

DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE RENOVAÇÃO DE AQUÍFEROS CÁRSTICOS ATRAVÉS DA CONCENTRAÇÃO DE TRÍTIIO AMBIENTAL NA REGIÃO DE MONTES CLAROS - MG

Marcos Machado Drumond¹, Paulo Sérgio Pelógia Minardi¹ e Antonio Plata Bedmar²

Resumo - Apresenta-se neste trabalho um estudo realizado para determinar os tempos de renovação em dois sistemas aquíferos cársticos, situados na região de Montes Claros-MG, utilizando-se as concentrações de trítio (³H) nas águas subterrâneas. Os tempos de renovação dos aquíferos foram determinados comparando-se as concentrações de trítio encontradas em 31 amostras de água, com as curvas *concentração de trítio (C_t) x tempo de renovação (τ)*, previamente estabelecidas para a região, com base em informações da rede mundial da AIEA e na aplicação do modelo de renovação exponencial.

Abstract - It is presented in this paper a study to determine the residence times of two karstic hydrologic systems, located at the Montes Claros-MG region, using the groundwater tritium concentrations. The residence times were determined by comparing the tritium concentrations of 31 water samples with the *tritium concentration (C_t) x residence time (τ) curves*, previously established to the region of the study, based on the AIEA's world net data and on the exponential renovation model.

Palavras-chave - aquíferos cársticos, tempo de renovação, hidrologia isotópica e trítio ambiental.

INTRODUÇÃO

A determinação de parâmetros hidráulicos de aquíferos cársticos pelos métodos convencionais da Hidrologia, como se sabe, apresenta grandes dificuldades em razão da grande variabilidade desses parâmetros, tanto no espaço quanto no tempo. Isso se deve ao regime concentrado da circulação de água desses aquíferos, que ocorre através de fissuras, fraturas e canais de dissolução distribuídos de forma irregular no meio subterrâneo. Nesse contexto, as técnicas da Hidrologia Isotópica e dos Traçadores Artificiais assumem grande importância, por permitirem a determinação de parâmetros

¹ Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN / CNEN - Cidade Universitária - Pampulha - Caixa Postal 941 - Telefone: (031) 441.3131 - Fax: (031) 441.3249 - E-Mail: drumond@urano.cdtm.br
CEP 30161-970 - B. Hte. - MG. - Brasil

² Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas - CEDEX - Alfonso XII, 3 y 5 - 28014 - Madrid
Fax 335 72 49 - Telefone 335 74 68

hidráulicos como, por exemplo, origem e idade da água, tempo de renovação do aquífero, velocidade e vazão de fluxos, taxas de infiltração, recarga, permeabilidade, entre outros, de forma relativamente simples e segura.

Durante os anos de 1995 e 1996, o CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, em cooperação com a AIEA - Agência Internacional de Energia Atômica, desenvolveu um projeto (CNEN/CDTN, 1996) em bacias cársticas na região da cidade de Montes Claros - MG, onde foram utilizadas as técnicas de traçadores artificiais e de isótopos ambientais para a caracterização hidrogeológica dos sistemas aquíferos ali existentes. Esse projeto visava levantar subsídios para o plano de expansão do sistema de abastecimento de água potável de Montes Claros, assim como para a exploração racional dos aquíferos daquela região para irrigação.

Dentre outras, as atividades desenvolvidas no projeto incluíam: medições de isótopos estáveis para determinar a origem da água subterrânea, a relação entre estas e as águas superficiais, e a modalidade de recarga; análises hidroquímicas para estabelecer a origem e a interconexão das águas; marcação de sumidouros com traçadores fluorescentes para estabelecer as conexões e tempos de trânsito de fluxos subterrâneos; ensaios de infiltração na zona não saturada, utilizando trítio artificial para determinação da recarga; e medições de concentração de trítio de origem termonuclear em amostras de águas subterrâneas para a determinação da "idade" das águas e o tempo de renovação dos aquíferos.

O trabalho aqui apresentado é um resumo dessa última atividade que visava, em última análise, avaliar a vulnerabilidade dos aquíferos, do ponto de vista do tempo de renovação dos mesmos.

CONCENTRAÇÃO DE TRÍTIO NAS PRECIPITAÇÕES

Como se sabe, uma das conseqüências das explosões termonucleares ocorridas no planeta, a partir do ano de 1952, foi o aumento significativo das concentrações de trítio (^3H), que é um isótopo do hidrogênio, nas águas das chuvas. Assim, através da análise das concentrações desse isótopo nas águas subterrâneas (normalmente essas concentrações são expressas em Unidade de Trítio, sendo que 1 UT corresponde a um átomo de ^3H para 10^{18} átomos de ^1H), pode-se determinar não só se as águas infiltraram-se recentemente (depois de 1952), mas também o tempo de renovação do aquífero.

Para efetuar a interpretação dos valores de concentração de trítio é necessário conhecerem-se as concentrações desse isótopo nas precipitações ocorridas na área do estudo durante os últimos 40 anos, ou seja, desde o início dos testes nucleares na atmosfera. Embora não se disponha dessas informações para a região de Montes Claros, é possível estimar-se, de forma bastante aproximada, os valores médios anuais a partir dos registros feitos em uma rede global de estações estabelecida pela AIEA (IAEA, 1992), que dispõe de dados, no Brasil, para as cidades de Brasília, Rio de Janeiro, Cuiabá, Porto Velho, Porto Alegre, Ceará Mirim, Fortaleza e Manaus, durante o período de 1965 até o início da década de 1980.

Após uma análise dos dados das estações brasileiras, concluiu-se que poder-se-ia adotar, para a região de Montes Claros, os próprios registros da estação de Brasília, para

o período em esteve em operação, de 1965 a 1976. Para completar a série, fez-se um estudo de correlação entre os dados de Brasília, os dados das demais estações brasileiras (1958/59 e 1977/83), os dados da estação modelo do hemisfério sul situada em Kaitoke na Nova Zelândia (1960/64 e 1984/87) e o modelo adotado para o hemisfério norte (Plata, 1993) (1953/57). Os valores relativos ao período de 1988 a 1994, foram estimados interpolando-se o valor adotado para o ano de 1987 e o valor da concentração de trítio encontrado em águas superficiais de represas da região. A série completa de valores de concentrações médias anuais de trítio obtidas para a área em estudo é apresentada na segunda coluna da Tabela 1.

Considerando que as amostras de água para este estudo foram coletadas no ano de 1995 e que a meia vida do trítio é de cerca de 12,4 anos, fez-se a correção devido à desintegração radioativa do trítio presente na águas das chuvas, para o período compreendido entre cada ano da série e o ano de 1995, de forma a que se pudesse comparar essas concentrações de trítio com as observadas nas amostras de água subterrânea, tendo-se como base o ano em que foram coletadas as amostras. Os valores corrigidos até o ano de 1995 são apresentados na terceira coluna da Tabela 1.

Na quarta coluna, são apresentados os valores das concentrações médias para cada ano, considerando-se a mistura das águas precipitadas nos anos anteriores. Esses valores foram os utilizados para a interpretação dos resultados das concentrações de trítio encontrados nos aquíferos da região em estudo.

CONCENTRAÇÕES DE TRÍTIO NAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Conforme mencionado, o estudo teve por objeto dois sistemas aquíferos da bacia do rio Verde Grande, situados na região de Montes Claros - MG. O primeiro, que deverá ser utilizado para a expansão do sistema de abastecimento de água potável de Montes Claros, é formado pelas sub bacias dos rios Pai João, Cedro e Pacuí, e se localiza próximo àquela cidade (ver Figura 1). O segundo, que vem sendo explorado, principalmente, para fins de irrigação, encontra-se na sub bacia do rio Caititu, próximo à cidade de Francisco Sá (ver Figura 2). Nos aquíferos próximos a Montes Claros, foram coletadas amostras de água em 15 pontos. As análises de concentração de trítio foram realizadas no laboratório da AIEA em Viena, na Áustria e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 1, em destaque, próximo ao ponto onde foi coletada a amostra. No sistema aquífero do rio Caititu, foram coletadas amostras de água em 16 pontos distribuídos na bacia. As análises também foram feitas em Viena e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 2. As concentrações de trítio encontradas, como era de se esperar, ficaram abaixo da concentração máxima estimada, que foi de 3,78 (Tabela 1). Os resultados indicam também que as concentrações de trítio se distribuem de forma bastante irregular em ambas as áreas estudadas.

Tabela 1 - Concentrações de trítio nas chuvas na região de Montes Claros

Ano	Conc. Trítio (UT)	Conc. 1995 (UT)	Conc.Média (UT)
1953	1,2	0,12	3,14
1954	13,0	1,32	3,21
1955	1,9	0,20	3,26
1956	8,3	0,94	3,34
1957	5,3	0,64	3,40
1958	5,1	0,65	3,47
1959	3,9	0,52	3,55
1960	15,2	2,16	3,64
1961	11,0	1,65	3,68
1962	16,2	2,58	3,74
1963	28,4	4,77	3,78
1964	48,2	8,56	3,75
1965	41,3	7,75	3,59
1966	40,6	8,06	3,44
1967	29,5	6,19	3,28
1968	29,0	6,43	3,17
1969	27,4	6,43	3,05
1970	21,2	5,26	2,91
1971	21,0	5,51	2,81
1972	16,6	4,6	2,70
1973	14,9	4,37	2,61
1974	16,2	5,02	2,53
1975	13,8	4,52	2,40
1976	10,3	3,57	2,29
1977	6,3	2,29	2,22
1978	6,4	2,49	2,21
1979	5,1	2,09	2,20
1980	4,9	2,11	2,20
1981	4,6	2,09	2,21
1982	3,6	1,76	2,22
1983	3,3	1,70	2,26
1984	4,3	2,35	2,31
1985	4,2	2,42	2,30
1986	3,7	2,25	2,29
1987	3,6	2,29	2,30
1988	3,4	2,30	2,30
1989	3,2	2,29	2,30
1990	3,0	2,27	2,30
1991	2,8	2,24	2,30
1992	2,7	2,28	2,32
1993	2,6	2,33	2,35
1994	2,5	2,36	2,36

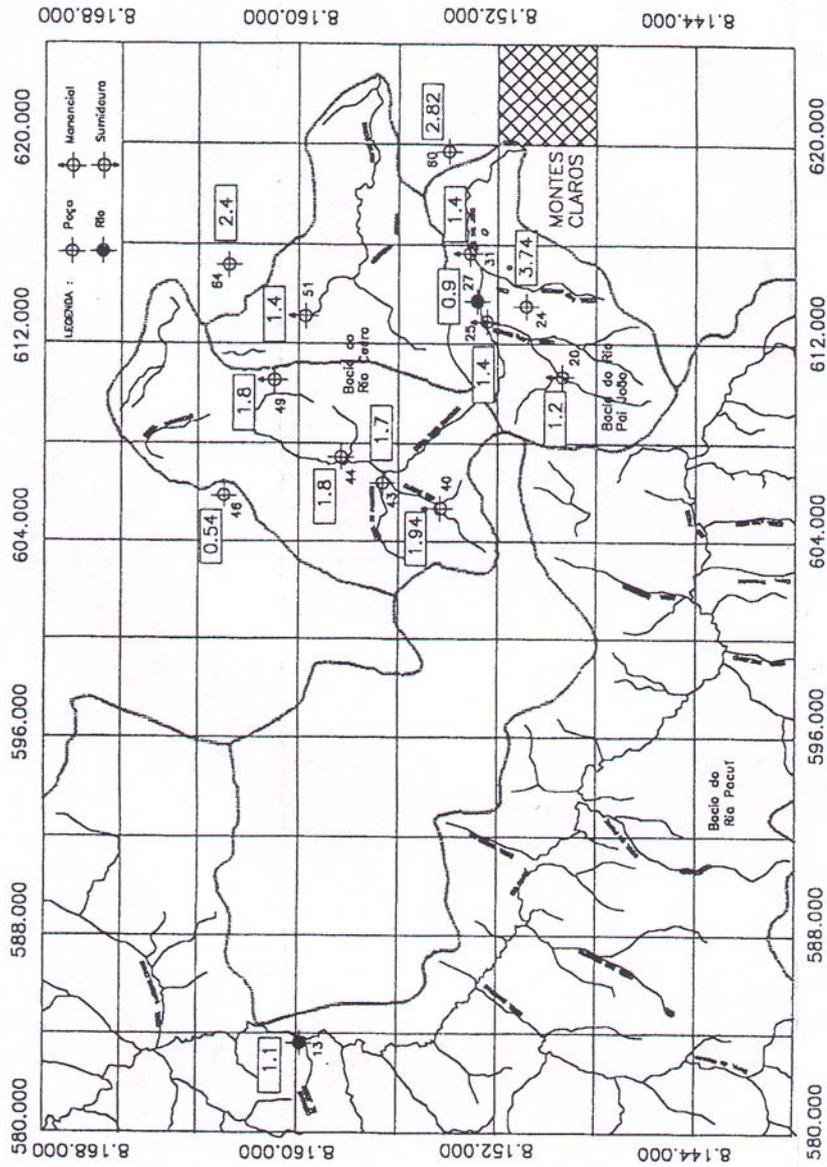


Figura 1 - Concentrações de Tritio no Sistema Aquífero Próximo à Cidade de Montes Claros

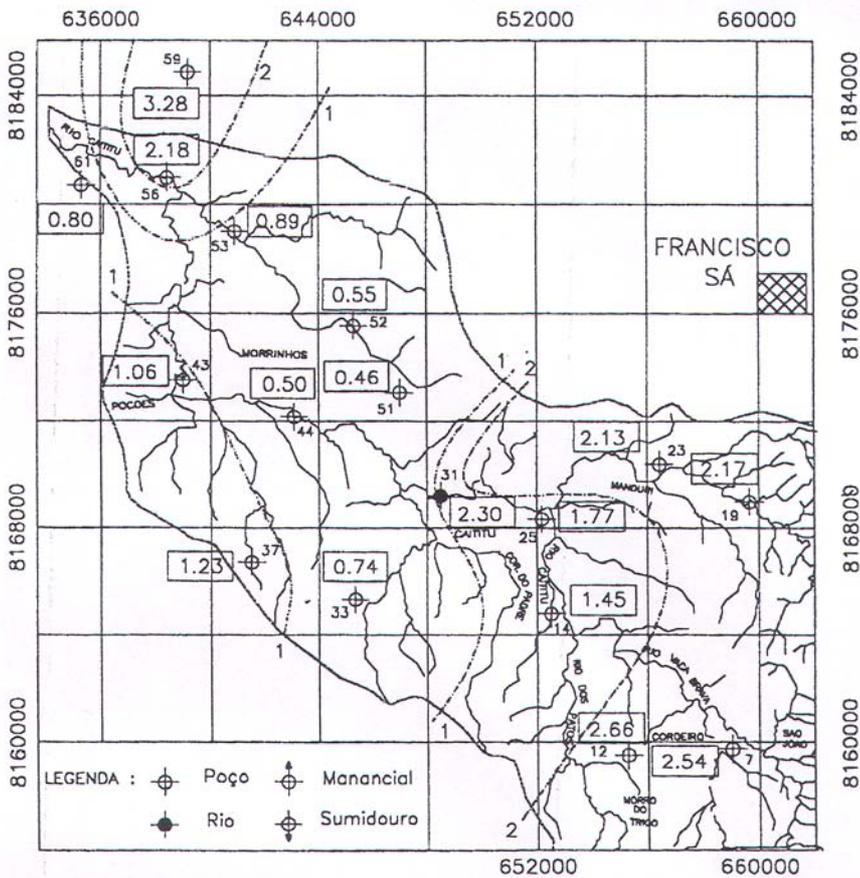


Figura 2 - Concentração de Trítio no Sistema Aquífero da Bacia do Rio Caititu

TEMPO DE RENOVAÇÃO DOS AQUÍFEROS

Para a determinação dos tempos de renovação dos aquíferos, tem-se utilizado, com resultados bastante satisfatórios, o modelo de renovação exponencial (Fritz e Fontes, 1986). Neste modelo considera-se a existência de células nos aquíferos, onde a composição isotópica e a composição química das águas são, aproximadamente, homogêneas. Cada célula de mistura se caracteriza por ter um volume constante de água (recarga = descarga) e uma determinada concentração de trítio, representada por um ou mais valores correspondentes a poços ou mananciais abastecidos pela mesma. Supõe-se então, que qualquer fração de recarga que penetra dentro da célula se mistura uniformemente com a água ali existente, em um tempo muito curto em comparação com o tempo de renovação da célula, que é definido pela relação volume/descarga. Considerando-se essa célula, tem-se a seguinte equação de balanço do trítio, no seu interior:

$$Q \cdot C_0(t) - Q \cdot C(t) - \lambda \cdot V \cdot C(t) = V \cdot \frac{dC(t)}{dt} \quad (1)$$

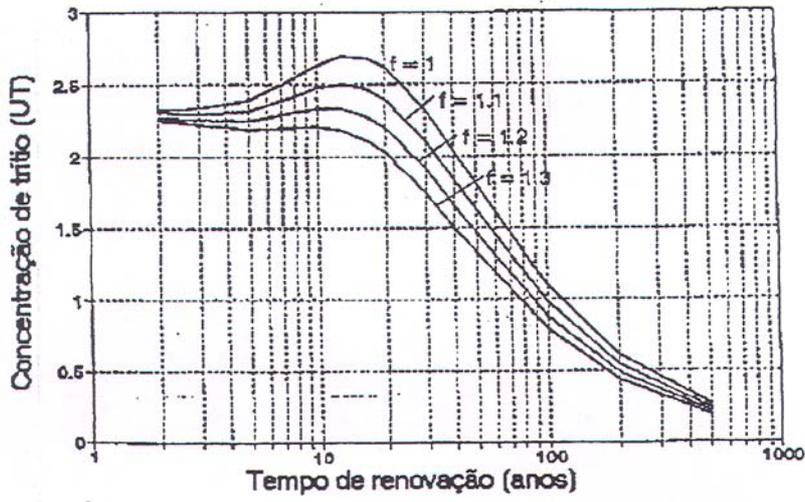
onde o primeiro termo é a parcela que entra, o segundo a parcela que sai, o terceiro a parcela referente à desintegração do trítio e a quarta a variação na concentração de trítio. Como o tempo de renovação é dado por $\tau = V/Q$, tem-se a seguinte solução para essa equação:

$$C_t = \frac{1}{\tau} \cdot \int_{-\infty}^t C_0(t') \cdot \exp\left[-\frac{1 + \lambda \cdot \tau}{\tau} \cdot (t - t')\right] dt' \quad (2)$$

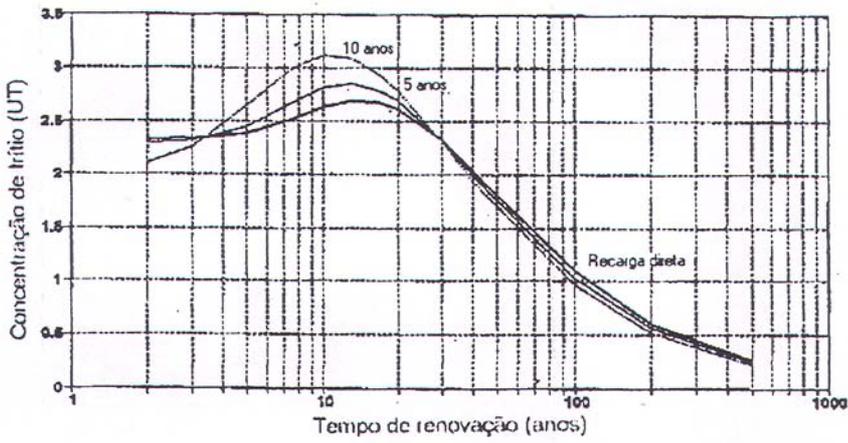
onde o termo $C_0(t')$ corresponde à função de entrada do trítio no sistema, ou seja, os valores da última coluna da Tabela 1; e o termo $t - t'$ equivale ao tempo transcorrido desde o ano correspondente a cada valor de $C_0(t)$ e o momento em que foram coletadas as amostras (t'). A equação final do modelo se resolve como um somatório de todas as contribuições parciais ao valor de C_t , procedentes do trítio que entrou no sistema nos sucessivos anos desde o 1953, até o momento da coleta das amostras. Assume-se que o trítio que entrou sistema antes de 1953 não é significativo para as concentrações atuais.

Após a obtenção da curva $C_t \times \tau$, através da equação final do modelo, foram necessárias, ainda, duas correções. A primeira, em razão do retardo devido à porosidade primária dos aquíferos cársticos, foi feita multiplicando-se a constante de desintegração λ por um fator de retenção f , que varia entre 1,1 e 1,2 para a maioria dos casos; e a segunda, feita em função da desintegração radioativa durante o período de retardo provocado pelas camadas de materiais granulares de porosidade média que, em alguns locais, cobrem a formação calcárea. Com base em resultados de ensaios realizados na região, estimou-se a taxa de infiltração nessas camadas, que é da ordem de 70 cm/ano, resultando em retardos da ordem de 5 a 10 anos.

Na Figura 3, são mostrados os gráficos $C_t \times \tau$ finais obtidos após a correção pelo fator de retenção devido à porosidade primária (3a) e após a correção devido ao retardo provocado pela camada de cobertura da formação calcárea (3b).



3.a



3.b

Figura 3 – Gráficos $C_t \times \tau$ para região de Montes Claros

CONCLUSÕES

A comparação dos resultados da concentração de trítio nos pontos amostrados com as curvas C_t x τ obtidas nos permite uma série de conclusões acerca do tempo de renovação dos aquíferos estudados. Entre outras, destacam-se:

- Todas as águas com concentrações de trítio próximas ou maiores que 2 UT procedem de precipitações recentes e têm o tempo de renovação inferiores a 20 anos, enquanto que as águas com concentrações inferiores a 1,5 UT contém frações importantes de águas com origem em precipitações anteriores ao ano de 1953.
- Nos trechos médio e inferior da bacia do rio Caititu, onde existe uma utilização intensa de águas subterrâneas para fins de irrigação, a concentração média de trítio é de apenas 0,66 UT, o que significa que o tempo de renovação dos sistema aquíferos nesses trechos é da ordem de 150 anos, ou seja, a recarga nessa zona deve ser muito baixa.
- Para as águas subterrâneas da bacia do rio Cedro, a concentração média de trítio é da ordem de 1,8 UT, ou seja, os tempos de renovação dos aquíferos nesta bacia estão compreendidos entre 30 e 40 anos.
- A concentração média de trítio dos mananciais que abastecem o rio Pai João no período de estiagem é da ordem de 1,4 UT, indicando que o tempo de renovação nesta bacia está compreendido entre 50 e 60 anos.

Finalizando, cabe mencionar que, através dos tempos de renovação encontrados e dos resultados obtidos com os ensaios de infiltração, será possível a determinação das reservas dos aquíferos. Deve-se ressaltar também, a importância de levar-se em consideração nos projetos para a exploração dos aquíferos na região de Montes Claros, tanto para fins de abastecimento da cidade como para fins de irrigação na zona rural, os resultados aqui apresentados, com vistas a garantir a utilização desses recursos de forma racional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CNEN/CDTN, **Characterization of karstic basins in a semi-arid region**, Proj. de Coop. Técnica CDTN/AIEA-BRA/8/024, BHte, 1996.
- FRITZ, P. e FONTES, J.Ch., **Handbook of environmental isotope geochemistry**. Elsevier, New York, 1986
- IAEA, **Statistical treatment of data on environmental isotopes in precipitation**, Technical Reports Series nº 331, IAEA, Vienna, 1992.
- PLATA, A., **Parameters of carbonate rock aquifers from tracer methods, Hydrogeological process in karst terranes**. IAHS Publ.nº 207, 1993.