35	12968		
Holanda	1	449		
Hungria	4	1755		
Índia	14	2503		
Irã			2	2111
Japão	53	43491	3	3190
Lituânia	2	2370		
México	2	1360		
Paquistão	2	425		
República Eslovaca	6	2408	2	776
República Tcheca	5	2569	1	912
Romênia	1	650	1	650
Rússia	29	19843	3	2825
Suécia	11	9432		
Suíça	5	3192		
Ucrânia	13	11207	4	3800
Total	438	351327	31	27756

¹²² www.inb.gov.br, acesso em 23 de agosto de 2008

O gráfico abaixo demonstra a geração da energia nuclear em 2007.

Gráfico 2. Geração de Energia Nuclear em 2007.¹²³



Como se pode observar no gráfico 2, a maioria dos países que utiliza a energia nuclear são aqueles considerados desenvolvidos. África do Sul, Argentina, Brasil, Índia, México e Paquistão aparecem como produtores de energia, mas a sua contribuição para a geração de energia nuclear mundial ainda é bastante limitada.

A cadeia completa de energia nuclear, desde a extração de recursos até a construção de plantas, emite apenas de 2 a 6 gramas de carbono por kilowatt-hora. Isso é o mesmo que a energia solar e a eólica produzem.

A tabela 4 mostra uma comparação da emissão de CO₂ de acordo com a fonte de energia.

Tabela 4. Emissão de CO₂¹²⁴

Fontes	Emissão de CO ₂ por KW/hora
Carvão	955g
Óleo	818g
Gás	446g
Nuclear	4g

¹²³ World Nuclear Association, in: <http://www.world-nuclear.org/info/inf01.html>, acesso em: 20 de março de 2009.

Globalmente, a energia nuclear impede que 600 milhões de carbono sejam emitidos anualmente no meio ambiente, o mesmo que a energia hídrica. Nos países da OECD, a energia nuclear é responsável pelos últimos 35 anos de redução de emissões de carbono.

No entanto, as polêmicas em torno da energia nuclear são muitas. Os acidentes ocorridos em Chernobyl e em Three Mile Island geram discussões até hoje sobre a segurança das instalações nucleares. Além disso, organizações ambientais, como o Greenpeace, argumentam que:

“Para construir a usina, para extrair e enriquecer o urânio utilizado como combustível nuclear, para armazenar os rejeitos nucleares e desativar a usina ao final de sua vida útil, é necessária uma grande quantidade de energia. Este processo todo significa a emissão de muitos gases, inclusive CO₂. Assim, ao se considerar todo o ciclo produtivo da indústria nuclear, temos uma energia que emite muito mais gases de efeito estufa do que qualquer tipo de energias renovável.”¹²⁵

As discussões sobre os rejeitos radioativos também questionam a necessidade de utilização da energia nuclear. Os rejeitos radioativos podem ser classificados em baixa, média ou alta intensidade e a forma de armazenamento e eliminação desses rejeitos é bastante controversa. Os rejeitos de baixa e média atividade são armazenados em tambores metálicos de 200 litros que, por sua vez, são colocados em blocos monolíticos de concreto capazes de garantir seu isolamento por vários séculos, tempo que leva para que se tornem inativos. A guarda definitiva desses recipientes é feita em repositórios construídos na superfície, em locais seguros e protegidos.¹²⁶

O armazenamento dos rejeitos de alta atividade compreende duas fases. Inicialmente, o combustível utilizado nos reatores - que gera uma grande quantidade de calor - é resfriado por um período mínimo de 10 anos em piscinas especiais localizadas dentro da própria usina onde foi produzido.¹²⁷ Esse processo pode ser estendido por até 40 anos, que é o tempo médio de vida de um reator.

¹²⁴ <http://www.wise-uranium.org/>, acesso em 15 de dezembro de 2008

¹²⁵ Greenpeace, disponível em: www.greenpeace.org/brasil/nuclear/energia-nuclear-x-clima, acesso em 03 de abril de 2009.

¹²⁶ Dantas, Vera. O destino dos rejeitos radioativos, in: *Revista Brasil Nuclear*, ano 14, n.34, 2008, disponível em: http://www.aben.com.br/html/revista.php?Nu_Revista=34, acesso em 17 de dezembro de 2008.

¹²⁷ Idem.

Trata-se de uma prática adotada em usinas nucleares do mundo inteiro, de acordo com as diretrizes da AIEA.¹²⁸

Depois de resfriado, o combustível pode ser reprocessado ou ser preparado para a armazenagem intermediária (de curta, média ou longa duração) ou definitiva. Nesse caso, o material é acondicionado em cápsulas metálicas, soldadas e lacradas, que são colocadas em repositórios subterrâneos de grande profundidade, localizados em áreas com condições geológicas naturais milenarmente estáveis (baixa probabilidade de abalo sísmico), baixo índice pluviométrico e pouca densidade populacional. Os terrenos preferenciais são formações rochosas, que funcionam como uma blindagem que evita a corrosão dos recipientes onde os rejeitos são acondicionados.¹²⁹

O que acontece é que ainda não existe nenhum repositório definitivo em funcionamento. Alguns projetos estão em andamento, em países como EUA, Finlândia, França, Suécia e Japão. No entanto,

*“com a retomada da opção nuclear – a previsão mais recente é que a capacidade nuclear deve dobrar até 2050, com a construção de novas usinas e a ampliação da vida útil das já existentes – em função da aceleração do aquecimento global, a questão do destino dos rejeitos torna-se muito mais urgente”.*¹³⁰

Em 30 de novembro de 2007, o diretor-geral da AIEA, Mohamed El Baradei, afirmou a relação existente entre desenvolvimento e segurança¹³¹. De acordo com Baradei, questões como fome, pobreza e doenças transformam-se em questões de segurança para os países em desenvolvimento, uma vez que geram instabilidade no país e, mesmo, na região. A necessidade de desenvolvimento econômico e social torna-se latente para os países em desenvolvimento. Sua relação com acesso à energia é inegável tanto no que diz respeito à produção de alimentos quanto à medicina¹³².

Considerando a necessidade de alternativas energéticas, uma vez que as reservas de óleo e gás vêm declinando a cada dia, a preocupação com o meio ambiente e o reduzido potencial hidrelétrico mundial, a energia nuclear passa a ser

¹²⁸ Idem

¹²⁹ Idem

¹³⁰ Idem

¹³¹ Discurso realizado em 30 de novembro de 2007 em Cuyo, Argentina, Balseiro Institute, University of Cuyo. Disponível em:

<http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/2007/ebsp2007n021.html> acesso em:28/01/2008

¹³² www.cnen.gov.br, acesso em 14 de agosto de 2008

uma das alternativas para o problema energético global. Enquanto a sua capacidade poluidora ainda é contestada, a sua alta capacidade de produção energética é realidade. É justamente a busca pela aquisição de usinas nucleares por parte de países em desenvolvimento que torna a energia nuclear um problema para a proliferação de armas nucleares. O grande desafio da energia nuclear é superar a imagem negativa que foi construída com o acidente em Chernobyl e com as armas de destruição em massa. No próximo capítulo, veremos como a AIEA trabalha para garantir a veracidade das informações daqueles Estados que possuem instalações nucleares e para assegurar que os materiais nucleares não sejam desviados para fins bélicos.