

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1. Fontes de Radionuclídeos

O aporte de elementos radioativos no meio oceânico pode se dar por duas vias, natural e artificial. Primordialmente, as fontes de radionuclídeos naturais são a crosta terrestre – principalmente rochas e minerais – e a atmosfera. No primeiro caso, o vento e a água participam do processo de intemperismo da rocha, erodindo-a e lixiviando-a, de forma a promover o carreamento de elementos radioativos, originalmente nela presentes, para o meio oceânico. No segundo caso, formam-se elementos radioativos a partir do bombardeamento contínuo por raios cósmicos de átomos de elementos presentes na atmosfera, sendo esses radionuclídeos posteriormente transferidos para o meio oceânico por mecanismos tanto de deposição conjunta com particulados maiores, quanto por dissolução e precipitação em águas pluviais (Joseph et al., 1971).

São quatro as fontes de radionuclídeos artificiais de aporte provável no ambiente marinho: a) deposição submarina de rejeitos radioativos; b) perdas de materiais radioativos diretamente no mar; c) liberações acidentais de efluentes de instalações nucleares localizadas em terra firme e, d) liberações controladas de efluentes líquidos radioativos de baixa atividade a partir da costa (IAEA, 1999).

No presente trabalho, isótopos de rádio ocorrendo naturalmente no ambiente foram aplicados para estudar a mistura de águas no estuário do rio Paraíba do Sul, situado no estado do Rio de Janeiro.

## 1.2. Radionuclídeos Naturais como Traçadores

A margem oceânica é uma zona de intensas interações biogeoquímicas. É nesta zona que vários processos ocorrem (o material particulado carregado pelos rios encontra a água do mar, gradientes hidráulicos permitem a descarga de água subterrânea para o oceano costeiro, o ciclo de carbono orgânico é bem desenvolvido e a renovação de espécies químicas reativas é intensa).

A determinação das vazões associadas com esses processos é frequentemente difícil, mas radionuclídeos naturais de um grupo de traçadores coletivos são eficientes nesta função. A seleção do traçador apropriado para um dado processo depende tanto do comportamento geoquímico e meia-vida de um radionuclídeo como de um dado processo (Cochran et. al., 2006).

A utilidade de um radioisótopo natural como um traçador em sistemas marinhos, depende de suas características químicas e radioquímicas, suas origens e a escala de tempo de interesse. O  $^{228}\text{Ra}$  ( $t_{1/2} = 5,7$  anos) é um traçador natural valioso para processos de mistura marinha na ordem de 1-30 anos, mas é de pouco uso em delinear o processo relativamente a curto prazo. O  $^{224}\text{Ra}$  ( $t_{1/2} = 3,7$  dias), filho do  $^{228}\text{Th}$ , é um traçador ideal para processos marinhos que ocorrem em uma escala de 1-10 dias. Processos com uma escala de tempo nesta faixa incluem trocas rio-estuário, estuário-oceano, movimentos de massa d'água na plataforma continental, e trocas de água intersticial em pântanos (Levy et al., 1985).

Segundo Moore (1999), vários traçadores têm sido usados para evidenciar as trocas que ocorrem entre águas subterrâneas e águas costeiras, incluindo  $^{222}\text{Rn}$ , isótopos de Ra, Ba, e metano. Esses traçadores são altamente enriquecidos nas águas salgadas de aquíferos costeiros.

Isótopos de rádio têm sido utilizados por vários autores como traçadores para determinar taxas de transporte em estuários e baías (Moore, 1984; Torgersen et al., 1996; Turekian et al., 1996; Krest et al., 1999), em que o decaimento e a diluição dos isótopos de rádio, determinados através do corpo d'água baseado em amostras, foram comparados às concentrações de rádio em sua fonte, ou seja, em rios, descarga de águas subterrâneas, ou difusão de sedimentos (Dulaiova e Burnett, 2008).

Em águas doces, o Ra adsorve-se intensamente às partículas; em águas salobras encontra-se principalmente dissolvido. Essas diferenças no comportamento químico do Ra são devido a uma mudança no coeficiente de adsorção do Ra entre água doce e água do mar, devido ao coeficiente de partição da água. Li et al. (1977) demonstraram que as atividades de  $^{226}\text{Ra}$  no estuário foram maiores do que as atividades encontradas tanto no rio como no oceano. Alegou-se que a dessorção do Ra ligado às superfícies das partículas ocorre quando as partículas entram em contato com as águas de grande força iônica do estuário. Medidas experimentais da liberação do Ra das partículas carregadas pelo rio provaram que esse mecanismo foi importante no fornecimento de Ra para o estuário.

Uma vez que os isótopos de Th estão fortemente ligados aos sedimentos, estes funcionam como uma fonte contínua de atividade de  $^{224}\text{Ra}$  e  $^{223}\text{Ra}$ , a qual é regenerada em dias. Desta forma, a mistura freqüente dos sedimentos próximos à costa numa profundidade de poucos centímetros fornece uma fonte de atividade de  $^{224}\text{Ra}$  e  $^{223}\text{Ra}$  acompanhada por pequena atividade de  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{228}\text{Ra}$ . Foi verificado por Moore (1996) que águas costeiras contêm muito mais  $^{226}\text{Ra}$  do que o fornecido pela dessorção das partículas carregadas pelo sedimento. Rama e Moore (1996) e Moore (1996) propuseram que a descarga direta da água salina subterrânea no mangue, estuários e zona costeira fornece a maior parte do excesso de  $^{226}\text{Ra}$ . A água subterrânea também fornece atividades de  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{223}\text{Ra}$  e  $^{224}\text{Ra}$ .

### 1.3.

#### **Caracterização da Bacia do Rio Paraíba do Sul**

A Bacia do Rio Paraíba do Sul está situada na região sudeste do Brasil, entre as latitudes S: 20°26' e 23°39' e as longitudes W: 41° e 46°30', e ocupa aproximadamente 55.400 km<sup>2</sup>, compreendendo os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. A Bacia abrange 180 municípios, com uma população total de 5.588.237 (Souza Jr, 2004).

Segundo AGEVAP (2007), trata-se de território quase completamente antrópico, com a mata atlântica original restrita a parques e reservas florestais. O próprio rio tem seu curso marcado por sucessivas represas, destinadas à provisão de água e eletricidade para as populações da bacia e também da região metropolitana do Rio de Janeiro. Em razão disso, o rio encontra-se hoje em estado ecológico crítico, com margens assoreadas e 40% da sua vazão desviada para o rio Guandu. Suas águas também são utilizadas para abastecimento industrial, preservação da flora e fauna e disposição final de efluentes.

No estado do Rio de Janeiro, o rio percorre 37 municípios, numa extensão de 500 km, praticamente quase a metade do território do estado. Sua importância estratégica para a população fluminense pode ser avaliada pelo fato de que o Rio Paraíba do Sul é a única fonte de abastecimento de água para mais de 12 milhões de pessoas, incluindo 85% dos habitantes da região metropolitana, localizada fora da bacia, seja por meio de captação direta para as localidades ribeirinhas, seja por meio do rio Guandu, que recebe o desvio das águas do rio Paraíba para aproveitamento hidrelétrico (FEEMA, 2007).

Apesar da Bacia do Rio Paraíba do Sul ser fortemente urbanizada e industrializada, o principal usuário da água, em termos de volume de captação, é o setor de irrigação ( $49,73 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ), se não se considerarem as transposições dos Rios Paraíba do Sul ( $160 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) e Pirai ( $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) para a região metropolitana do Rio de Janeiro. O abastecimento urbano utiliza cerca de  $16,50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  enquanto que o setor industrial capta  $13,65 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , superando somente o setor de pecuária, cujo consumo é inferior a  $4 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

O aumento substancial do abastecimento de água da população urbana na bacia, nas últimas décadas, não foi acompanhado dos mesmos índices de coleta de efluentes domésticos e, principalmente, do seu tratamento, provocando impactos negativos importantes na qualidade das águas. A poluição doméstica é atualmente considerada como a mais crítica da bacia.

A Bacia do Rio Paraíba do Sul é caracterizada por uma diversidade de indústrias, desde a química à metalúrgica, e à produção de papel. No trecho paulista, o número de empresas de grande porte – setores químico, metalúrgico – e alto potencial poluente é expressivo. Mas é no trecho fluminense, na região do médio Paraíba, que a questão da poluição é mais crítica, uma vez que esta região concentra a maioria das empresas industriais da Bacia. O norte fluminense é caracterizado por indústrias distintas das outras regiões da Bacia, incluindo usinas de álcool e açúcar, e empresas de bebidas; enquanto que na região serrana predominam empresas têxteis e metalúrgicas. Recentemente, um número significativo destas empresas instalou sistemas de tratamento de efluentes, não eliminando, no entanto, a ocorrência de lançamentos de cargas tóxicas nos rios.

A pecuária é a atividade econômica que ocupa maior extensão na Bacia. Cerca de 70% das terras estão cobertas por campos/pastagens, degradados em maioria pelas freqüentes queimadas e pela criação de gado em fortes declividades. A agricultura ocupa uma área bem menor (menos de 10%), mas representa uma das mais importantes fontes de poluição do solo e da água pelo uso descontrolado de fertilizantes e agrotóxicos (Gruben et al., 2002).

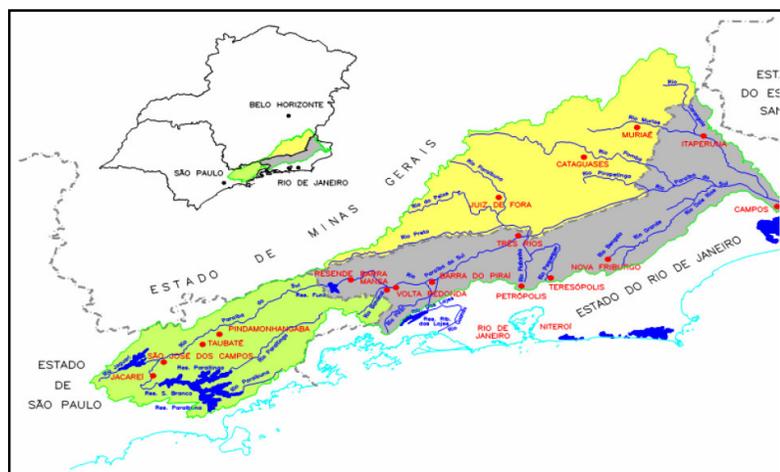


Figura 1: Mapa geográfico com a localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul. (Adaptado de Agência Nacional de Águas/ANA, 2008).

#### 1.4. A Foz do Rio Paraíba do Sul

O Rio Paraíba do Sul é formado pela confluência dos rios Paraitinga e Paraibuna, na serra da Bocaina (MG), e deságua no norte fluminense, no município de São João da Barra no estado do Rio de Janeiro, percorrendo uma extensão aproximada de 1.150 km. Essa região está localizada a aproximadamente 40 km ao norte de Campos dos Goytacazes.

O clima é tropical, quente e úmido, com estações chuvosas na primavera e no verão. Geralmente, a época chuvosa tem início em outubro e se prolonga até fevereiro. O mês mais seco recai em julho ou agosto. O mês mais quente costuma ser março, com média superior a 25 °C, e o mês mais frio julho, com média próxima a 19 °C. A umidade relativa do ar é alta, permanecendo em torno de 80%; a evaporação é elevada (Lauria, 1999).

No canal da foz existe um grande fluxo de barcos utilizados para pesca.