

I-080 - QUALIDADE RADIOLÓGICA DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

Raúl M. L. Fernandes

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

António A. L. Sampaio Duarte⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal. Doutor em Engenharia Civil, ramo Hidráulica e Ambiente, pela Universidade do Minho, Braga, Portugal. Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal - Telefone: (351) 253 604 728 – correio-e: aduarte@civil.uminho.pt

RESUMO

A avaliação da radioactividade na água para consumo humano tem sido algo subvalorizada em Portugal, nomeadamente pelas entidades gestoras das origens de água e de sistemas de abastecimento, apesar de a sua ingestão poder causar efeitos muito nocivos na saúde humana.

A ocorrência dos radionuclídeos naturais nas águas para consumo humano está associada principalmente a captações no subsolo, em locais com ocorrência de depósitos naturais de elementos radioactivos. A dissolução dos radionuclídeos naturais dá-se lentamente, podendo ocorrer durante centenas ou milhares de anos, originando o aumento das suas concentrações nas águas subterrâneas.

Este trabalho teve como objectivo a recolha de informação referente aos riscos para a saúde pública devido ao consumo de uma água contaminada radiologicamente, a análise comparativa de normas e procedimentos aplicados ao controlo da radiação na água de consumo, a identificação de diferentes alternativas de tratamento de águas radiologicamente poluídas e suas eficiências, e a apresentação de uma ferramenta informática de gestão da qualidade radiológica das águas para consumo humano.

A reflexão a nível europeu e nacional sobre a utilização de energia nuclear, como alternativa economicamente viável aos combustíveis fósseis, pode vir a colocar novos e difíceis desafios no âmbito do controlo da qualidade radiológica da água a nível das bacias hidrográficas, nomeadamente as suportam usos da água para consumo humano ou actividades recreativas com contacto directo.

PALAVRAS-CHAVE: qualidade radiológica; enquadramento legislativo; remoção de radionuclídeos; programa *RadQual*

INTRODUÇÃO

Após o acidente com a central nuclear de Chernobyl, assistiu-se a um incremento do controlo da radioactividade no ambiente (e em particular nas origens de água) nos vários estados-membros da União Europeia e nos EUA. Assim, surgiram procedimentos e normas com o objectivo de assegurar o acompanhamento da exposição efectiva das populações, através de uma monitorização ambiental das águas para consumo humano, especialmente as captadas em regiões com características geológicas de elevado fundo radiológico.

A exposição humana à radiação ionizante é dominada pela radiação de origem natural, existente em todos os ecossistemas, pelo que a maior proporção da exposição humana é devida a fontes externas de radiação (cósmica e terrestre) complementada, em menor grau, pela exposição interna resultante da inalação ou ingestão de materiais radioactivos (Figura 1, adaptada de OMS, 2006).

Em algumas regiões europeias, a água para consumo humano é uma fonte importante de exposição à radiação (Annamäki *et al*, 2000). Países como Alemanha, Finlândia, França, Espanha, Portugal e Suécia assumem ter encontrado elevadas concentrações de radionuclídeos naturais na água para consumo humano e/ou em águas minerais naturais, estando as zonas com acumulação de radionuclídeos naturais associadas aos grandes depósitos europeus de materiais uraníferos conhecidos (e.g., a zona central ibérica).

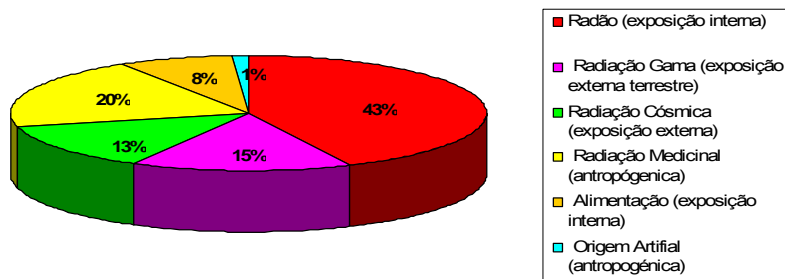


Figura 1: Fontes e distribuição média das doses de radiação na população mundial

Os níveis de radionuclídeos naturais no ambiente podem aumentar devido a actividades antropogénicas, tais como processos tecnológicos de extracção e processamento de urânio, operação e acidentes em de centrais nucleares, testes de armamento nuclear na atmosfera e emissão de cinzas por centrais térmicas.

Em Portugal, a monitorização das águas para consumo é efectuada pela análise das águas das redes de abastecimento em vários aglomerados populacionais de forma a abranger a totalidade do País, mas com especial ênfase na análise de sistemas situados em regiões graníticas (Madruga *et al*, 2006).

O decaimento de um elemento é a forma pela qual certos núcleos compensam o seu excesso de neutrões originando um ou mais núcleos mais estáveis (menos energéticos), através de processos de emissão de radiação e de partículas radioactivas. Esta transformação natural e espontânea de isótopos instáveis ocorre por emissão de partículas alfa (α), beta (β) ou de radiação gama (γ), representada na Figura 2 (Carvalho, 2003).

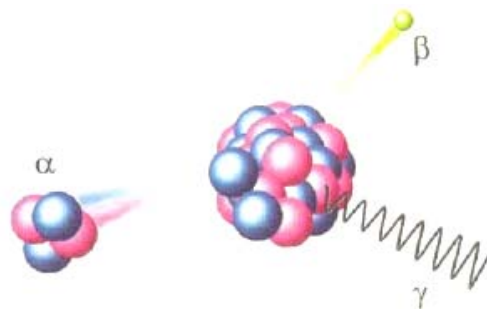


Figura 2: Emissão de partículas alfa, beta e de radiação gama

A radiação *alfa*, tem uma elevada massa pelo que interage facilmente com a matéria, deslocando-se escassos centímetros no ar e pode ser detida por uma simples folha de papel. A radiação *beta* tem alcance de vários metros no ar sendo, no entanto detida por uma fina placa de aço (5 mm). A radiação gama, dado o seu carácter electromagnético, é muito penetrativa, podendo percorrer centenas de metros no ar, sendo necessária uma parede de betão com 50 cm para a deter. Os tipos de radiação que têm maior risco associado à ingestão de água para consumo humano são as partículas *alfa* e *beta* (USEPA, 2000).

Os efeitos das radiações ionizantes dependem basicamente da dose absorvida, pelo que quanto maiores forem as taxas de doses absorvidas, maiores são as probabilidades de dano, de mutações precursoras de cancro e de morte celular.

Nesta comunicação será apresentada uma análise comparativa de normas e procedimentos aplicados ao controlo da radiação na água de consumo a nível internacional, uma abordagem dos riscos para a saúde do consumo de água radiologicamente poluída, a divulgação de dois projectos internacionais, um europeu, o projecto TENAWA (Annamaki e Turtiainen, 2000), e outro norte-americano (USEPA, 2002) salientando as diferentes alternativas de tratamento e monitorização de águas radiologicamente poluídas, efectuando-se a análise comparativa dos processos e uma ferramenta informática (o *RADQUAL*) para apoio à gestão da qualidade radiológica da água para consumo humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Conceitos, unidades de radioactividade e isótopos relevantes em águas de abastecimento

Os parâmetros de qualidade da água para consumo humano são geralmente expressos em *mg/L* ou em *ppm* (partes-por-milhão). Porém, as substâncias radioactivas possuem propriedades específicas que inviabilizam a utilização destas unidades convencionais, sendo necessários dois conceitos para descrever a radioactividade: actividade e dose de radiação.

O conceito de actividade é utilizado para descrever a quantidade de transformações de uma substância radioactiva ocorridas num determinado intervalo de tempo (USEPA, 2000). A unidade S.I. utilizada é o *Becquerel* (Bq) e corresponde a uma transformação ou desintegração por segundo. Os valores de referência da actividade dos radionuclidos nas águas para consumo humano são geralmente expressos em concentração, considerando um volume de controlo (Bq/L). Para quantificar a protecção aos efeitos da radiação utiliza-se o conceito de dose absorvida, expresso em *Gray* (Gy), que equivale à quantidade de radiação que provoca a absorção de *1 J/kg* de matéria exposta à radiação.

Quando são avaliados os efeitos da radiação nos organismos vivos, a absorção de quantidades de radiação equivalentes de energia por unidade de massa em condições de irradiação diferentes não garante o mesmo efeito biológico. Para se caracterizar a diferente capacidade de interações biológicas das diferentes radiações, surgiu o conceito de *dose equivalente*. A unidade SI de dose equivalente é o *Sievert* (Sv). A dose equivalente resulta do produto da dose absorvida por um factor adimensional relacionado com o tipo de radiação.

Os isótopos relevantes nas águas para consumo humano são aqueles que possuem uma semi-vida suficientemente longa para chegar até ao consumidor, através dos sistemas públicos de distribuição de água. Os radionuclidos com semi-vida inferior a uma hora não devem ser considerados no controlo de qualidade da água, pois considera-se que decaem ainda antes da água ser consumida (USEPA, 2000).

Vários organismos governamentais, como a USEPA e a CDW (Canadá) publicaram valores de referência para a concentração máxima aceitável (CMA) da actividade de radionuclidos que podem surgir na água para consumo humano. No cálculo desses valores são ponderadas as doses de exposição, o grupo etário e o consumo médio diário de água da seguinte forma:

$$\text{CMA (Bq / L)} = \frac{0,1 \text{ (mSv / ano)}}{730 \text{ (L / ano)} \times \text{Dc (Sv / Bq)} \times 1000 \text{ (mSv / Sv)}} \quad \text{equação (1)}$$

considerando-se os pressupostos nesse cálculo (CDW, 2006):

- uma dose de referência de 0,1 mSv/ano, adoptando-se as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2004), onde se assume que apenas 10% de toda a dose absorvida é devida ingestão de água, sendo os restantes 90% devidos à ingestão de outros alimentos;
- um consumo médio diário de 2 L de água;
- valores do coeficiente de dose (Dc) propostos pelo *International Commission on Radiological Protection* (ICRP, 1996).

Efeitos da radiação ionizante na Saúde Publica

Quando as diversas radiações emitidas pelos radionuclidos atravessam os tecidos vivos do organismo, produzem uma ionização dos átomos, fenómeno que se designa por *radiotoxicidade*. Alguns compostos radioactivos apresentam, também, *químico toxicidade*, como sucede no caso do urânio, que afecta selectivamente determinados órgãos (e.g., os rins). Após a ingestão, os radionuclidos continuam a emitir radiações, que vão afectar os diferentes órgãos de forma continuada (Mendes e Oliveira, 2004).

O radão quando dissolvido nas águas de consumo não representa uma preocupação acrescida em termos de saúde pública, porque não forma qualquer tipo de composto químico no corpo humano. Contudo, a ingestão de radão através da água pode aumentar o risco de cancro no estômago, devido à irradiação de células sensíveis no tracto gastrointestinal após a rápida absorção e difusão pela corrente sanguínea (Wisser, 2003).

A exposição à radiação tem efeitos biológicos que variam com o tempo de exposição e o tipo de radiação. A acção da radiação ionizante pode traduzir-se directamente na quebra das cadeias de ácido desoxirribonucleico (ADN) do núcleo celular, ou por efeitos indirectos decorrentes da formação de radicais livres altamente reactivos. Se estas quebras na cadeia de ADN não forem corrigidas correctamente pelo organismo, pode ocorrer morte celular, ou, caso a célula sobreviva (ainda que portadora da anomalia genética), pode dar-se a reprodução dessa anomalia e originar a formação de massas cancerígenas. Quanto maiores forem as taxas de dose absorvida, maiores são as probabilidades de dano somático (náuseas, vômitos, queda do cabelo, hemorragias), de mutações precursoras de cancro e de morte celular. Os efeitos hereditários ou genéticos resultam de danos em células dos órgãos reprodutores. Este tipo de efeitos tem carácter cumulativo e são independentes da taxa de absorção da dose. Os tipos de doenças cancerígenas normalmente associados à exposição radioactiva são a leucemia e os cancros do pulmão, da mama, da tiróide, da pele e do aparelho digestivo (CDW, 2006).

Parâmetros de controlo da poluição radiológica: enquadramento legislativo

O Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN), através do Departamento de Protecção Radiológica e Nuclear (DPRSN), tem sido a entidade responsável pela vigilância radiológica ambiental em Portugal, elaborando um relatório anual onde se apresentam os resultados da monitorização de vários parâmetros ambientais, em meios hídricos e nas águas para consumo humano. A monitorização das águas para consumo é efectuada pela análise das águas das redes de abastecimento em vários aglomerados populacionais de forma a abranger globalmente o país, dando-se especial ênfase à análise de sistemas situados em regiões graníticas (Madruga *et al*, 2006).

As actividades *alfa* e *beta* totais são geralmente obtidas, em simultâneo, pela medição da actividade em residuo seco de uma amostra de água, previamente recolhida na torneira de do consumidor e acidificada na altura da colheita, de modo a evitar perdas de actividade devido a precipitação, polimerização ou formação de partículas coloidais.

A Directiva do Concelho Europeu 98/83/CE, transposta para o direito interno de cada estado-membro da União Europeia, fixou como parâmetros radioactivos a radioactividade alfa e beta total, o trítio (como indicador de radionuclidos de origem artificial) e a Dose Indicativa Total (DIT), definida como a soma das contribuições individuais de cada radionuclido, dada pela seguinte equação:

$$DIT = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ref.,i}} \leq 1 \tag{equação (2)}$$

Na Figura 3 apresentam-se quadros comparativos que ilustram as diferenças na consideração de valores paramétricos no controlo da qualidade radiológica preconizada na legislação portuguesa (semelhante à da UE) e a vigente nos EUA (USEPA, 2000), onde se definem os valores-limite de MCL (*Maximum Contaminant Level*).

	Parâmetro Radioactivo	Valor Paramétrico
Portugal	Activ. α - Total	0.1 Bq/L ⁻¹
	Activ. β - Total	1.0 Bq/L ⁻¹
	Tritio	50 Bq/L ⁻¹
	Dose Indicativa Total	0.1 mSv/ano ⁻¹

	Parâmetros	MCL	MCL (Unidades SI)
E.U.A	Rádio-226/-228	5 pCi/L	0.2 Bq/L
	Activ. Alfa total	15 pCi/L(exclui radão e urânio)	0.6 Bq/L
	Partículas Beta	4 mrem/ano	0.04 mSv/ano
	Urânio	30 µg/L	-

Indicadores de radionuclidos de origem artificial

Figura 3: Comparação do enquadramento legislativo português e norte-americano

Em Portugal, de acordo com a *Nota Técnica 2004/IRAR/DQA/NG/0344* do Instituto Regulador de Águas e Resíduos (IRAR), no caso de se verificar que a actividade alfa total é superior a 0,1 Bq/L ou a actividade beta total de 1,0 Bq/L, deve-se proceder à determinação da concentração dos radionuclidos específicos presentes na água e, posteriormente, ao cálculo da DIT.

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda, na 3.^a edição das *Guidelines for Drinking-Water Quality* uma metodologia de controlo da radioactividade nas águas para consumo humano composta por duas fases. Na primeira fase, é efectuada o controlo e monitorização da actividade *alfa* total e *beta* total, tendo como valores de referência 0,5 Bq/L e 1,0 Bq/L, respectivamente. Se os valores de referência forem excedidos, passa-se a uma segunda fase, onde são investigadas as concentrações individuais dos radionuclidos e comparadas com os valores de referência para cada um deles. Trata-se duma metodologia semelhante à efectuada em Portugal, na EU e no Canadá e que pode ser traduzida numa árvore de decisão que se representa na Figura 4.

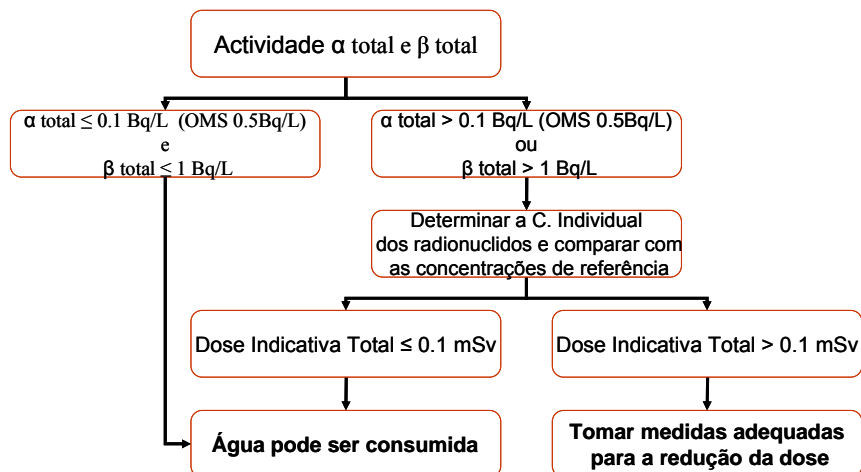


Figura 4: Controlo da qualidade radiológica da água para consumo humano (Portugal e OMS)

Actualmente, a USEPA define quatro grupos de parâmetros de controlo dos radionuclidos (indicados na Figura 3), que são a combinação de isótopos de rádio (onde o isótopo ²²⁶Ra emite radiação alfa e o isótopo ²²⁸Ra emite radiação beta), os emissores alfa (excluindo o radão e o urânio), os emissores beta (de origem antropogénica) e os isótopos de urânio ²³⁴U, ²³⁵U, e ²³⁸U (emissores de radiação alfa).

No entanto a monitorização dos sistemas de abastecimento de água apresentam particularidades associadas à revisão da periodicidade das medições a efectuar em função das características desses sistemas e dos resultados das anteriores campanhas de amostragem, podendo ser uma base metodológica a considerar na Europa visando uma maior racionalização dos avultados custos de monitorização destes parâmetros de qualidade da água.

A monitorização preconizada pela USEPA é feita em cada ponto de entrada do sistema e para os quatro parâmetros de controlo definidos, através da recolha e análise de quatro amostras trimestrais, de modo a obter informação acerca da variação das concentrações de radionuclidos durante as várias estações do ano. Terminada a monitorização inicial e mediante os resultados das análises iniciais, é permitida a redução da frequência da monitorização em cada ponto de entrada do sistema de abastecimento (Tabela 1).

Tabela 1: Influência da monitorização inicial na frequência de amostragem (USEPA, 2000)

Resultados da monitorização inicial:	Frequência de amostragem:
< Limite mínimo de detecção	1 amostra a cada 9 anos
Dentro do limite de detecção, mas ≤ 1/2MCL	1 amostra a cada 6 anos
> 1/2MCL e < MCL	1 amostra a cada 3 anos
> MCL	amostras trimestrais

No caso de um sistema se encontrar numa situação que permita a redução da frequência de amostragem, este só poderá permanecer nessa situação enquanto os resultados das análises assim o permitirem. Por outro lado, sempre que se verifique o incumprimento de um MCL deve ser iniciada a amostragem trimestral, até que se completem quatro análises trimestrais consecutivas abaixo do MCL.

RESULTADOS

Redução da dose de radionuclídeos

As ETA convencionais podem eliminar entre 70 a 90% dos radionuclídeos naturais presentes nas águas de superfície, através de diferentes técnicas de tratamento adequadas às diferentes substâncias radioactivas. Contudo estes processos de remoção dos radionuclídeos das águas de abastecimento concentram a radioactividade, sendo necessária atenção especial à forma como é manuseado o resíduo produzido no processo de tratamento.

O projecto europeu TENAWA surgiu após a constatação de diversos países europeus de que as suas águas subterrâneas poderiam conter grandes concentrações de radionuclídeos naturais, visando os seguintes objectivos:

- fornecer recomendações acerca das técnicas mais adequadas para a remoção de radão (^{222}Rn), urânio (^{238}U , ^{234}U), rádio (^{222}Ra), chumbo (^{210}Pb) e polónio (^{222}Po) das águas destinadas ao consumo e com diferentes propriedades físico-químicas;
- testar as eficiências de remoção dos radionuclídeos naturais pelos equipamentos disponíveis comercialmente;
- desenvolver novos materiais, membranas absorventes e filtros eficientes na remoção dos radionuclídeos;
- propor um conjunto de normas para o tratamento e destruição dos resíduos radioactivos produzidos no tratamento da água.

O esquema de tratamento das ETA inclui diferentes operações e processos unitários, que poderão ser adaptados à remoção dos radionuclídeos naturais, nomeadamente o arejamento, filtração, floculação e amaciamento com cal. O tratamento avançado, associado a operações e processos mais eficientes, tais como a osmose inversa ou a nanofiltração por membrana, é ainda muito dispendioso, só sendo economicamente sustentável em unidades de pequenas dimensões.

Segundo os resultados obtidos no projecto TENAWA (2000) a remoção por arejamento de outros radionuclídeos naturais (além do radão) não é praticável, podendo a eficiência de remoção do radão, por arejamento, atingir os 98%, variando com o tipo de difusores utilizados. A remoção de radão em filtros de carvão activado granular (CAG), é uma solução apresentada como fácil e de baixo custo para o tratamento de águas no consumidor, como solução individual.

A adopção de filtros de carvão activado (eficientes) para remoção dos isótopos de urânio, rádio, chumbo e polónio, permitem atingir eficiências que excedem os 95% (Wisser, 2003).

Os processos baseados na permuta iónica são habitualmente utilizados no amaciamento de água. Este processo é adequado para estações de tratamento de pequena dimensão e é particularmente eficaz na remoção dos isótopos de urânio e rádio (TENAWA, 2000). A eficiência do processo de permuta iónica aplicado à remoção de radionuclídeos dos isótopos de urânio, rádio, polónio e chumbo das águas para consumo humano excede os 90% (Wisser, 2003).

Os processos de remoção de radionuclídeos utilizando membranas especiais (osmose inversa e nanofiltração) foram também testados neste projecto obtendo-se eficiências de remoção dos radionuclídeos muito elevadas, em que os catiões, neutrões e aniões dos isótopos de urânio presente na água bruta, podem ter eficiências de remoção pelas membranas de nanofiltração de 95%. A osmose inversa provou ser um método adequado para a remoção dos isótopos de rádio e de urânio da água obtendo-se eficiências superiores a 98%.

O não cumprimento dos limites de MCL, impostos pela USEPA, implica a adopção de soluções de natureza diversa que visem o cumprimento dessas normas, que passam pela mudança do local ou do tipo de captação, pela diluição da água (com recurso a captações alternativas), ou pelo recurso a tecnologias de tratamento específicas para remoção de radionuclídeos aprovadas pela USEPA, quer as relativas às *melhores técnicas disponíveis* (MTD), quer as técnicas mais adequadas a sistemas de abastecimento de pequena dimensão (TAPS), e que constam da Tabela 2.

Tabela 2: Tecnologias aprovadas pela USEPA para remoção de radionuclidos da água de consumo

TECNOLOGIA	CLASSIFICAÇÃO
Permuta iónica	MTD, TAPS
Osmose inversa	MTD, TAPS
Amaciamento com cal	MTD, TAPS
Coagulação/Filtração avançada	MTD, TAPS
Filtros de areia	TAPS
Co-precipitação com sulfato de bário	TAPS
Electrodialise/ electrodialise inversa	TAPS
Alumina activada	TAPS

Na Tabela 3 apresentam-se algumas das tecnologias propostas pela USEPA para o tratamento dos radionuclidos presentes na água. Na selecção da tecnologia a adoptar os gestores do sistema devem ponderar diversos factores, nomeadamente o cumprimento de toda a legislação sobre qualidade da água, a necessidade de formação dos operadores dos equipamentos, a natureza da água captada (água superficial ou subterrânea), e os problemas relacionados com o tratamento dos resíduos que o processo de tratamento produz.

Tabela 3: Tecnologia adequada ao tratamento dos radionuclidos na água, para os valores de MCL a corrigir (B- Beta total, C-Rádio-226/Rádio-228 G- Alfa total, U- urânio).

Tecnologia	Nível Técnico Operador	Tipo de Água bruta	MCL a corrigir
Permuta Iónica	Intermédio	Todas as águas subterrâneas	C,B,U
Permuta Iónica (POU)	Básico	Todas as águas subterrâneas	C,B,U
Osmose Inversa	Avançado	Águas de superfície + pré-filtração	C,G,B,U
Osmose Inversa (POU)	Básico	Águas de superfície +pré-filtração	C,G,B,U
Amaciamento com Cal	Avançado	Águas superfície e subterrâneas	C,U
Coagulação/Filtração avançada	Avançado	Vasto tipo de águas	U
Filtros de Areia	Básico	-	C
Co-precipitação c/ sulfato de bário	Interm./Avançado	Águas subterrâneas de qualidade	C
Electrodialise/ Electrodialise Inversa	Básico a Intermédio	Todas as águas subterrâneas	C
Alumina Activada	Avançado	Todas as águas subterrâneas	U

Programa de gestão da qualidade radiológica da água (RADQUAL)

No sentido de atingir o objectivo de desenvolver de uma ferramenta informática de gestão para o controlo da qualidade radiológica da água, criou-se e desenvolveu-se a ferramenta informática *RADQUAL*, em ambiente Microsoft Excel, tornando-a assim um instrumento de fácil utilização, conferindo-lhe até uma dimensão pedagógica apropriada à formação avançada de recursos humanos no domínio do tratamento de água.

Na sua concepção foi necessário proceder a uma análise crítica de critérios, variáveis e funcionalidades a incorporar nesta ferramenta informática. Após uma vasta pesquisa bibliográfica, resultou a percepção da limitação de informação existente e disponível sobre este tema da qualidade radiológica da água. Desenvolvimentos futuros visarão a melhoria deste programa incorporando a possibilidade de sugerir soluções técnicas de tratamento que permitam a correcção das concentrações acima dos valores paramétricos legais.

O programa *RADQUAL*, até agora desenvolvido, tem como objectivo efectuar a gestão de dados referentes à análise da qualidade radiológica da água, organizando-os segundo os critérios de frequência actualmente exigidos em Portugal, permitindo a visualização e comparação entre os valores obtidos nas análises e os valores paramétricos (das normas da Organização Mundial de Saúde e do Decreto-Lei 243/2001). Foi adicionado um módulo ao programa, referente aos critérios de controlo da radiação regulados pela USEPA, em que o *RADQUAL* faz a gestão de dados referentes à monitorização inicial trimestral pelo período de um ano, verificando o cumprimento dos critérios definidos para os valores máximos de contaminante (MCL). A monitorização inicial é feita para cada ponto de entrada do sistema de abastecimento com frequência trimestral e tem a duração de 4 anos.

A metodologia para a utilização do RADQUAL é a seguinte:

- Posicionar-se obrigatoriamente na página de *Introdução de Dados*;
- Pressionar o ícone “RADQUAL” para aceder Menu Inicial ao programa (Figura 5);
- Proceder ao preenchimento dos dados requeridos pelo programa, em função da metodologia de análise seleccionada (Figura 6);
- Pressionar o ícone “gráficos” para visualizar os resultados obtidos (Figura 7);

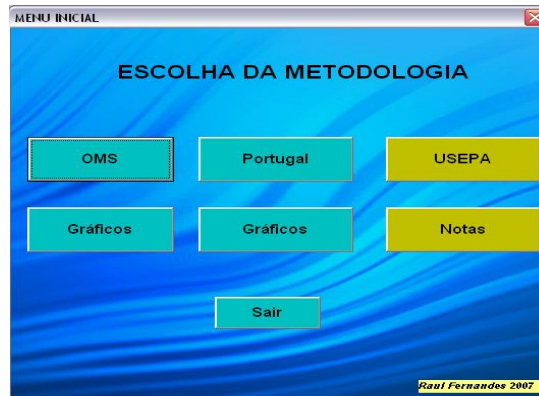


Figura 5: Menu Inicial da ferramenta informática RADQUAL

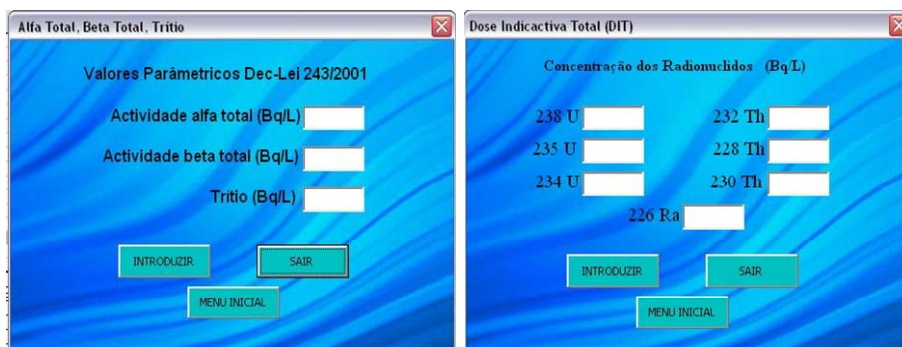


Figura 6: Menu de introdução de dados do RADQUAL

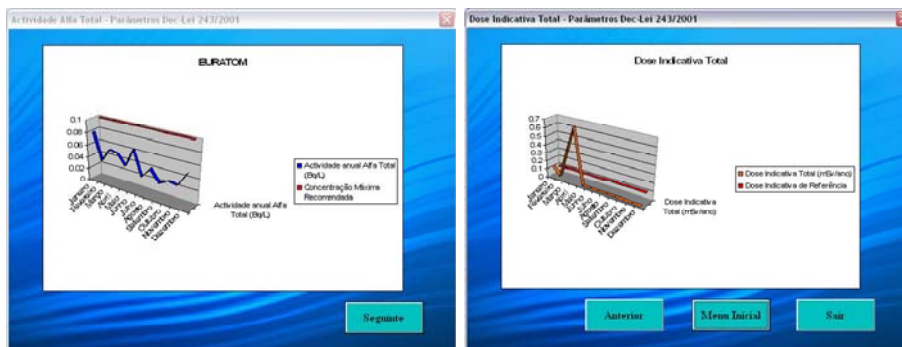


Figura 7: Módulo de visualização gráfica de resultados do RADQUAL

A opção de criação dum módulo de base de dados teve como objectivo simplificar e facilitar a actualização do programa RADQUAL, de modo a ser possível o seu desenvolvimento futuro. Na actual versão do RADQUAL apenas foram programados os campos de preenchimento para sete dos radionuclidos naturais.

Os procedimentos efectuados pelo RADQUAL foram estruturados de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 8 e permitem uma análise comparativa entre os valores analíticos obtidos na monitorização (que podem ter uma frequência mensal) e os valores paramétricos associados a cada uma das metodologias consideradas. Na Figura 9 apresenta-se um exemplo dos resultados do RADQUAL quando seleccionada o modelo de gestão da USEPA.

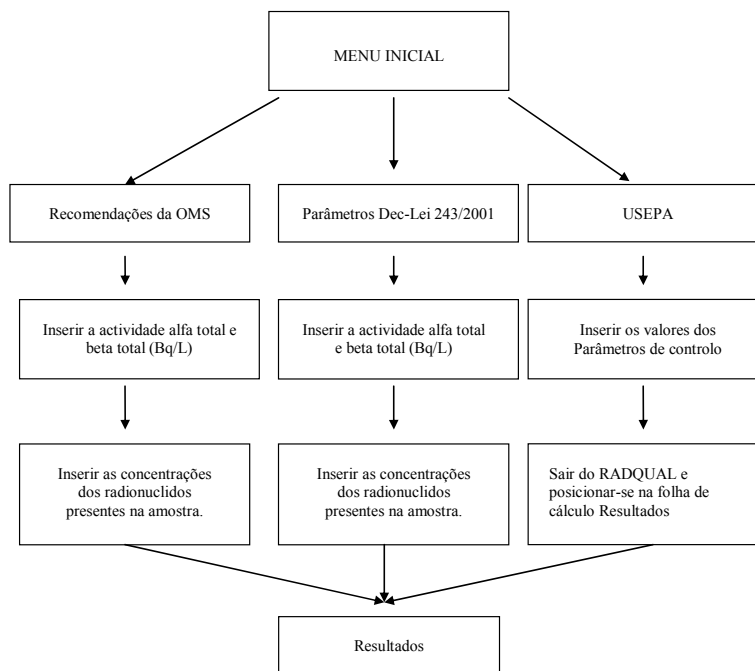


Figura 8: Estrutura dos procedimentos do RADQUAL

	1) Alfa total (pCi/L)	2) Beta Total (pCi/L)	3) Rádio-226 Rádio-228 (pCi/L)	4) Urânio µg/L
Fevereiro	0.19 < 4xMCL OK	0.04 NÃO APLICAVEL	0.13 < 4xMCL OK	20.00 < 4xMCL OK
Maio	0.28 < 4xMCL OK	0.04 NÃO APLICAVEL	0.22 < 4xMCL OK	0.00 < 4xMCL OK
Agosto	0.11 < 4xMCL OK	0.04 NÃO APLICAVEL	0.33 < 4xMCL OK	0.00 < 4xMCL OK
Novembro	0.37 < 4xMCL OK	0.04 NÃO APLICAVEL	0.44 < 4xMCL OK	11.00 < 4xMCL OK
Média Anual	0.24 < que MCL OK!	NÃO APLICAVEL	0.28 < que MCL OK!	7.75 < que MCL OK!

Figura 8: Resultados do RADQUAL – metodologia de gestão da USEPA

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Em Portugal, os radionuclidos naturais nas águas de consumo relacionam-se com captações de água em litologias de rochas graníticas eruptivas plutónicas, pelo que a região das Beiras, Minho e Trás-os-Montes são as de maior risco.

As tecnologias disponíveis para a remoção de radionuclidos, embora eficazes, implicam, na maioria dos casos, avultados investimentos para a sua instalação em ETA, estando algumas delas ainda em fase de investigação.

Da análise das diferentes normas e procedimentos internacionais no domínio do controlo da qualidade da água para consumo humano destacam-se as diferenças entre os sistemas português e norte-americano, de modo a contribuir para uma melhoria das normas vigentes em Portugal e uma racionalização dos procedimentos de monitorização.

A USEPA aprovou recentemente um programa de vigilância radiológica com reduções significativas da frequência de análise dos parâmetros radiológicos, com base em critérios predefinidos. No limite é possível, mediante a verificação de critérios mais exigentes, alargar-se o intervalo de monitorização para uma amostra a cada nove anos, facto que representa uma redução substancial dos custos associados à monitorização da qualidade radiológica das origens de água, mantendo-se sempre essa garantia nas águas destinadas ao consumo humano.

O *RADQUAL* constitui uma ferramenta muito útil para o controlo da qualidade radiológica da água para consumo humano, permitindo a comparação de resultados obtidos através de diferentes metodologias e gestão.

A reflexão a nível europeu e nacional sobre a utilização de energia nuclear, como alternativa economicamente viável aos combustíveis fósseis, pode vir a colocar novos e difíceis desafios no âmbito do controlo da qualidade radiológica da água a nível das bacias hidrográficas, nomeadamente as suportam usos da água para consumo humano ou actividades recreativas com contacto directo. Esta problemática torna ainda mais urgente a adopção de metodologias de avaliação de riscos mais eficazes, mais seguras e economicamente mais racionais, de modo a efectivar um controlo adequado e tendencialmente universal da qualidade radiológica da água nos sistemas de abastecimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANNANMAKI, M., TURTIAINEN, T. e OUTROS. Treatment techniques for Removing Natural Radionuclides from Drinking Water (TENAWA). STUK-A169. Helsinquia, Finlândia, 2000.
2. CARVALHO, F.. A Radioactividade e os Seres Vivos, Instituto Tecnológico e Nuclear. Departamento de Protecção Radiológica e Segurança Nuclear, Sacavém, 2003.
3. CDW. Radiological Characteristics of Drinking Water, Document for Public Comment, Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water, Canadá, 2006.
4. DECRETO-LEI N.º 243/2001, (DR 206 SÉRIE I-A de 2001-09-05), Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.
5. EURATOM (1996), Council Directive 96/29, laying down basic safety standards for the health of workers and the general public against the dangers arising from ionizing radiation, Brussels.
6. MADRUGA, M. J.; CARVALHO, P.; REIS, M.; PINHÃO, N.; ALVES, J. Vigilância Radiológica a Nível Nacional, Relatório DPRSN, Série A, n.º 30/06, Instituto Tecnológico e Nuclear, Lisboa, Portugal, 2006.
7. MENDES, B. e OLIVEIRA, S.. Qualidade da Água Para Consumo Humano, Lidel - Edições Técnicas, Lda, Lisboa, 2004.
8. OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. Electronic version for the Web, 2006.
9. USEPA. Radionuclides Notice of Data Availability Technical Support Document, United States Environmental Protection Agency, 2000.
10. USEPA. Radionuclides in Drinking Water: A Small Entity Compliance Guide, United States Environmental Protection Agency, 2002. (www.epa.gov/safewater)
11. WISSER, S., (2003), Balancing Natural Radionuclides in Drinking Water Supply, an investigation in Germany and Canada with respect to geology, radiometry & legislation , STUK—Radiation and Nuclear Safety Authority Helsinki- Finland.