



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS

ESTIMATIVA DA RECARGA DE AQUÍFEROS EM LATERITA PELO MÉTODO DO TRÍTIO ARTIFICIAL

Dora de Castro Rubio Poli
Annkarin Aurelia Kimmelman e Silva*
Ulrich Pfisterer**

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR-SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRASIL

SUMÁRIO

A estimativa da recarga de aquíferos foi feita pela primeira vez em laterita, que é uma alteração do dunito, na cidade de Cajati-Jacupiranga, situada no Vale do Ribeira, no estado de São Paulo, que se caracteriza por ter um clima tropical úmido. Analisou-se a migração da umidade na zona não saturada utilizando-se como traçador o trítio artificial, na forma de água tritiada. Obteve-se para o local de estudo uma recarga anual de 1070mm, o que corresponde a 65% da precipitação local, 1650 mm/ano. Pode-se considerar que o restante da precipitação é perdido por evaporação, evapotranspiração e escoamento superficial.

ABSTRACT

An estimation of the groundwater recharge was made, for the first time, in laterita, which is a alteration of dunite. This work was carried out at the city of Cajati-Jacupiranga, situated in the Ribeira Valley, state of São Paulo. The moisture migration in unsaturated zones was analyzed using water tagget with artificial tritium. In the place studied, an annual recharge of 1070mm was estimated. This value corresponds to 65% of local precipitation (1650 mm/year). The difference can be considered as a loss through evaporation, evapotranpiration and run off.

* Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo.

** Institut Für Pflanzenernährung und Bodenkund-Universität Kiel-W-Germany.

INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas radioisotópicas em estudos hidrológicos tem sido cada vez mais freqüente dado o desenvolvimento na área nuclear, tanto em países desenvolvidos do hemisfério norte, quanto em países como a Índia e o Brasil.

A estimativa da recarga de aquíferos é essencial na avaliação de recursos hídricos. Vários métodos para determinação da recarga são disponíveis. Os métodos clássicos, tais como lisímetro, armazenamento, inventário etc, requerem o conhecimento dos dados hidrometeorológicos da área em estudo (DATTA et al, 1977). Face a esses problemas, as técnicas isotópicas têm sido usadas com maior freqüência nos últimos anos, envolvendo o uso de traçadores ambientais ou artificiais para a estimativa da recarga.

Os isótopos tais como trítio, deutério e oxigênio-18 fazem parte da molécula da água e portanto têm um comportamento idêntico ou semelhante à água contida num sistema. Dentre estes, o trítio tem a vantagem de ser facilmente detectado por um detector líquido de cintilação.

PRINCÍPIO DO MÉTODO DO TRÍTIIO ARTIFICIAL

O método do trítio artificial para a estimativa da recarga baseia-se na suposição que a umidade do solo se move para baixo em camadas discretas. Qualquer camada fresca de água adicionada à superfície por causa de precipitação ou irrigação, irá percolar, deslocando uma mesma quantidade de água abaixo dela e assim sucessivamente de tal forma que a última camada, na zona não saturada, é adicionada à água subterrânea. Este conceito de movimento da água através do solo é denominado "Modelo de Fluxo em Pistão" e foi desenvolvido por ZIMMERMANN et al (1967) e MUNNICH et al (1968).

Nesta técnica, a umidade a uma certa profundidade é marcada com água tritiada. O traçador se move juntamente com a umidade do solo em virtude da subsequente infiltração ou evaporação. O solo do local de injeção é coletado após um intervalo de tempo escolhido e conteúdo de umidade e concentração do traçador são determinados em amostras de vários intervalos de profundidade. O deslocamento da posição do traçador é indicado pelo pico em sua concentração.

Se a água tritiada é injetada abaixo da zona das raízes, ela se move como uma nuvem de umidade marcada, em direção ao aquífero por causa da infiltração da água da chuva. Durante o seu movimento, a "nuvem" pode apresentar algum espalhamento vertical por causa de variações microscópicas da velocidade e difusão molecular. O centro de gravidade do perfil de trítio corresponde à posição da camada marcada. O conteúdo de umidade da coluna de solo entre a profundidade de injeção e a de deslocamento do traçador é a medida da recarga da água subterrânea no intervalo de tempo entre a injeção do trítio e a coleta do solo. Então, a recarga líquida, em cm, pode ser expressa pela seguinte expressão (DATTA, 1977), dividida pela densidade da água (1g/cm^3):

$$R = \frac{h D x}{l + h}$$

onde: R = peso da água por unidade de área (recarga).

x = deslocamento do pico do trítio ou centro de gravidade (cm);

h = conteúdo médio de umidade do solo entre a profundidade de injeção e o pico do trítio ou centro de gravidade (a umidade é o peso da água por unidade de peso de solo seco, (%));

D = densidade média do solo (g/cm^3).

ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

O distrito de Cajatí fica a ≈ 12 km da cidade de Jacupiranga e cerca de 230 km de São Paulo, às margens da Br-116, trecho São Paulo-Curitiba, fazendo parte do Vale do Ribeira.

A experiência foi realizada no maciço alcalino de Jacupiranga, que consiste de uma associação de rochas ultramáficas alcalinas e carbonáticas (Fig. 1, FRIEDRICH & KANIG, 1988).

O estudo foi efetuado na laterita correspondente à porção litológica do dunito.

O perfil de alteração do dunito compõe-se de três zonas, (Fig. 2 OLIVEIRA et al, 1988):

- a) Laterita: é uma zona homogênea constituída de finos grãos de caolinita, goethita e quartzo. Não apresenta qualquer estrutura original e tem ≈ 13 m de espessura;
- b) Si-boxwork, é uma zona muito heterogênea, formada de quartzo e goethita e possui espessura de cerca de 13 m;
- c) Saprólito, situado à profundidades acima de 26 m, é formado de serpentina, esmectita e quartzo.

O clima da região é quente e úmido sem estação seca. As precipitações são elevadas quando comparadas com outras regiões do estado, com média anual de 1650 mm nesta região (PFESTERER, comunicação verbal, 1989).

TRABALHO EXPERIMENTAL

As injeções de trítio foram feitas a uma profundidade bem abaixo da zona das raízes (50 cm) a fim de minimizar a interferência da evapotranspiração na determinação da recarga.

Realizaram-se injeções em cinco pontos, dispostos em forma de cruz, a uma distância de separação de 10 cm. Deste modo, o deslocamento ou difusão da nuvem de trítio deve ser mais uniforme ao redor do ponto de injeção.

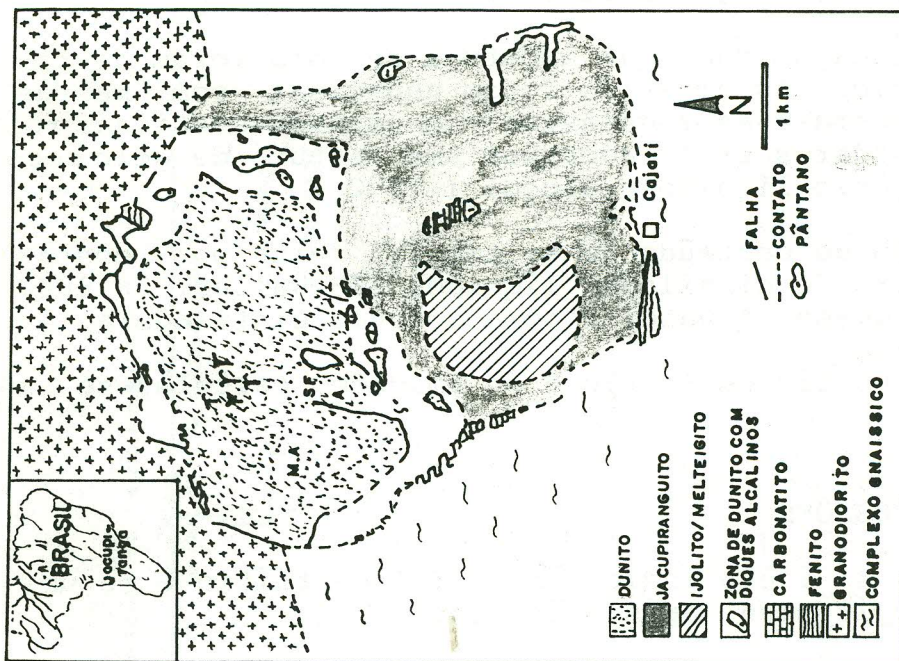


Fig. 1 - Mapa geológico do complexo alca-
lino de Jacupiranga (FRIEDRICH &
KANIG, 1988).

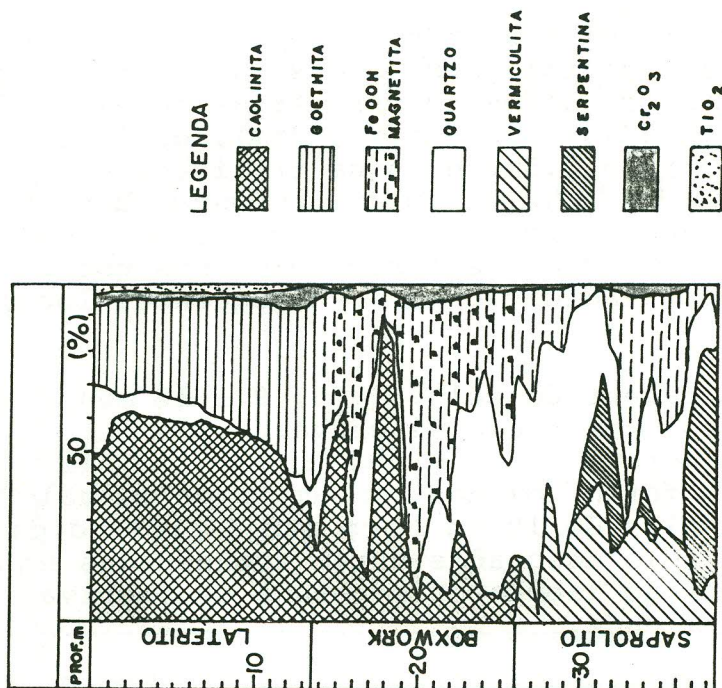


Fig. 2 - Perfil mineralógico da Estação
Experimental de Cajati (OLIVEIRA
et al, 1988).

Foram feitos quatro conjuntos de injeções, distanciados 5 m, cada um contendo 5 pontos, garantindo-se 4 amostragens de solo para diferentes intervalos de tempo sem afetar o solo natural e as condições ao redor do conjunto ainda não amostrado.

A operação de injeção foi a seguinte: inicialmente, foram colocadas 5 barras no solo, de tal forma que se abra um buraco de 50 cm de profundidade e 7 mm de diâmetro. As barras foram retiradas e os tubos de aço inox (diâmetro externo 3mm), de injeção, foram inseridos vagarosamente e 2,5ml de água tritiada, de concentração $5,55 \times 10^4$ Bq/ml ($1,5 \mu\text{Ci/ml}$), foram injetados dentro de cada buraco, com uma seringa. Após as injeções, os buracos foram preenchidos com solo. Marcadores foram colocados nos pontos de injeção para servir como indicação para subseqüentes localizações desses pontos.

Realizaram-se amostragens de solo, 1, 6, 9 e 12 meses após a injeção, completando assim um ciclo de chuva.

As amostras de solo foram tomadas com um trado manual de 3" de diâmetro, em intervalos de 10 em 10 cm até a profundidade desejada. Quantidades de solo adequadas foram armazenadas em frascos bem tampados e levados ao laboratório para a estimativa do conteúdo de trítio e de umidade.

A medida da densidade média foi feita no próprio campo, pesando-se todo o solo retirado. Isto é feito admitindo-se uma pequena variação do peso específico do solo até a profundidade alcançada.

O conteúdo de umidade foi obtido, pesando-se as amostras de solo, antes e após a secagem em uma estufa a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, segundo a norma ASTM, Designação D-2216-71.

Para extração da umidade, as amostras de solo foram destiladas a vácuo mecânico. As amostras foram aquecidas com mantas aquecedoras com temperaturas reguláveis. A umidade destilada foi coletada em condensadores resfriados por uma mistura de gelo seco e acetona ou nitrogênio líquido e álcool (-70°C).

A determinação do conteúdo de trítio foi feita por contagem num espectrômetro de cintilador líquido, LKB-Wallac, 81000 comercial, utilizando-se "Aguasol-2" como solução cintiladora.

A partir dos perfis de trítio e de umidade, calculou-se a recarga.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As figuras 3, 4, 5 e 6 indicam o perfil de trítio e de umidade para 1, 6, 9 e 12 meses após a injeção.

A tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

Obteve-se para este local uma recarga de 1070mm, o que

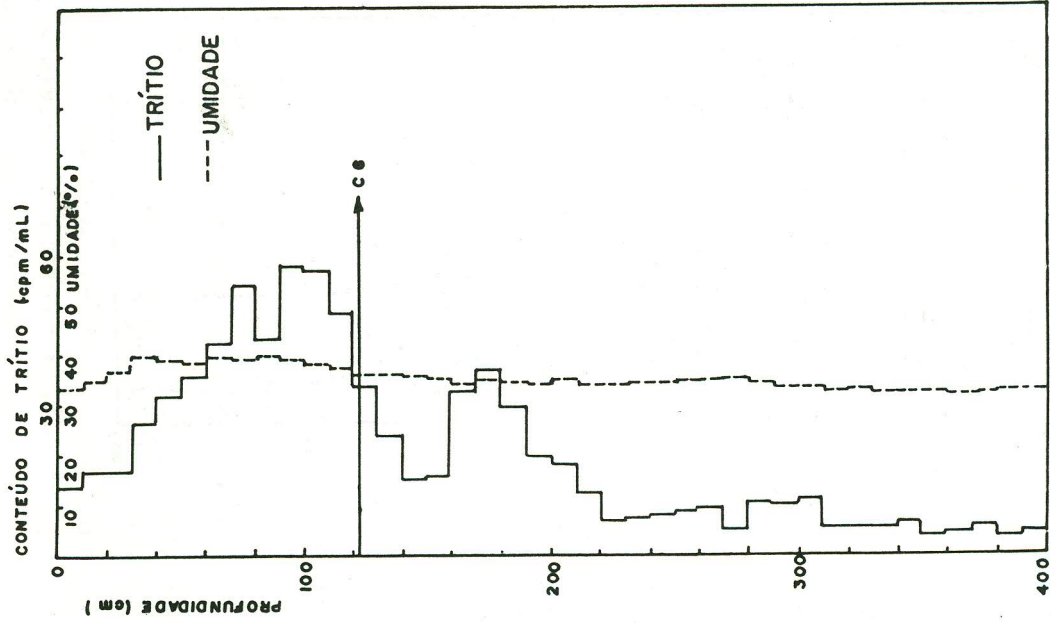


Fig. 4 - Perfil de trítio e de umidade de após seis meses da injeção.

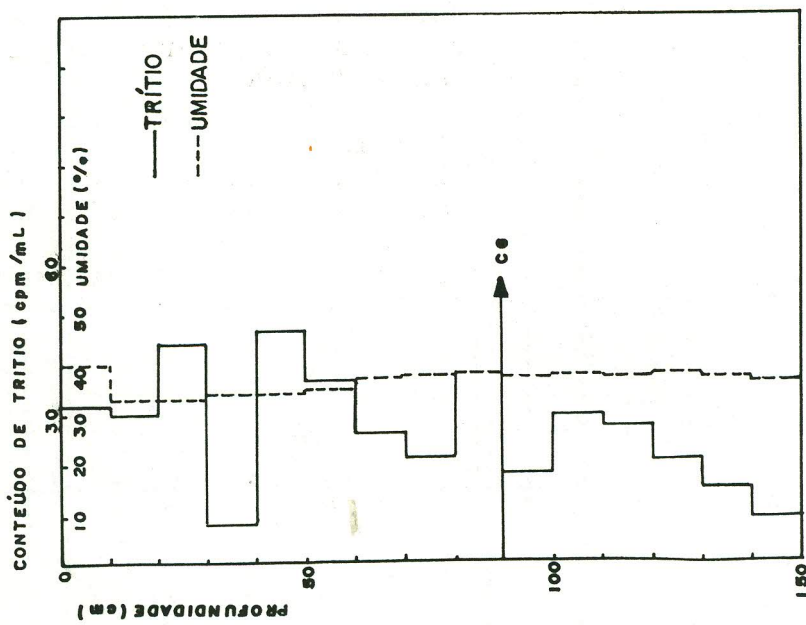


Fig. 3 - Perfil de trítio e de umidade após um mês da injeção.

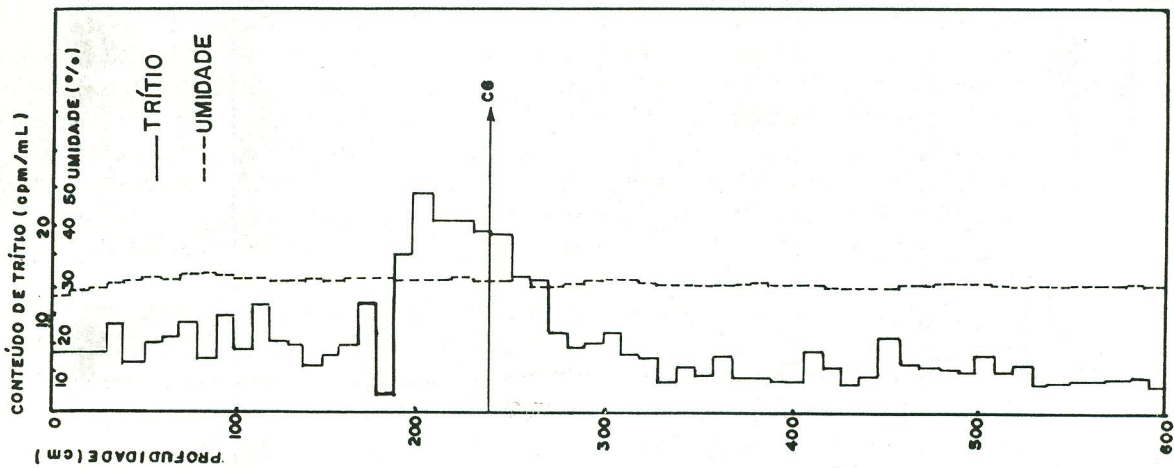


Fig. 6 - Perfil de trítio e de umidade após doze meses da injeção.

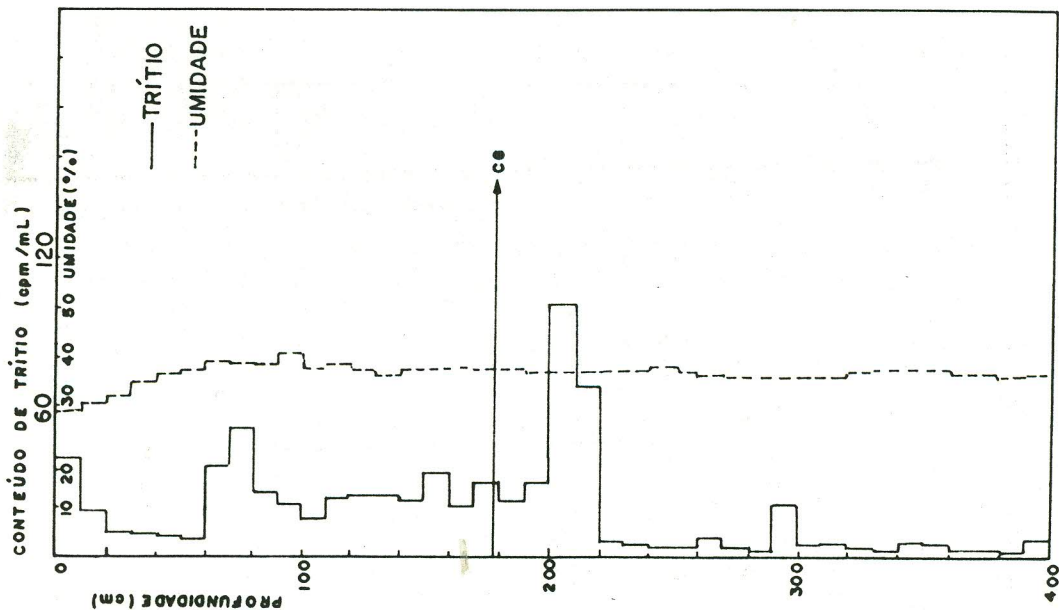


Fig. 5 - Perfil de trítio e de umidade de após nove meses da injeção.

DATA DA AMOSTRAGEM	DESLOCAMENTO DO TRÍTIIO (cm)	CENTRO DE GRAVIDADE (CG) (cm)	DENSIDADE GLOBAL MÉDIA DO SOLO (g/cm ³)	CONTEÚDO DE UMIDADE MÉDIO DO SOLO (50 cm - CG)	RECARGA (cm)
26/05/88	37,5	89,7	2,28	37,3	24,6
26/10/88	72,6	122,6	1,96	38,6	39,6
30/01/89	127,8	177,8	2,46	38,0	86,6
05/04/89	190,3	240,3	2,10	36,6	107,1

Tabela 1. - Dados do movimento da unidade do solo e recarga do aquífero em Cajati no período abril de 1988 a abril de 1989. Data da injeção de trítio: 14/04/88.

corresponde a 65% da precipitação que no período da experiência foi de \approx 1650mm (PFERSTERER - comunicação verbal). Pode-se considerar que o restante da precipitação é perdido por evaporação, evapotranspiração e escoamento superficial.

Esta infiltração alta pode ser explicada pelo local em estudo. Trata-se de uma região com clima quente e úmido, praticamente sem estiagem, com precipitações elevadas, com o solo, tendo alto conteúdo de umidade e alta permeabilidade.

CONCLUSÕES

A técnica de marcação da umidade do solo com trítio artificial é uma ferramenta útil, disponível e recomendável na estimativa da recarga de aquíferos.

Este método, além de ser preciso, apresenta algumas vantagens; não causa mudanças nas condições naturais, pode ser aplicado no campo sem requerer equipamentos sofisticados e, em geral, apresenta um custo relativamente baixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BLUME, H.P.; ZIMMERMANN, U.; MUNNICH, K.O.. Tritium tagging of soil moisture: the water balance of forest soils. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Isotope and radiation techniques in soil physics and irrigations studies: proceedings of a symposium..., held in Istambul, 12 - 16 Jun. 1967. Vienna, 1967. p. 315-32.
2. CHANDRA, U.. Studies on exchange and movement of isotopes in soil and water media. Bombay, 1978. (Thesis, Univ. Bombay).
3. CHANDRA, U. & POLI, D.C.R. Hydrological evaluation of radioactive waste disposal site at IPEN: Study of movement of soil moisture and groundwater recharge by artificial tritium tagging method. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Águas subterrâneas: anais do 1. congresso brasileiro, Recife, nov. 1980. Recife 1980. p. 545-55.
4. DATTA, P.S.; GOEL, P.S.. Groundwater recharge in Panjab State (India) using tritium tracer. Nordic Hydrology. 8: 225 - 236, 1977.
5. FRIEDRICH, G. & KANIG, M. Geochemie und Mineralogie lateritischen Böden in Gebiet von Jacupiranga, Brasilien. DFG - Forschungsworhaben Fr 240/47-1. 1988.
6. GOEL, P.S.; DATTA, P.S.; TANWAR, B.S.. Measurement of vertical recharge to groundwater in Haryana State (India) using tritium tracer. Nordic hydrology, 8: 211 - 224, 1977.

7. MUNNICH, K.O. Moisture movement in the unsaturated zone. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Guide book on nuclear technique in hydrology. 1983 edition. Vienna, 1983. p. 203 - 22. (Technical reports series, 91).
8. OLIVEIRA, S.M.D.; MELFI, A.J.; CARVALHO, A; FRIEDRICH, G.; MARKER, A.; KANIG, M. Lateritic evolution of the Jacupiranga alkaline complex, SP. Geochimica brasiliensis., 2(2): 119 - 126, 1988.
9. ZIMMERMANN, U., MUNNICH, K.O.; ROETHER, W.; KREUTZ, W.; SCHUBACH, K.; SIEGEL, O. Tracer determine movement of soil moisture and evapotranspiration. Science. 152: 346 - 7, 1966.