

Comissão Nacional de Energia Nuclear

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR

PUBLICAÇÃO CDTN – 851/99

APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR

Fausto Maretti Júnior

Belo Horizonte

1999

PUBLICAÇÃO CDTN – 851/99

APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR

FAUSTO MARETTI JÚNIOR

1999

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
2. APLICAÇÕES EM ALIMENTOS E AGRICULTURA	01
2.1. Melhores Colheitas	02
2.2. Produtos Agroquímicos	03
2.3. Mutações	03
2.4. Produção animal	04
2.5. Controle de Insetos	04
2.6. Preservação de Alimentos	05
3. APLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA	06
3.1. Medicina Nuclear	06
3.2. Radiofármacos	07
3.3. Cardiologia nuclear e outros métodos de diagnóstico	07
3.4. Métodos de diagnóstico in vitro	08
3.5. Radionuclídeos no tratamento de doenças	08
3.6. Dosimetria	09
3.7. Radiação na Biologia	09
3.8. Nutrição	10
4. APLICAÇÕES EM HIDROLOGIA	10
4.1. Aplicações	11
5. APLICAÇÕES NO MEIO AMBIENTE	12
5.1. Aplicações no Ar	12
5.2. Aplicações na Água	13
5.3. Aplicações no Solo	13

6. APLICAÇÕES NA GEOLOGIA, GEOQUÍMICA, GEOFÍSICA E DATAÇÃO	14
7. APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA	15
7.1. Instrumentos com Radioisótopos	16
7.2. Gamagrafia	16
7.3. Autoradiografia	17
7.4. Neutronografia	18
7.5. Detectores de Fumaça	18
7.6. Radiação na Produção	18
8. BIBLIOGRAFIA	18
TABELAS	20

APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em energia nuclear, logo vem ao pensamento o aproveitamento dessa energia em geração elétrica e, ao leigo que nunca estudou ou trabalhou na área, a produção de armamentos nucleares.

O uso da energia nuclear como ferramenta de trabalho ou mesmo como utilização secundária nos diversos campos da ciência e tecnologia é bastante amplo e representa certamente uma melhor forma de trabalho, muitas vezes mais fácil, rápida, e mais simples que muitos métodos competitivos utilizados no mercado.

Algumas medidas jamais poderiam ser realizadas sem o uso de isótopos, pelo simples fato de não existirem métodos alternativos. O isótopo radioativo é a ferramenta ideal para uso em análises, pois permite que um simples átomo possa ser detectado. Se comparado com os métodos químicos, a detecção limite de um elemento é aumentada em milhões de vezes.

Mais importante ainda, especialmente em biologia e trabalhos médicos, é que radioisótopos podem ser aplicados durante um determinado processo biológico. O funcionamento de certas glândulas pode ser checado, através da aplicação de um determinado radioisótopo e depois seguindo o caminho deste no corpo através de uma medida obtida do lado de fora do corpo do paciente.

As fontes de isótopos são relativamente baratas, a instrumentação é facilmente disponível e as aplicações bastante simples, podendo ser utilizadas em praticamente todos os campos da ciência e indústria. Não é de se espantar, portanto, que o aumento e a importância do uso dessa ferramenta, ao lado do surgimento de outros métodos novos, cresceu muito não somente em países desenvolvidos bem como nos países emergentes.

2. APLICAÇÕES EM ALIMENTOS E NA AGRICULTURA

Na pesquisa em agricultura, a radiação e os isótopos estão presentes em vários campos de diferentes maneiras, razão pela qual, fica até difícil obter um quadro preciso de sua real importância.

Em laboratórios de países desenvolvidos, os isótopos são continuamente utilizados como ferramentas de trabalho nas mais modernas linhas de pesquisa.

A emergente biotecnologia, intensamente utilizada pelos cientistas da área de agricultura, tem utilizado radioisótopos como ferramenta básica. Sem eles a pesquisa no campo da biologia molecular jamais teria sido iniciada.

Os principais problemas na agricultura, que a radiação e os radioisótopos podem solucionar são:

- determinar condições necessárias para a otimização da fertilização e uso eficiente da água, bem como a fixação biológica do nitrogênio;
- proporcionar alto desempenho em colheitas, agricultura melhor adaptada e resistentes a pestes e novas variedades de sementes, usando mutações induzidas pela radiação;
- erradicar ou controlar pestes usando insetos que são esterilizados ou geneticamente alterados através do uso de radiação;
- aumentar o desempenho produtivo do status nutricional e da saúde de animais usando radioimunoensaios e técnicas relativas, bem como traçadores isotópicos;

- reduzir as perdas após colheitas através da supressão da germinação e contaminação através de tratamento com radiação;
- estudar caminhos para reduzir a poluição proveniente de pesticidas e agroquímicos.

2.1. Melhores Colheitas

Um bom plantio necessita de solo com uma composição de nutrientes adequada. As técnicas nucleares são ferramentas ideais para medir essa eficiência de fertilização usada no solo e também para o controle da composição. Figura 1

Na agricultura moderna, o uso de fertilizantes é essencial para maximizar as colheitas em razão da enorme demanda de alimentos devido ao crescimento da população mundial. Resultados de muitas pesquisas, no setor têm sido incorporados nas práticas de agricultura de cereais e aumentado as colheitas, com a respectiva redução do uso de fertilizantes, através do simples controle do solo.

Métodos naturais similares têm sido adaptados para avaliar depósitos baratos de fosfato como uma alternativa para os altos custos dos fertilizantes fosfatados e como um caminho para se avaliar a máxima razão entre os fertilizantes e o crescimento da produção.

Por outro lado, a água é o mais importante limitante para a produção de uma boa colheita em muitas áreas do mundo. A eficiência do uso da água em sistemas de irrigação requer monitoração contínua da composição do solo. O uso de técnicas nucleares permite que os geólogos e agrônomos possam otimizar a irrigação tradicional, diminuindo, na maioria dos casos, em 40 por cento, a quantidade de água utilizada na irrigação.



Figura 1. Controle de Pesticidas na Agricultura

2.2. Produtos Agroquímicos

A produção agrícola se apóia fortemente em duas técnicas químicas: fertilizantes para aumentar a produção e pesticidas para controlar pragas. O uso excessivo desses produtos ataca o meio ambiente e os produtos comestíveis.

Os isótopos são ferramentas eficientes para estudar o comportamento, deposição e resíduos agroquímicos no solo, água, plantas, animais e seus produtos. Como resultado de seu uso tem sido possível descobrir

caminhos seguros para a aplicação de agroquímicos e formulações seguras mais efetivas no controle de combate às pestes, bem como diminuir os prejuízos à saúde e à agricultura.

2.3. Mutações

Há séculos, o homem tem tentado por todos os meios aumentar a qualidade e quantidade de suas colheitas. A evolução natural é obtida através da mutação espontânea e de seleção das sementes mais adequadas. A taxa de mutação ocorrida pode ser multiplicada através do tratamento com radiação, o que permite a aceleração da evolução e a seleção de melhores colheitas.

Nos últimos 50 anos, o número de programas de melhoramento de sementes para plantio tem incluído a mutação induzida com radiação ou química para fortalecer colheitas mais eficientes. Dentre as propriedades mais importantes que podem ser modificadas pode-se citar: o aumento da resistência da planta, a mudança do tempo de maturação, o crescimento da resistência às doenças, o aumento da produção, a melhoria nos caracteres agrônômicos e melhoria na qualidade de sementes.

2.4. Produção Animal

Muitos animais que produzem carne e leite, também, fornecem lã e couro para calçados, roupas e outros produtos. Em muitos lugares, fornecem ainda combustível para cozinhar e energia para cultivar a terra e fazer a colheita. Em alguns países, a economia e o bem estar dos indivíduos depende disto e os radioisótopos são de grande valia na obtenção de bons resultados. Figura 2

Esses resultados podem ser obtidos através de :

- aumento do peso dos animais e da quantidade de leite através de melhores alimentos;
- determinação do estágio correto do ciclo reprodutivo através de controle hormonal feito com métodos isotópicos;
- eliminação de doenças através do uso de vacinas produzidas a baixo custo e mais seguras através de irradiação com raios x .



Figura 2. Melhores reprodutores e maior aumento de leite e carne

Nos últimos 15 anos, os métodos isotópicos têm sido a causa dos maiores avanços na área tais como melhor alimentação animal que permitiram o aumento dos produtos derivados do mesmo.

2.5. Controle de insetos

Os insetos estão competindo com o homem pelo alimento e pelas fibras têxteis e são uma constante ameaça aos animais e à raça humana. No controle de insetos com produtos químicos, tem-se muitas vezes criado terrível problema como poluição ambiental e resíduos tóxicos em nossa alimentação. Por outro lado, muitos insetos têm desenvolvido resistência aos inseticidas, freqüentemente resultando na utilização de mais inseticidas.

Um dos meios de se controlar ou erradicar os insetos, sem o uso de pesticidas, é a técnica de esterilização (Sterile Insect Technique - SIT). Nesse caso, insetos são produzidos em larga escala, sexualmente esterilizados através de radiação gama, e colocados juntos com sua população nativa. Quando os insetos esterilizados cruzam com os originais da mesma espécie, nenhuma linhagem é produzida. Esta técnica, além de ambientalmente correta, é a única solução para erradicação de uma determinada praga.

2.6. Preservação de Alimentos

Uma das primeiras prioridades do mundo é providenciar comida saudável e suficiente para todos. Entre os grandes problemas estão a fertilização do solo, o desenvolvimento de sementes mutantes mais desejáveis para o plantio, uma infra-estrutura adaptada a cada país, e geralmente a criação de condições certas para uma boa colheita.

Depois disso, tem-se ainda que fazer mais, ou seja, o correto armazenamento da safra, para que, através da preservação e proteção do produto das colheitas, as mesmas possam ficar livres de pestes e de contaminação.

Há milhares de anos esse problema existe e os métodos de preservação evoluíram desde secar ao sol, defumar, salgar, enlatar, congelar e aquecer até adicionar produtos químicos. A última das técnicas utilizadas tem sido a irradiação, isto é a exposição de alimentos a uma cuidadosa e controlada irradiação ionizante. Mais de 40 anos de pesquisa têm mostrado conclusivamente que não há efeitos adversos ao consumo de alimentos irradiados. De fato, para muitos alimentos a irradiação tem mostrado ser o mais eficiente processo a ser utilizado. Figura 3

As regras e normas de irradiar alimentos têm sido adotadas por autoridades do mundo inteiro, embora haja uma certa relutância por parte dos consumidores em aceitar tal técnica. Isso é apenas temporário e no futuro a irradiação de alimentos certamente se desenvolverá tanto que será um dos maiores benefícios para a espécie humana, tornando-se assim um dos mais importantes fatores para o crescimento da produção de alimentos em países emergentes.

Entre os muitos benefícios do uso da irradiação de alimentos como alternativa ou mesmo como o único método para melhoria da qualidade pode-se destacar:

- eliminação de muitos riscos à saúde;
- aumento da qualidade de produtos frescos;
- aumento da economia na produção e distribuição de alimentos;
- redução de perdas durante estocagem ou transporte;
- desinfecção dos produtos estocados como grãos, legumes, frutas secas e peixe salgado.

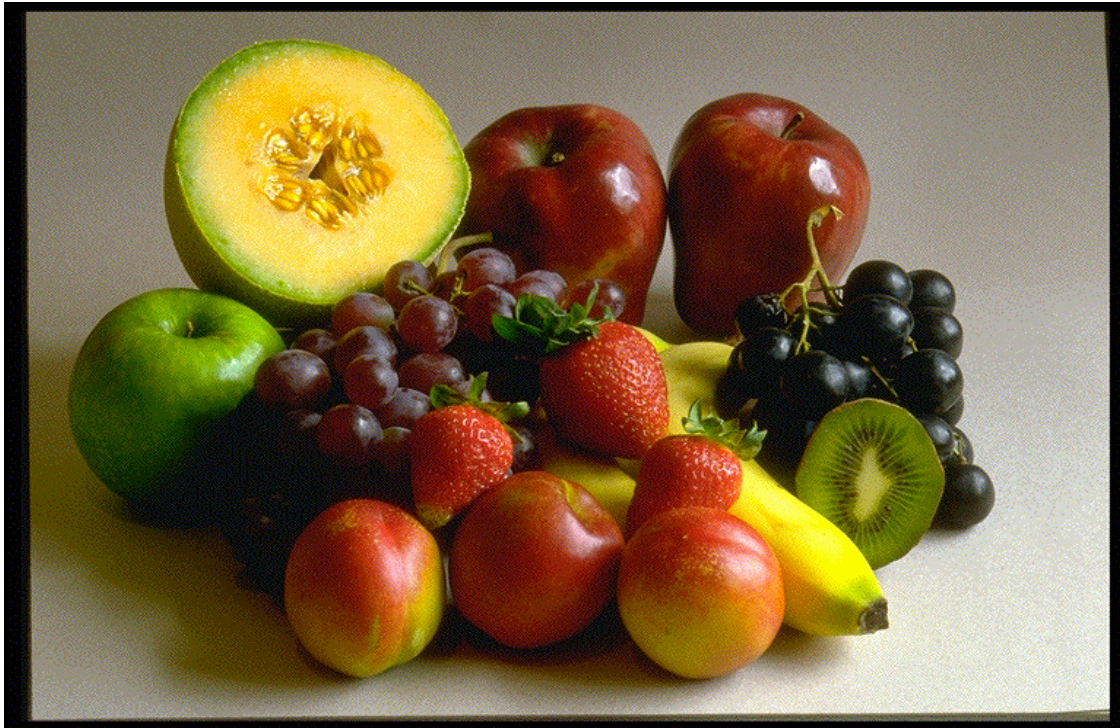


Figura 3. Irradiação de frutas frescas para aumentar a vida útil

Economicamente, o mais importante resultado da aplicação resulta na extensão da vida na prateleira, o que é de extrema valia para países tropicais. Muitos alimentos quando não tratados por radiação são fumigados por produtos químicos antes de serem enlatados tendo em muitos casos ocorrido perdas de até 50% devido à contaminação.

Isso tem feito com que muitas das barreiras e obstáculos à irradiação de alimentos sejam vencidos e o rápido crescimento e desenvolvimento das técnicas envolvidas permitirão um uso maior da aplicação de radiação em um futuro muito próximo, não somente pelos países desenvolvidos como também pelos emergentes.

3. APLICAÇÕES NA SAÚDE HUMANA

Aplicações de radiação e radionuclídeos na saúde humana começaram rapidamente após a descoberta dos Raios X por Röntgen. Técnicas permitiram que as produções de radionuclídeos específicas em quantidades utilizáveis fossem desenvolvidas. Hoje, dificilmente os modernos hospitais, nos grandes centros, não possuem um departamento de radiologia ou um departamento de medicina nuclear ou ainda não utilizam métodos de radioquímica para diagnóstico e pesquisa de diversas doenças.

3. 1. Medicina Nuclear

Na medicina nuclear, um radionuclídeo, numa forma química cuidadosamente selecionada, é administrado ao paciente, e um detector especial, freqüentemente de radiação gama localizado fora do corpo, é utilizado para monitorar um fenômeno fisiológico específico.

A importância da medicina nuclear, agora uma especialidade médica reconhecida, pode ser vista como um fato relevante. Em cada três pacientes de um hospital geral, de um país industrializado, um se beneficia de algum tipo de procedimento da medicina nuclear. Tais procedimentos podem, como os Raios X, reproduzir imagens de alguma parte específica do corpo humano. A diferença essencial é que, na medicina nuclear, a imagem obtida permite a medida de atividade de alguma função específica do corpo, quer seja ela fisiológica ou bioquímica.

Muitos procedimentos nucleares são de natureza diagnóstica. Em alguns casos, entretanto, radionuclídeos administrados ao paciente são verdadeiras ferramentas terapêuticas.

3.2. Radiofármacos

No caso de ser possível traçar um processo biológico no corpo, ou investigar o funcionamento de um órgão do corpo humano, torna-se necessária uma escolha cuidadosa da forma química e do radionuclídeo que será administrado ao paciente. Esses radionuclídeos preparados são chamados de radiofármacos e 300 desses são encontrados comercialmente e utilizados para diagnóstico.

Para minimizar a pequena dose de radiação no paciente, através do uso de diagnóstico por radiofármacos, cada dia mais estão sendo usados os de meia-vida curta ou extremamente curtas, os quais decaem ao estado natural em minutos ou mesmo em horas.

Esses radiofármacos têm que ser preparados no hospital onde são utilizados e são obtidos, na maioria das vezes, de um outro isótopo de meia-vida longa. O procedimento de obtenção é bastante simples, necessitando apenas de algum processo químico rápido para obtenção do mesmo.

Esta técnica é utilizada rotineiramente em hospitais para diagnóstico de funcionamento de fígado, cérebro, pâncreas, coração e rins. Pode ser utilizada rotineiramente com ^{131}I , ^{111}In , ^{67}Ga , ^{68}Ga , ^{201}Tl , sendo mais comumente utilizado o $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Embora sejam técnicas bem difundidas, sempre é bom lembrar que, procedimentos de medicina nuclear, in vivo, envolvem sempre uma pequena dose de radiação no paciente. Esse não é o caso de procedimentos in vitro, como os radioimunoensaios, onde os produtos ministrados são extraídos para medida e detecção de componentes químicos dos fluidos emanados do corpo

3.3. Cardiologia nuclear e outros métodos de diagnóstico

Os Radionuclídeos têm um importante papel no diagnóstico cardiológico. Quando o médico examina o pulso de um paciente, ele tenta aferir a corrente do sangue, julgar as condições dos vasos e indiretamente avaliar a força da ação de bombeamento do coração. Um traçador radioativo utilizado na circulação, como um pequeno espião, pode fazer o mesmo tipo de serviço do lado de dentro, tal como, medir o volume ocupado pelo traçador após a diluição no coração e as mudanças desse volume quando o coração se contrai.

Com a ajuda de um computador, tais informações são obtidas quantitativamente e seqüencialmente. Esse processo é a parte vital da moderna cardiologia nuclear, uma das aplicações mais usadas da moderna medicina nuclear.

Um meio de se diagnosticar problemas cardíacos é injetar um composto de tecnécio na corrente sanguínea, seguido de um método analítico conhecido como tomografia computadorizada de emissão de fóton simples. Uma câmara rotatória gama mede a radioatividade em pequenos intervalos, permitindo, com a ajuda de um computador, a reconstrução de uma imagem, a qual permite ao médico determinar o quanto o músculo cardíaco está sendo privado de sangue.

Estes exemplos ilustram o quanto o método de detecção de radiação são úteis na medicina e como é possível fazer diagnósticos que eram impossíveis alguns anos atrás. Cerca de 3% da população da Europa, em torno de seis milhões de pessoas, sofre de alguma doença da artéria coronária. Um procedimento rotineiro poderia envolver muitos deles em testes tomográficos utilizando radiofármacos, o que permitiria aumentar a prevenção, permitindo assim um maior controle da doença.

As imagens obtidas por métodos nucleares cada dia são mais usadas, como por exemplo, no diagnóstico mais preciso de tumores cerebrais, através da simples aplicação de radiofármacos ou até de complexos de radionuclídeos

Esta é somente uma pequena amostra dos diagnósticos médicos, onde os radionuclídeos podem representar um grande papel. Alguns especialistas prevêem que o uso da medicina nuclear nos próximos dez anos estará tão difundido, que será necessário o triplo dos médicos trabalhando na área para que possa ser atendida a demanda estimada.

3.4. Métodos de diagnóstico "in vitro"

Milhões de testes médicos são feitos anualmente, com objetivos de se diagnosticar alguma doença. Esses testes têm se sofisticado a cada dia, permitindo dessa maneira que se possa diagnosticar melhor um paciente externamente do que internamente. Esse tipo de teste é chamado de radioimunoensaio e, para isso, o paciente não necessita entrar em contato com radioatividade e todos os testes são conduzidos através do sangue retirado do paciente.

Esses testes têm se refinado tanto, que agora é possível detectar e acompanhar certas doenças através de determinações extremamente sensíveis com medias obtidas especificamente para uma determinada substância (entre 10 a 100 milhões de vezes mais acuradas que as realizadas por antigos métodos). Através desses exames, hormônios, vitaminas, enzimas e muitas drogas podem ser determinadas no sangue ou nos fluidos biológicos.

3.5. Radionuclídeos no tratamento de doenças

Os radionuclídeos são largamente utilizados no tratamento de diversas doenças, podendo tais métodos ser divididos em três campos: a Medicina Terapêutica Nuclear, a Teleterapia e a Braquiterapia.

Existem poucas situações na medicina nuclear terapêutica em que a administração de um radiofármaco pode ser feita no paciente para o tratamento de uma doença. A mais antiga e mais conhecida aplicação é o tratamento da hiperatividade da glândula tireóide e alguns tipos de câncer tireoidal, quando são administradas pequenas doses de ^{131}I ao paciente. Outro exemplo é o uso de ^{89}Sr como paliativo de dores provocadas por metástase da próstata, câncer da mama e outros carcinomas.

A teleterapia é o tratamento de radiação onde a fonte de radiação não é mantida em contato direto com o tumor a ser tratado. A radiação usada para o tratamento pode ser de diferentes tipos e energias e originárias de diferentes fontes. As fontes radioativas emissoras gama tais como o ^{60}Co são usadas, pois são bastante convenientes, não necessitam de grande manutenção e são emissores gamas quase ideais sendo muito usados em tratamento de câncer.

A Braquiterapia é o tratamento onde a fonte de radiação está em contato direto com o tumor. Este método é usado para casos médicos muito especiais. Em muitos países em desenvolvimento, a braquiterapia tem-se tornado o método mais escolhido para o tratamento, pois os pacientes podem receber um tratamento barato e bastante efetivo. Um dos tratamentos que podem ser realizados é o do câncer na coluna cervical, podendo ser aplicado, entretanto, quando o tumor ainda não se espalhou mais que poucos centímetros, o que é a maioria dos casos. Se o tumor começa a ficar maior, a teleterapia deve ser aplicada como complementação.

3.6. Dosimetria

A dosimetria não é uma aplicação, mas sim uma acurada dosagem de irradiação. É de suma importância para todas as aplicações de radiação e pode ser uma questão de vida ou de morte.

Por esta razão, grandes esforços têm sido desenvolvidos para se certificar que as doses de radiação dadas ao pacientes estejam as mais próximas possíveis daquelas que foram prescritas pelo médico.

O IBWM (International Bureau of Weight and Measures) tem tido grande sucesso, ao longo dos últimos vinte anos, na certificação de que pacientes sofrendo de câncer tenham a dose exata de radiação no tratamento usando a terapia do ^{60}Co . Vários laboratórios padrões de dosimetria têm sido instalados, sendo que metade dos mesmos se encontra em países em desenvolvimento, cobrindo mais de 700 centros de tratamento no mundo.

A radioterapia tem-se tornado importante, devido ao aumento dos casos de câncer no mundo. Só nos países industrializados, mais da metade dos casos já é tratada com essa técnica.

Altas doses de radiação são usadas ainda em aplicações industriais, tais como esterilização de produtos médicos, vulcanização da borracha, preservação de alimentos. Novas técnicas para se aferir a dose recebida nesses produtos estão sendo desenvolvidas a cada dia.

3.7. Radiação na Biologia

Produtos médicos, tais como roupas cirúrgicas, suturas, cateteres e seringas são usualmente esterilizados pelo fabricante. Muitos desses produtos incorporam materiais sensíveis ao calor, tais como bases plásticas que não podem ser esterilizados por calor, ebulição ou vapor seco. A esterilização por gás óxido etileno ou outros produtos químicos podem introduzir algum i resíduo perigoso à saúde. Para tais produtos, a esterilização com ^{60}Co é altamente efetiva e o custo envolvido é baixo.

Implantes biológicos tais como de ossos, nervos, tendões, e outros, também, são esterilizados com sucesso por radiação gama. Novas utilizações têm sido encontradas por diversos países na área de saúde.

3.8. Nutrição

As técnicas nucleares encontraram, nas últimas décadas, um número expressivo de aplicações na pesquisa de nutrição humana. Entre os tópicos estudados está o consumo de energia para adaptação metabólica, em regiões de baixo consumo protéico, a dieta terapêutica usando-se alimentos locais para tratamento de doenças como diarreias crônicas em crianças e mesmo infecções como a hepatite B. Traçadores isotópicos estáveis como o hidrogênio, carbono, nitrogênio e oxigênio, providenciam caminhos únicos para estudar estes problemas e, ao mesmo tempo, são completamente seguros para a pessoa que está sendo estudada, pois os mesmos não são radioativos.

Técnicas nucleares analíticas, também, têm sido utilizadas para se obter informações do complemento dietético de diferentes elementos, através da dieta normal humana, em vários países do mundo. Os estudos apresentaram dados importantes hoje utilizados em guias de dieta.

4. APLICAÇÕES EM HIDROLOGIA

Embora a quantidade total de água na terra seja virtualmente constante, a distribuição não se mostra da mesma maneira. Para que a população viva, ela necessita de um limpo, contínuo e amplo suprimento de água, pois a mesma é fundamental. A manutenção da qualidade, suprimento e renovação das fontes são um conhecido problema, mas está ganhando maiores proporções com o crescimento da população e das fontes de poluição no mundo.

Antes do uso de isótopos e do desenvolvimento da instrumentação para detecção acurada dos núcleos radioativos e estáveis, era muito difícil, e algumas vezes impossível, solucionar certos problemas de hidrologia, essenciais para o planejamento agrícola, industrial e habitacional.

Muitos problemas da hidrologia são fundamentais, mas as técnicas com isótopos são uma importante ferramenta para os hidrologistas, podendo desempenhar, em muitos casos, a solução ideal para uma determinada atividade.

Os isótopos artificiais são usados, primariamente, para solucionar problemas hidrológicos locais tais como vazamentos em barragens ou definir zonas de proteção de reservatórios subterrâneos. Muitas vezes, mais informações serão obtidas, através de sofisticados modelos matemáticos que, muitas vezes, permitem obter ainda mais dados da aplicação de traçadores, como por exemplo, os utilizados em um sistema de águas subterrâneas. Os problemas onde os isótopos desempenham uma importante função incluem:

- **Água Subterrânea** (Origem, idade, distribuição, qualidade da água, ocorrências e recarga, mecanismos e interconexão entre bacias subterrâneas).

- **Água de Superfície** (dinâmica de lagos e reservatórios, vazamentos em barragens, estudo de transporte subterrâneo, medidas de vazão de rios, transporte de materiais em suspensão, taxa de sedimentação e dados em litologia, porosidade e permeabilidade).
- **Métodos** (Uso de radioisótopos artificiais e isótopos naturais).

4.1. Aplicações

Os métodos isotópicos são, normalmente, utilizados junto com aqueles hidrológicos convencionalmente estabelecidos, fornecendo, nesses casos, uma ferramenta adicional na solução de muitos problemas da hidrologia. Nos últimos anos, em centenas de casos tidos como insolúveis, os métodos isotópicos têm fornecido uma definitiva solução. Figura 4.



Figura 4. Controle de poluição de lagos, rios, barragens e estuários.

Entre os trabalhos que podem ser realizados com a utilização de isótopos pode-se destacar:

- Determinação da idade de depósitos subterrâneos de água, em locais áridos e semi-áridos;
 - Localização de áreas de desenvolvimento industrial, para certificar que não haverá contato entre as águas do lençol e as águas industriais;
 - Comparação da precipitação e vaporização da água, em áreas áridas para estudo de determinação rápida do mecanismo de recarga;
 - Estudos de poluição de água ou de alta salinidade e suas causas;
 - Estudo de transferência subterrânea de bacias aquíferas, através de falhas e movimentação interna;
 - Medição da dinâmica sedimentológica e determinação da erosão causada por poluição, infiltrações e por movimentos de terras;
 - Estudos de interações entre água subterrânea e a matriz aquífera através de isótopos ambientais e artificiais.
- Figura 5

A vantagem dos métodos nucleares é que eles fornecem, dentro de um espaço de tempo muito curto, uma resposta definitiva com um custo reduzido.



Figura 5. Aplicações no Meio Ambiente

5. APLICAÇÕES NO MEIO AMBIENTE

A poluição ambiental é hoje um problema mundial que necessita de uma ação imediata. Antes de se discutir a poluição, é importante a discussão de três fatos primordiais:

- a quantidade exata e a localização da ocorrência dos poluentes;
- as causas da poluição;
- a solução contra essa poluição, sem a criação de outros efeitos indesejáveis.

Os isótopos respondem às duas primeiras questões. O fato de que os isótopos podem ser detectados em quantidades muito pequenas, e talvez mais importantes ainda, que o seu caminho pode ser seguido ou traçado, faz deles uma ferramenta ideal para o estudo de poluentes, quer seja no ar, no solo ou na água.

Métodos para esta detecção têm sido incrementados ao longo dos anos. Isótopos estáveis podem ser medidos acuradamente por métodos nucleares como análise por ativação ou fluorescência por raios-X, sendo a última uma técnica ideal para uso em campo.

5.1. Aplicações no Ar

Um dos maiores problemas que o mundo tem enfrentado é o aquecimento global, também chamado de efeito estufa. Este perigoso e contínuo aquecimento de nossa atmosfera é devido às grandes quantidades de dióxido de carbono emitidas através da queima de carvão e de materiais orgânicos como o petróleo, madeira e lixo. As quantidades absorvidas pelos mares e plantas são o maior problema e, nesta área, os métodos isotópicos podem ter um papel importante.

Os isótopos são bastante usados nas medidas e no estabelecimento da trajetória dos poluentes e métodos nucleares, tais como a radiação por feixe de elétrons, também podem ser empregados com sucesso para remover poluentes gasosos, incluindo gases como o sulfídrico ou o óxido de nitrogênio, emitidos principalmente pelas centrais térmicas a carvão.

5.2. Aplicações na Água

O chamado ciclo de dióxido de carbono global é também muito estudado nos mares. Tirando vantagem da diferença de comportamento existente entre os isótopos de tório e urânio, é possível medir a velocidade com que células microscópicas de fitoplâncton são agregadas em grandes partículas, para então extraí-las da cadeia biológica produtiva dos oceanos. Quando se toma uma amostra do fitoplâncton de uma determinada reserva e se coloca a mesma junto a uma de amostra de dióxido de carbono marcado com ^{14}C , pode-se medir a poluição do mesmo pela medida da radioatividade, no dióxido de carbono expelido pela amostra na realização da fotossíntese, uma vez que são diretamente proporcionais. Figura 6



Figura 6. Controle de poluição dos mares e cadeia biológica

5.3. Aplicações no Solo

Como a poluição do ar e da água é mais visível e por isso mais precocemente anunciada, a poluição do solo só agora começa a se tornar um problema de mesma importância que as outras. O problema vem sendo negligenciado por um longo tempo e os poluentes a cada dia se tornam mais presentes na cadeia alimentar do homem e dos animais.

É a agricultura a grande usuária de produtos químicos, os quais entram no solo ora como fertilizantes ora como pesticidas. Quando se testa os pesticidas venenosos cuidadosamente, pode-se certificar da decomposição destes produtos tão perigosos para os homens e animais e essa decomposição, assim como o seu movimento através do solo pode ser estudado com o uso de isótopos.

Do mesmo modo, muitos dos fertilizantes utilizados na agricultura se decompõem na forma de produtos da oxidação do nitrogênio e podem se tornar um sério problema. Os métodos nucleares são ideais para determinar acuradamente essa poluição, assim como apontar soluções para diminuição da mesma.

6. APLICAÇÕES NA GEOLOGIA, GEOQUÍMICA, GEOFÍSICA E DATAÇÃO

Os métodos nucleares têm um importante e decisivo papel na geologia. São usados, por exemplo, para determinar as propriedades físicas e químicas do solo. Os métodos utilizados com o propósito de exploração são:

- **espectrometria gama;**
- **espalhamento gama;**
- **emissão de nêutrons;**
- **nêutrons pulsados;**
- **radônio natural.**

Esses métodos são bastante utilizados na pesquisa de rochas, solos, materiais biológicos e água.

Os minerais radioativos são cerca de 19 elementos e são uma parte importante da geologia. Eles têm cerca de 45 ocorrências naturais de isótopos radioativos, os quais se encontram na forma mineral e podem ser analisados quanto a sua forma física ou mesmo quanto às suas propriedades. Dos 19 elementos, os mais representativos são o urânio, o tório e o potássio.

Na prospecção de muitos minerais e de petróleo, os métodos nucleares são procedimentos de rotina e os mesmos têm sido otimizados nos últimos dez anos com a utilização de instrumentação mais sofisticada e uma avaliação mais fácil através do uso de métodos e processos computadorizados.

Os métodos de datação de isótopos constituem um campo que ganha importância na medida em que os métodos de medidas passam a ser mais refinados. Muitas pessoas não imaginam que a natureza nos premiou com muitas substâncias radioativas, mas que, constantemente, outras também tem sido criadas pela radiação cósmica. Uma delas é o ^{14}C , obtido pela interação da radiação cósmica com o nitrogênio contido no ar. As plantas absorvem o carbono radioativo com o nitrogênio contido no ar. Com a morte dessas plantas e a paralisação de sua alimentação, o ^{14}C vai decair com uma meia-vida de 5730 anos. Assim, quanto maior for o tempo decorrido após a morte da planta, menor será a concentração de ^{14}C e através desse decaimento, o tempo decorrido desde a morte até o presente poderá ser calculado. Figura 7.



Figura 7. Datação Arqueológica e Estudos de Rochas e Minerais

Nos últimos anos, os métodos que se utilizam isótopos ambientais em geoquímica como ferramenta de datação têm aumentado e a enorme quantidade de dados isotópicos de vários tipos, acumulados através do planeta, demonstra que os mesmos são uma ferramenta muito poderosa para pesquisar o clima e suas variações como também melhorar a previsão meteorológica no próximo século.

7. APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA

Muitas aplicações benéficas da radiação e dos radioisótopos na indústria foram desenvolvidas em diversas nações avançadas no mundo. O uso dos mesmos na indústria moderna é de grande importância para o desenvolvimento e melhoria de processos, medidas, automação e controle de qualidade. O crescimento desse campo de aplicação na área industrial começou muito cedo e desenvolveu-se muito rapidamente.

Nos dias atuais, todos os ramos industriais utilizam radioisótopos e radiação de alguma forma. O uso dos mesmos, na indústria de placas de aço e papel, é um dos requisitos primordiais para uma automação completa da alta velocidade nas linhas de produção.

O fato de que pequenas quantidades de substâncias radioativas possam ser medidas com precisão e rapidez, tornam os radioisótopos importantes ferramentas para pesquisas, nas quais o transporte do material é envolvido, proporcionando uma informação exata, tanto espacial como temporal do material a ser examinado.

As indústrias que utilizam técnicas de traçadores são:

- **aço, ferro, carvão, óleo, gás e petroquímica;**
- **cimento, vidro, materiais de construção;**
- **processamento mineral, polpa e papel;**
- **metais não ferrosos e indústria automotiva.**

Entre as muitas áreas em que os traçadores são utilizados destacam-se:

- **desenvolvimento de processos:** tempo de residência, taxa de fluxo, velocidade, modelagem;
- **misturadores/homogeneização:** tempo de mistura, otimização de misturas, desempenho de misturadores;
- **manutenção:** detecção de trincas, pesquisas de funcionamento, transporte de materiais.
- **desgaste e corrosão:** desgaste de turbinas, processos de corrosão em equipamentos, estudos de lubrificação.

Nos processos industriais, uma das maiores aplicações dos traçadores radioativos é o tempo de residência, com base no qual importantes parâmetros utilizados na remodelação, otimização e automação da planta podem ser obtidos.

Freqüentemente, os problemas com o funcionamento de instalações são solucionados, tais como obstrução ou estreitamento de vasos e tubos os quais são consideradas zonas mortas por causarem problemas na produção.

Em geral, esses traçadores são utilizados nas indústrias para aumentar a eficiência de processos, economizar energia e matéria-prima, reduzir tempo de paralisação de equipamentos e facilitar o desenvolvimento do trabalho.

7.1 Instrumentos com Radioisótopos

O grande impacto dos radioisótopos na indústria é o resultado do uso de instrumentos que utilizam radioisótopos. Devido à natureza da ionização produzidas pelos radioisótopos, diversas vantagens são oferecidas ao utilizar-se essa técnica. Entre elas, pode-se destacar:

- como a radiação tem penetração na matéria, as medidas podem ser feitas em contato físico direto entre o sensor e o material que está sendo medido;
- as medidas podem ser feitas na linha de produção com a movimentação do material medido, uma vez que os ensaios são não-destrutivos;
- a estabilidade da fonte é fator importante e requer somente uma manutenção mínima;
- a relação custo/benefício pode ser facilmente comprovada.

Os instrumentos com utilização de radioisótopos tornaram-se viáveis para muitas aplicações em todo tipo de indústria, permitindo muitas medidas, que não poderiam ser realizadas por outros métodos.

7.2. Gamagrafia

A radiografia utilizando os raios-X ou gama já é bem conhecida e é uma técnica rotineira no controle da qualidade por meio de ensaios não-destrutivos. Ela é aplicada para verificação de soldas, encapsulamentos, turbinas, equipamentos e componentes selados, e também de materiais cerâmicos.

Os radioisótopos, como fonte de radiação, têm a vantagem de não necessitarem de energia elétrica como os raios-X, sendo, por esta razão, usados com muita facilidade em qualquer campo de aplicação onde sejam necessários. São utilizadas diferentes fontes de radiação que vão de baixa até alta energia, que possibilitam a análise de partes de uma máquina impossível de ser examinada com raios-X.

Um dos usos mais freqüentes da gamagrafia é a verificação de soldas em gasodutos e oleodutos, permitindo que a cada dia menos acidentes com vazamentos possam ocorrer. Uma técnica nova, já em pleno uso, é a gamagrafia sem a utilização de filmes, com os equipamentos acoplados a computadores e monitores de vídeo, os quais permitem obter, integrar e otimizar a imagem através de filtros. Figura 8



Figura 8. Controle de Soldas e Trincas em Equipamentos Industriais

7.3. Autoradiografia

A radiação emitida pelos radioisótopos presentes num determinado elemento pode ser usada para criar uma imagem fotográfica de sua distribuição. Esta técnica, chamada de autoradiografia, é amplamente utilizada na pesquisa biológica e metalúrgica.

Os aperfeiçoamentos na técnica permitiram que nos últimos anos o método tivesse melhores resoluções e sejam utilizadas quantidades menores de substâncias radioativas.

7.4. Neutronografia

A neutronografia é baseada na atenuação de um feixe de nêutrons pela interação com a matéria. Alguns elementos como o hidrogênio, cádmio e boro apresentam uma forte atenuação. Sua presença, no entanto, pode ser facilmente detectada pelos nêutrons térmicos. Uma aplicação típica de neutronografia é o teste com os elementos combustíveis nucleares e a detecção de materiais hidrogenados. Figura 9

Entre os diversos usos industriais, esta técnica é usada para detectar trincas em lâminas de turbinas a gás, corrosão nos componentes de aeronaves, controle da qualidade de cerâmicas e detecção de cargas explosivas.

7.5. Detectores de Fumaça

Os modernos detectores de fumaça instalados em um grande número de indústrias, shopping centers, escritórios e hotéis são baseados na radiação emitida por uma pequena fonte radioativa. A fonte produz uma

corrente constante numa célula que representa uma câmara de ionização. As partículas de fumaça, entrando na célula pela convecção do ar ambiente, capturam os elétrons e reduzem a corrente iônica, fazendo com que essa troca acione o sinal de alarme. Esses instrumentos são extremamente sensíveis e sua confiança é inigualável.

7.6. Radiação na produção

No processo de produção, a radiação pode induzir certas reações químicas desejáveis no mesmo, como por exemplo, no caso de plásticos e de transformação. Alguns polímeros, nos quais a quebra da cadeia é induzida por radiação, podem ser manipulados para encolher quando aquecidos, uma propriedade bastante utilizada no sistema de empacotamento. A indústria de madeira e pintura utiliza extensivamente a radiação de feixe de elétrons para secagem de superfícies revestidas.

A radiação começa a ser utilizada também na decomposição séptica de rejeitos venenosos, sendo que algumas cidades começam a irradiar os produtos derivados de esgoto sanitário, permitindo assim a não utilização de muitos compostos químicos nessa decomposição, os quais contribuem também para a poluição ambiental.

Uma outra utilização é na nova área conhecida como imobilização de materiais bioativos por radiação, como drogas, enzimas, antígenos e anticorpos em materiais polimerizados.

8. BIBLIOGRAFIA

- [1] International Atomic Energy Agency. **Isotopes in Everyday Life.** Vienna/Austria:IAEA. 1990.
- [2] International Atomic Energy Agency. **Regional co-operative arrangements for the promotion of nuclear science and technology in Latin America .** Viena/Austria: IAEA. 1989.
- [3] International Atomic Energy Agency. **Nuclear Strategies in food and agriculture - 25 year of progress - 1964/1989.** Vienna/Austria: IAEA. 1989.

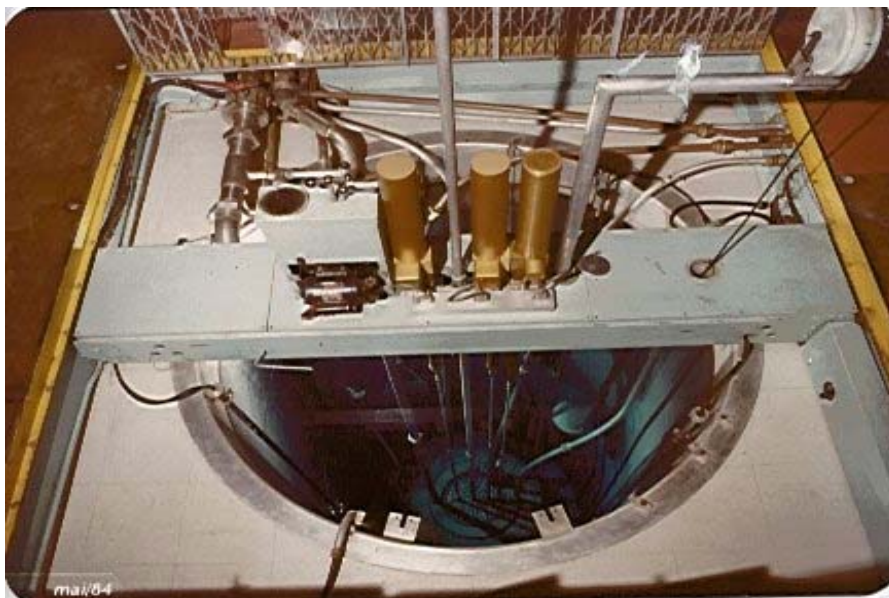


Figura 9. O Reator TRIGA IPR-R1 do CDTN/CNEN

TABELA 01**VARIEDADES MUTANTES ECONOMICAMENTE IMPORTANTES**

Produto	Variedade	País
Cevada	Trumpf, Triumph	Alemanha, Reino Unido
	Diamant, krystal	CSFR
	Midas	Reino Unido
Feijões	Gratiot, Sanilac	EUA
Mamona	Arun	India
Algodão	NIAB78	Paquistão
	Lumian No. 1	China
Grapefruit	Star Rugby	EUA
Ervilha	Wasata, Heiga, Jaran	Polonia
Semente de Colza	Stellar	Canadá
Arroz	Calrose76, M-401	EUA
	Kashmir Basmati	Paquistão
	IRAT 13	Costa do Marfim
	RD 6	Tailândia
	Atomita II	Indonésia
	Yaunfengzao	China
Gergelim	Ahnsanggae	Coréia
	Kalika	India
Cana de Açúcar	Co 449, Co 997	Índia
Girassol	Pervenets	USSR
	Castelporziano, Creso	Itália
	Cargidurox	França
	Novosibirskaya 67	USSR
	Sirius	Alemanha
	Mv 8	Hungria

TABELA 02**PESTES DE INSETOS E A TÉCNICA DE ESTERILIZAÇÃO DE INSETOS**

<u>INSETO</u>	<u>USO PRÉVIO</u>	<u>USO CORRENTE</u>
Lagarta parafuso	Curaçao, EUA, México, Porto Rico, Ilhas Virgens Americanas	Guatemala, Belize, Lybia
Mosca de frutas do Mediterrâneo	Itália (e), Peru (e), México, EUA (introdução acidental)	Guatemala, EUA (introdução acidental)
Mosca do Melão	Japão (e)	Japão
Mosca Oriental de Frutas	Rota, Hawaii (e)	
Mosca da Cebola	Holanda (e)	Holanda (controle)
Mosca de Fruta Mexicana	EUA/México (e)	EUA/México (Quarentena)
Mosca da Cereja	Suíça (e)	
Moscas de Frutas Diversas		Diversos Países (e)
Gorgulho Rosa do Algodão	EUA (e)	EUA (Quarentena)
Bruxa da Maçã	Canadá (e), EUA (e)	Canadá (Controle)
Bruxa Gypsy	EUA (e)	EUA
Mosca Tsetse (4 espécies)	Tanzânia (e), Burkina Faso (e), Nigéria (e)	Nigéria
Broca do Algodão	EUA (e)	
Mosca Ovelheira	Austrália (e)	
Mosquitos	El Salvador (e)	
Mosca Estável	St. Croix, EUA (e)	
Lagarta do Tabaco	St. Croix, EUA (e)	

NOTA: A tabela mostra as pestes de insetos para as quais a Técnica de Esterilização de Insetos (SIT) ou métodos de controle genéticos estão sendo usados ou desenvolvidos. O objetivo é a erradicação ou outro controle conforme notação. A letra (e) indica que está em teste piloto experimental. (DADOS/1990/AIEA)

TABELA 03
EXEMPLOS MUNDIALMENTE APROVADOS DE IRRADIAÇÃO DE
ALIMENTOS E IRRADIADORES

PAÍS		PRODUTO
Argentina	●	Especiarias, espinafre, chocolate em pó
Bangladesh	●	Batatas, cebolas, peixe seco, frutos do mar congelados, pernas de rãs
Bélgica	●	Especiarias, vegetais desidratados, comida congelada e frutos do mar
Brasil	●	Especiarias, vegetais desidratados
Canadá	●	Especiarias, batatas, cebolas
Chile	●	Especiarias, vegetais desidratados, cebolas, batatas, frango
China	●	Batatas, alho, maçãs, especiarias, cebolas, salchicha e vinho chinês
Cuba	●	Batatas, cebolas, cacau
Dinamarca	●	Especiarias
Finlândia	●	Especiarias
França	●	Especiarias, vegetais da estação, aves domésticas congeladas
Hungria	●	Especiarias, cebolas, cortiça
Índia	●	Especiarias, cebolas, batatas
Indonésia	●	Especiarias, tubérculos e raízes
Israel	●	Especiarias, batatas, cebolas, grãos em geral
Japão	●	Batatas
Coréia	●	Alho em pó, batatas, cebolas
Holanda	●	Especiarias, produtos congelados, aves domésticas, vegetais desidratados, arroz, ovos em pó, alimentos embalados
Noruega	●	Especiarias
Paquistão	●	Batatas, cebolas, alho, especiarias
África do Sul	●	Batatas, cebolas, frutas, especiarias, carne, peixe, frango, alimentos processados, vegetais
Espanha	●	Batatas, cebolas
Síria	●	Batatas, cebolas, frango, frutas, especiarias
Tailândia	●	Cebolas, salsichas de porco fermentadas, batatas
Rússia		Batatas, cebolas, cereais, frutas frescas e secas e vegetais , carne e produtos de carne, aves e grãos em geral
EUA		Especiarias, aves e frutas
Iugoslávia		Especiarias, cereais, carne e aves

TABELA 04

APLICAÇÕES GERAIS DA IRRADIAÇÃO DE ALIMENTOS

PROPÓSITO	DOSE ABSORVIDA (Kgy)	PRODUTOS
Dose Baixa (acima de 1 kGy)		
Inibição de germinação	0,05 - 0,15	Batatas, cebolas, alho e gengibre
Desinfecção de parasitas e insetos	0,15 - 0,50	Cereais e grãos, frutas frescas e secas, peixes e carnes salgadas e secas, carne de porco fresca
Retardamento de amadurecimento	0,50 - 1,0	Frutas frescas e vegetais
Dose Média (1-10 kGy)		
Prolongamento de vida em prateleira	1,50 - 3,0	Peixe Fresco, Morangos, etc.
Eliminação de Fungos e Bactérias e microorganismos patogênicos	2,0 - 7,0	Frutos do mar frescos e congelados, Carne fresca e em conserva
Aumento de propriedades naturais dos alimentos	2,0 - 7,0	
Dose Alta (10-50 kGy)		
Descontaminação de aditivos alimentícios e ingredientes	0 - 50	Especiarias, preparação de enzimas, gomas naturais , etc.
Esterilização comercial (em combinação em alguns casos com esterilização térmica)	30 - 50	Carne, aves em geral, frutos do mar, alimentos semipreparados, dietas hospitalares, etc.

TABELA 05
PAÍSES QUE TRABALHAM COM ISÓTOPOS EM HIDROLOGIA NOS
QUAIS A AIEA TEM PARTICIPAÇÃO

Afeganistão	Filipinas	Paquistão
Albânia	França	Peru
Alemanha	Gana	Polônia
Arábia Saudita	Grécia	Portugal
Argélia	Guatemala	Qatar
Argentina	Haiti	Reino Unido
Austrália	Hungria	República Dominicana
Áustria	Índia	Romênia
Bangladesh	Indonésia	Senegal
Bolívia	Iraque	Singapura
Brasil	Irã	Síria
Bulgária	Islândia	Sri Lanka
Camarões	Israel	Sudão
Canadá	Itália	Tailândia
Chile	Jamaica	Tanzânia
China	Líbia	Tunísia
Chipre	Malásia	Turquia
Colômbia	Mali	Uruguai
Costa Rica	Marrocos	USA
CSFR	Maurício	Venezuela
Cuba	México	Vietnã
El Salvador	Mongólia	Yugoslávia
Emirados Árabes Unidos	Namíbia	Zaire
Equador	Nicarágua	Zâmbia
Espanha	Nigéria	
Etiópia	Nova Zelândia	