

IMPACT OF THE APPLICATION OF INTEGRATED SAFEGUARDS IN THE PRESSURIZED WATER REACTORS OF BRAZIL

Pedro Dionisio de Barros¹ and Marco Antônio Saraiva Marzo²

1- Coordenadoria de Salvaguardas – CSG, CNEN/DRS
Rua General Severiano, 90
22294-900, Botafogo, Rio de Janeiro, RJ, Brasil

2- Agência Brasileiro - Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares – ABACC
Avenida Rio Branco, 123, 5^o andar
20040-005 Rio de Janeiro, RJ, Brasil

ABSTRACT

In order to strengthen its effectiveness and improve the efficiency of its safeguards system allowing the conclusion on the absence of undeclared materials and activities, the IAEA has proposed to the Member States, an Additional Protocol to their safeguards agreement. This new document provides the IAEA with expanded information on the activities related to the nuclear program of the states as well as complementary accesses.

This work studies the current traditional safeguards system of a model of pressurized water reactor like Angra 1 and the impact of application of the new measures on the safeguards system. As a conclusion, a Base Approach of integrated safeguards for this kind of facility is proposed and compared with the traditional current safeguards and other approaches, less and more conservative.

The Base Approach proposed includes a change in timeliness goal for irradiated fuel from 3 to 18 months, with the physical inventory verification – PIV conducted only during the refueling period and one or two unannounced inspection per accounting period, for deterrence purposes. It also includes the use of surveillance only during the refueling period and seals for containment of the core and the equipment hatch, during normal operation of this kind of facility.

I. INTRODUÇÃO

As salvaguardas aplicadas pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) sempre objetivaram a detecção de desvios de materiais nucleares declarados. Desde 1991, a AIEA decidiu empreender medidas adicionais para o fortalecimento das salvaguardas, com o objetivo de dotá-la de meios para detectar também, materiais e atividades nucleares não declarados.

Após um longo processo de negociação, a Junta de Governadores da AIEA aprovou, em 1997, o “Modelo de Protocolo Adicional aos Acordos de Salvaguardas entre Estado(s) e a AIEA”. Este Protocolo cria novos mecanismos de controle, baseados em informações adicionais prestadas pelo país e acessos complementares às inspeções já existentes. Dessa forma a AIEA desenvolveu um novo sistema de salvaguardas que não garante apenas que não haja desvio de material nuclear de atividades declaradas, mas também assegura a ausência de materiais e atividades não declaradas, tornando o sistema completo e abrangente.

Os novos mecanismos de controle introduzidos por este Protocolo Adicional influenciam e alteram alguns parâmetros básicos das salvaguardas tradicionais. Ao assegurar-se da inexistência de materiais e atividades nucleares não declaradas em um país, abre-se a possibilidade de se modificar alguns

critérios de salvaguardas, como por exemplo, o tempo de detecção do desvio de materiais nucleares ou tempo de detecção oportuna. Isso pode levar a uma redução do esforço das salvaguardas tradicionais correntes (nº de inspeções, atividades realizadas na instalação, etc.), sem perda de eficácia. Considerando essa situação, a comunidade internacional iniciou recentemente uma ampla discussão de como combinar as novas medidas previstas no Protocolo Adicional com as tradicionais já existentes. Essa combinação leva a um sistema otimizado de salvaguardas que se denomina de SALVAGUARDAS INTEGRADAS.

Dentro desse contexto, caso o Brasil, que é signatário do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP) e tem um acordo de salvaguardas abrangente com a AIEA em vigência, venha a associar-se ao Protocolo Adicional, ele será submetido ao novo sistema de salvaguardas. Assim sendo, este trabalho visa analisar o possível impacto que este novo sistema representará nas medidas de salvaguardas já existentes.

Como referência, avalia-se o impacto da implementação de salvaguardas integradas em uma Central Nuclear do tipo PWR, considerando-se a adoção de diferentes parâmetros de salvaguardas, tais como tempo de detecção e probabilidade de detecção. As alternativas

para os enfoques de salvaguardas da instalação serão também discutidas e comparadas. Finalmente será feita uma comparação entre esses enfoques alternativos de salvaguardas integradas com o enfoque tradicional que é aplicado atualmente.

II. AS SALVAGUARDAS NO BRASIL

Desde as primeiras pesquisas desenvolvidas no país sobre energia nuclear, bem como, quando da aquisição dos primeiros reatores de pesquisa nucleares, o Brasil sempre procedeu mediante as provisões dos acordos de salvaguardas segundo o estatuto da AIEA, acordo do tipo INFCIRC/66 [1]. Deste modo, apenas os materiais e instalações nucleares transferidos para o Brasil com base em um acordo de cooperação internacional estavam sob salvaguardas internacionais. Os principais acordos desse tipo são:

(a) Acordo Brasil - Estados Unidos e AIEA [2], março de 1967, o qual cobriu, entre outras instalações, os reatores de pesquisas do IPEN, do CDTN e do IEN, e o reator nuclear Angra-1.

(b) Acordo Brasil - Alemanha - AIEA [3], assinado em fevereiro de 1976, que cobriu todas as atividades do Acordo Nuclear Brasil - Alemanha.

Em julho de 1991, o Brasil firmou seu primeiro acordo de salvaguardas abrangentes, que é o Acordo entre o

Brasil e a Argentina para o Uso Exclusivamente Pacífico da Energia Nuclear [4] (denominado Acordo Bilateral). Este acordo criou o Sistema Comum de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (SCCC) e a Agência Brasileiro - Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC) para administrar o SCCC. Através desse acordo, os dois países colocaram todos os materiais nucleares em todas as atividades nucleares sob o SCCC. Este Acordo entrou em vigor em 12 de dezembro de 1991.

O segundo acordo de salvaguardas abrangente assinado pelo Brasil foi o Acordo entre o Brasil, a Argentina, a ABACC e a AIEA para a Aplicação de Salvaguardas [5] (denominado Acordo Quadripartite), que foi assinado em dezembro de 1991, e entrou em vigor em março de 1994. Por esse acordo os dois países colocaram todos os materiais nucleares em todas atividades nucleares sob as salvaguardas da AIEA. Esse acordo também satisfaz os requerimentos do Tratado de Tlatelolco e do Tratado de Não Proliferação, ao qual o Brasil associou-se em 1998.

Estrutura do Sistema de Salvaguardas no Brasil. No Brasil, o órgão responsável pela elaboração e aplicação das normas de contabilidade e controle para todas as instalações e

loais do país que usam ou produzem materiais nucleares é a Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN [6], através do sua Coordenadoria de Salvaguardas – CSG.

A Coordenadoria de Salvaguardas da CNEN atua também nas negociações dos procedimentos e métodos de salvaguardas aplicados no país pela ABACC e pela AIEA. Além disso acompanha, como Autoridade Nacional, todas as inspeções e atividades de salvaguardas nas instalações e locais no país realizadas por estas Agências [7].

III. ATIVIDADES DE SALVAGUARDAS TRADICIONAIS PARA A INSTALAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTUDADA

A instalação de referência para este estudo foi uma Central Nuclear contendo um reator PWR, de cerca de 600 MWe, 30000 MWD/T.U do tipo idêntico a Angra I que utiliza como combustível, óxido de urânio sem oxido misto urânio/plutônio - MOX. Observa-se, entretanto, que os aspectos gerais de salvaguardas são comuns a quase todos os outros tipos de reatores LWR.

Este tipo de central possui dois edifícios onde o material nuclear é utilizado ou estocado, o Edifício do Combustível e o Edifício do Reator:

- Edifício do Combustível, onde se

encontram a piscina de estocagem de elementos combustíveis irradiados, o depósito de elementos combustíveis fresco e os sistemas mecânicos de içamento e movimentação dos elementos combustíveis e dos *containers* de transporte. Este edifício é utilizado para o recebimento e estocagem dos elementos combustíveis frescos, para estocagem dos elementos combustíveis irradiados e também para o caso de eventuais remessas.

- Edifício do Reator ou Prédio da Contenção contendo o núcleo do reator, geradores de vapor, as bombas do refrigerante do reator, o pressurizador, etc.

As medidas de salvaguardas tradicionais visam exclusivamente a evitar o desvio de materiais nucleares declarados para atividades não declaradas bem como, o mau uso da instalação através da introdução na mesma, de outros materiais para a irradiação clandestina [8]. Como esse tipo de instalação usa como combustível urânio de baixo enriquecimento e produz plutônio durante o período de irradiação, as salvaguardas tradicionais tem as seguintes metas [9]:

- (a) detectar em tempo oportuno o desvio de elementos combustíveis frescos ou irradiados; e

- (b) detectar a produção não declarada de plutônio.

Tratando-se de uma instalação em que o material nuclear encontra-se na forma de itens individualmente identificáveis - os elementos combustíveis - a principal medida de salvaguardas é a contagem, identificação e medição de itens para se assegurar que eles são os declarados pelo operador. Deste modo, uma vez por ano, realiza-se a verificação do inventário físico, em que todos os itens são contados e identificados.

Considerando-se que a meta de detecção temporal para os elementos combustíveis irradiados é de 3 meses, e a fim de se evitar que a cada 3 meses se realize uma nova verificação do inventário físico, aplica-se vigilância ótica na piscina de estocagem de elementos combustíveis irradiados. Além disso, como não se pode abrir o núcleo do reator a cada 3 meses para verificá-lo, aplica-se selo na tampa do núcleo (missile shielding). Essas medidas (vigilância e contenção com selos) visam apenas a manter a continuidade de conhecimento do inventário de elementos combustíveis da instalação.

IV. AS NOVAS MEDIDAS DO PROTOCOLO ADICIONAL

As medidas do Protocolo Adicional visam assegurar que a

declaração apresentada pelo país sobre materiais e instalações nucleares é correta e completa [10]. Em outras palavras, essas medidas devem permitir à Agência concluir sobre a ausência de materiais e atividades nucleares não declarados em um país. Elas fornecem a base para um leque de atividades da Agência quanto aos materiais nucleares, ao ciclo de combustível nuclear, à pesquisa e desenvolvimento do ciclo do combustível e a outras atividades relevantes.

Os principais elementos que a AIEA dispõe para conseguir obter um nível razoável de segurança sobre a ausência de materiais e atividades nucleares não declarados são [10] [11]:

- A análise de informações disponíveis sobre o país, que advêm das declarações do próprio Estado, de fontes abertas, e de terceiras partes;
- Os acessos complementares a pontos além dos pontos estratégicos de instalações nucleares;
- Os acessos complementares a outros pontos do "site"; e
- Os acessos complementares a outros pontos do País para resolver questões e inconsistências.

V. SALVAGUARDAS INTEGRADAS

A simples implementação direta das novas medidas de

salvaguardas estabelecidas no Protocolo Adicional [10], sem uma revisão cuidadosa dos procedimentos antigos baseados em acordos abrangentes de salvaguardas como o Quadripartito [5], resultaria na realização desnecessária de várias atividades, além de um aumento de custos para a AIEA e, principalmente, para o Estado Membro. Para evitar esse tipo de consequência, as novas medidas deverão ser combinadas com as antigas, resultando em uma nova forma otimizada de procedimentos de salvaguardas, à qual denominou-se de Salvaguardas Integradas [12].

Definição. As Salvaguardas Integradas são definidas portanto como uma combinação ótima entre todas as medidas disponíveis para a AIEA no acordo de salvaguardas e no Protocolo Adicional. Por esta razão, o conceito de Salvaguardas Integradas somente pode ser aplicado aos países que possuam um acordo de salvaguardas abrangente e o Protocolo Adicional em vigor [13].

Desta forma, os principais objetivos a serem alcançados nesta combinação de medidas são [14]:

- detectar o desvio de material nuclear declarado;
- detectar material e atividades nucleares não declarados;
- maximizar a eficiência e a efetividade do sistema dentro dos recursos disponíveis.

VI. PROPOSTA BÁSICA DE SALVAGUARDAS INTEGRADAS

Embora existam várias alternativas para uma estratégia de salvaguardas integradas em reatores PWR, a proposta básica apresentada neste trabalho busca situar, inicialmente, os procedimentos de salvaguardas integradas para este tipo de instalação numa espécie de meio termo, isto é, uma média entre as medidas mais e menos conservativas. A principal razão para este enfoque inicial é que a otimização dos procedimentos para esta forma de salvaguardas acontecerá de acordo com a experiência de sua aplicação nas diversas instalações nucleares ao longo de algum tempo [15].

Desta forma, a proposta de salvaguardas integradas para a instalação de referência compõe-se de três elementos. O primeiro é a verificação periódica do inventário físico. Essa

atividade continua sendo um elemento essencial das salvaguardas para a detecção do desvio de quantidades significativas de material nuclear declarado. Observe-se que nas salvaguardas integradas, o desvio de material nuclear declarado é considerado um indicio da existência de atividades clandestinas. O segundo elemento é a aplicação das medidas do Protocolo Adicional para assegurar-se a ausência de materiais e atividades não declaradas. No caso da instalação de referência, pretende-se com essas medidas dissuadir ou detectar a utilização não declarada ou mal uso da instalação. Admite-se que as medidas do Protocolo Adicional sejam suficientes para a detecção deste mal uso.

O terceiro elemento é a realização de inspeções não anunciadas como forma de dissuasão dos diversos cenários de mal uso da instalação. As inspeções não anunciadas têm ainda o objetivo de aumentar a eficácia para:

- Detectar a presença de elementos combustíveis frescos ou irradiados resultantes de empréstimo de outra instalação através da contagem e verificação para testes de defeitos grandes;
- Detectar atividades não declaradas tais como,

operações de remoção, desmontagem ou troca de pinos de elementos combustíveis ;

- Confirmar a declaração do operador sobre a operação continua do reator sem a abertura do núcleo desde a última verificação de inventário;
- Atender aos objetivos de verificação conforme o tempo de detecção.

Análise Para Desvio de Combustíveis Frescos.

O elemento combustível fresco utilizado na instalação de referência constitui-se de material de uso indireto e de baixo enriquecimento. Para uma quantidade significativa de U^{235} é necessário o desvio de cerca de 6 elementos combustíveis frescos. Há duas possibilidades de encobrir esse desvio [9]:

- (a) A substituição por elemento falso ("dummy").

Neste caso, considera-se que a substituição por elemento falso é coberta pela verificação do inventário físico e do recebimento de novos

elementos combustíveis frescos antes da recarga do núcleo.

- (b) A substituição por elemento combustível fresco tomado emprestado de um outro reator similar ou de uma planta de fabricação.

Num sistema de salvaguardas integradas, considera-se que o empréstimo é uma atividade não declarada e assim passível de detecção pelas atividades do Protocolo Adicional. Além disso considera-se, a realização de inspeções não anunciadas como forma de dissuasão desse cenário.

Análise Para Desvio de Combustíveis Irrradiados.

Na instalação de referência, um elemento combustível, após ser irradiado durante três ciclos, possui uma massa de plutônio da ordem de 3 kg [9]. Isso significa que são necessários 3 elementos combustíveis irradiados para obter-se uma quantidade significativa de Pu como material de uso indireto [9]. Neste tipo de instalação os elementos combustíveis irradiados são armazenados na piscina de combustível irradiado e, caso previsto, são enviados para uma planta de reprocessamento.

Neste caso há três maneiras de encobrir o desvio:

- (a) A substituição por elemento falso ("dummy")
- (b) A substituição por um elemento combustível fresco.
- (c) A substituição por elemento combustível irradiado tomado emprestado de um outro reator similar ou de uma planta de reprocessamento.

O estudo realizado neste trabalho revelou que as substituições (a) e (b) são cobertas pela verificação do inventário físico e da remessa elementos combustíveis irradiados, caso prevista. Quanto ao cenário (c), considera-se que o empréstimo é uma atividade não declarada e, portanto, passível de detecção pelas atividades do Protocolo Adicional.

No entanto, tendo em vista a condição de retorno imediato ao regime de salvaguardas tradicionais, no caso de não se poder concluir sobre a ausência de materiais ou atividades não declaradas, uma ação complementar pode ser necessária: durante o período de recarga, quando o núcleo encontra-se aberto, esses cenários de desvio ou substituição podem ser adicionalmente cobertos por vigilância temporária do núcleo e do portão de equipamentos, no edifício do reator. No período de operação normal, o núcleo e o

portão de equipamentos podem permanecer sob contenção de selos, a fim de garantir a continuidade do conhecimento do inventário.

Em adição às medidas de salvaguardas descritas, os estudos realizados demonstram que um regime de inspeções não anunciadas deve ser implementado para introduzir o efeito de dissuasão durante a operação normal da instalação. Esse efeito de dissuasão nas salvaguardas tradicionais, é introduzido pela vigilância permanente da piscina de elementos combustíveis irradiados. Finalmente, durante uma inspeção não anunciada podem ser disparados acessos complementares previstos no Protocolo Adicional, no sítio, introduzindo também nessa ação um nível importante de imprevisão.

Análise Para Cenários de Irradiação não Declarada.

Na proposta deste trabalho considera-se que a irradiação não declarada de material nuclear para a produção de plutônio é uma atividade não declarada e, portanto, passível de detecção pelas atividades do Protocolo Adicional. Além disso considera-se, de modo complementar, a realização de inspeções não anunciadas como modo de dissuasão desse cenário.

Adicionalmente, no entanto, a fim de

aumentar a eficácia na cobertura desse cenário, outras medidas podem ser consideradas. Deve-se observar que os cenários de produção não declarada de Pu nesse tipo de instalação dizem respeito a um controle efetivo do núcleo do reator onde certamente o material a ser irradiado tem que ser introduzido. Assim sendo, a proposta de salvaguardas integradas deste trabalho para este cenário inclui ainda a utilização de selos de contenção no núcleo, durante a operação normal do reator e a utilização de vigilância temporária no núcleo e nas rotas de material nuclear, durante o período de recarga do reator. Outra medida importante considerada é a verificação periódica do Questionário Técnico, documento que contém as especificações da instalação relevantes para salvaguardas, para garantir, principalmente, a inexistência de sistemas de desmontagem e troca de pinos do elemento combustível não declarados na instalação. Esta verificação poderia ser feita durante as verificações de inventário e durante as inspeções não anunciadas.

Finalmente, além das medidas de salvaguardas descritas, considera-se que um regime de inspeções não anunciadas introduz o efeito de dissuasão durante a operação normal da instalação. Também neste caso, durante uma inspeção não anunciada podem ser disparados acessos complementares no sítio, introduzindo também nessa ação um

nível importante de imprevisão.

Consolidação da Proposta Básica de Salvaguardas.

Com relação ao tempo de detecção, a proposta que esta sendo estudada pela AIEA [14] é de elevar este tempo de 3 meses, nas salvaguardas tradicionais, para 1 ano nas salvaguardas integradas. Uma das razões é que a AIEA anualmente apresenta um relatório à comunidade internacional sobre as atividades de salvaguardas nas instalações nucleares de todos os países com acordos de salvaguardas com a Agência. Entretanto, tecnicamente este tempo pode ser expandido, se além de toda a cobertura proporcionada pelas salvaguardas integradas, utilizar-se um sistema de redundância de controle de material nuclear na instalação. Por exemplo, utilizando-se vigilância temporária durante a recarga e de selos de contenção no núcleo e no portão de equipamentos, durante a operação normal juntamente com o programa de inspeções não anunciadas aleatórias. Desta

forma, o prazo para a verificação de inventário físico poderia passar de 14 meses para 18 meses de modo a sempre coincidir com a recarga e o núcleo aberto, ocasião em que se tem acesso a todo o material nuclear da instalação.

O Acordo de Salvaguardas INFCIRC/435 [5], como todos os acordos abrangentes, estabelece um prazo máximo de 14 meses para a realização de inventário físico em todas as instalações nucleares brasileiras. Entretanto, as salvaguardas integradas são aplicadas com base nas provisões deste Acordo e do Protocolo Adicional [10]. No caso de algum conflito entre estes documentos prevalece o Protocolo. Como o Protocolo não estabelece nenhum prazo máximo para a tomada de inventário físico, este prazo pode ser redefinido conforme o tempo de detecção oportuna estabelecido, através da otimização das salvaguardas integradas.

Portanto, neste trabalho, considera-se que uma proposta razoável de salvaguardas integradas para a instalação referência considere os seguintes pontos:

- As quantidades alvo para a detecção permanecem as mesmas, ou seja 8kg de plutônio contido em elementos combustíveis irradiados e 75kg de U^{235} contido em elementos combustíveis frescos [9];

- O tempo de detecção passa a ser de um ano e meio (18 meses), para cobrir a recarga do núcleo,
- O prazo máximo para a realização e verificação do inventário físico passa a ser de um ano e meio (18 meses), de modo que a realização do inventário físico e sua verificação coincidam sempre com a recarga do núcleo, possibilitando o acesso a todo o material nuclear da instalação;
- Uma a duas inspeções não anunciadas por período contábil, a fim de manter o efeito de dissuasão.

Comparando-se com o sistema de salvaguardas tradicional, destacam-se a substituição das inspeções interinas trimestrais por inspeções não anunciadas, a utilização de vigilância somente no período de recarregamento do reator e a verificação do balanço de material somente durante este período.

A principal causa dessas diferenças são as formas de dissuasão. Nas salvaguardas tradicionais ela funciona através da utilização de vigilância permanente e das inspeções interinas trimestrais, nas integradas a dissuasão é feita principalmente através de inspeções não anunciadas e pelos acessos complementares na instalação e no sítio, previstos no Protocolo Adicional.

Por outro lado, se considerarmos outros enfoques de salvaguardas,

mais e menos conservativos para esse tipo de instalação, observa-se que enquanto num enfoque mais conservativo as salvaguardas integradas mantém todos os parâmetros das salvaguardas tradicionais e o menos conservativo elimina praticamente quase todos das mesmas, a proposta básica deste trabalho busca efetivamente otimizar esses parâmetros.

A diferença mais relevante encontra-se no tempo de detecção oportuna, conforme já discutido acima. Em consequência disso não há mais a necessidade de realização de inspeções interinas. Isso faz com que o esforço de inspeção seja reduzido em pelo menos a metade do que nas salvaguardas tradicionais.

Além disso, pode-se também reduzir as probabilidades de detecção para fins de verificação de material nuclear acarretando consequentemente, uma redução significativa no número de elementos combustíveis a serem medidos durante as inspeções em comparação com as salvaguardas tradicionais.

Outra diferença importante é a verificação do balanço de material exclusivamente durante o período de recarga do reator bem como, a utilização de vigilância somente durante este período e não permanentemente, como nas salvaguardas tradicionais correntes.

A grande vantagem da proposta desse trabalho quando comparada a um

enfoque menos conservativo, é de manter, a qualquer tempo, a capacidade de recuperação imediata do inventário da instalação e o restabelecimento das salvaguardas tradicionais, apesar da redução considerável das atividades de controle da instalação previstas. Esta capacidade é proporcionado pela utilização de vigilância temporária durante o período do recarregamento e de selos de contenção no núcleo, durante a operação normal. Estas medidas asseguram o conhecimento do inventário do núcleo do reator, bastando apenas a verificação dos EC irradiados da Piscina de Combustíveis Irradiados - PCI para a recuperação do inventário.

VII. CONCLUSÃO

Neste trabalho desenvolveu-se uma proposta básica de salvaguardas que permite integrar adequadamente as novas medidas do Protocolo Adicional com as atividades tradicionais, aumentando a eficiência e a eficácia das salvaguardas. Ela garante, por um lado, o pleno controle dos materiais nucleares deste tipo de instalação, e por outro racionaliza as medidas aplicadas e minimiza o grau de intrusão que essa nova forma de salvaguardas pode acarretar. Nessa proposta o tempo de detecção oportuna passa a 18 meses. Desse modo a verificação de inventário físico é sempre realizada

dentro do período de recarga do reator, ocasião em que se tem acesso a todo o material nuclear da instalação.

Consequentemente, isso evitaria a verificação de inventário físico com o núcleo fechado (*PIV – equivalente*), situação em que a verificação se restringe apenas ao material nuclear acessível, ou seja aos elementos combustíveis da piscina de elementos irradiados e ocasionalmente, aos elementos combustíveis frescos.

Outra consequência do aumento do tempo de detecção oportuna para 18 meses é que torna desnecessário o uso de vigilância permanente na piscina de elementos combustíveis irradiados, como ocorre atualmente.

A proposta deste trabalho inclui também a utilização de selos no núcleo e no portão de equipamentos durante a operação normal, bem como vigilância temporária durante o período do recarga do núcleo. Estas medidas viabilizam o retorno imediato às salvaguardas tradicionais, no caso em que a AIEA não puder garantir a ausência de materiais e atividades nucleares não declaradas no país.

Os cenários de introdução de barras ou alvos para irradiação não declarada, apesar de já estarem cobertos pelas medidas do Protocolo Adicional, também são cobertos adicionalmente na proposta básica deste trabalho pela realização de uma a duas inspeções não anunciadas por período contábil. Estas

inspeções não anunciadas constituem-se num complemento muito importante da proposta, dada a sua função de dissuasão do desvio de materiais nucleares declarados e da irradiação não declarada.

É certo que somente a experiência irá efetivamente determinar a melhor estratégia a ser adotada pela AIEA para cada país que vier a se associar ao Protocolo Adicional. Ao contrário das salvaguardas tradicionais, que utilizam critérios baseados em dados matemáticos e estatísticos, as novas medidas do Protocolo Adicional são desprovidas de semelhantes critérios quantitativos.

Entretanto, a análise comparativa entre a proposta deste trabalho e outros enfoques mostrou que ela atende aos objetivos de salvaguardas de modo consistente, e é mais eficiente ou eficaz do que as alternativas estudadas [16].

REFERENCES

- [1] AIEA. INFCIRC/66/Rev. 2 – **The Agency's safeguards system, as approved by the Board of Governors in 1965 and provisionally extended in 1966 and 1968.** Viena, 1968, 21p
- [2] AIEA. INFCIRC/110 – **Agreement between The IAEA, the Government of The USA and The Government of Brasil for the application of safeguards.** Viena, 1967, 8p

- [3] AIEA. INFCIRC/237 – **Agreement between the Agency, The Federative Republic of Brasil and The Federal Republic of Germany,** Viena, 1976, 11p.

- [4] ABACC. ACORDO BILATERAL BRASIL – ARGENTINA. **Acordo para o uso exclusivamente pacífico de energia nuclear,** Rio de Janeiro, dezembro, 1991.

- [5] AIEA. INFCIRC/435 - **Agreement between The Republic of Argentina, The Federative Republic of Brasil, The Brazilian Argentine Agency for Accounting and Control of Nuclear Materials and The International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards,** Viena, 1991, 37p.

- [6] CNEN. – NN -2.02 – **Controle de Materiais Nucleares.** Rio de Janeiro, 1999.

- [7] NUNES V. E. S. **Estrutura e experiência do sistema de salvaguardas brasileiro,** Rio de Janeiro, setembro, 2001, 22p

- [8] AIEA. – **Nuclear power plant characteristics,** Viena, 1985.

- [9] AIEA. – **Safeguards Criteria,** Viena, 1990

- [10] AIEA. INFCIRC/540 – **Model Protocol Additional to the Agreement Between State and The IAEA for the Application of**

Safeguards, Viena 1997,
47p.

[11]. COOLEY, J. N.,
**Seminar on the
additional protocol**, Rio
de Janeiro, 2000, 11p.

[12]. AIEA. SAR – 28 –
**Experts group meeting
on integrated safeguards
working paper**, Viena,
1998, 21p.

[13]. AIEA. – **Guidelines
for conditions and
activities pursuant to the
conclusion of the
absence of undeclared
nuclear materials and
activities in a State with
a comprehensive
safeguards agreement
and an additional
protocol in force**, Viena,
setembro 2000. 27p.

[14]. AIEA.
GOV/INF/2000/26,
BOARD OF
GOVERNORS, **The
development of
integrated safeguards. A
report by the Director
General**, Viena, 2000,
21p.

[15]. BIAGGIO A. L.,
MARZO M. A. S.
**Integrated safeguards:
A pragmatic balance**,
Rio de Janeiro, 2001. 4p.

[16]. BARROS P. D.
**Estudo do impacto da
aplicação de
salvaguardas integradas
em algumas instalações
nucleares do Brasil**.
Dissertação de mestrado
em engenharia nuclear –
Instituto Militar de
Engenharia, 2001.