

ANÁLISE DA VALIDADE DA EQUAÇÃO UTILIZADA PARA ESTIMAR A VARIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE FERTILIZANTE NO TANQUE DE DERIVAÇÃO, EM FERTIRRIGAÇÃO¹

Robson Bonomo²
Salassier Bernardo³
Mauro A. Martinez²
Victor H. Alvarez V.⁴
Paulo R. Cecon⁵

1.INTRODUÇÃO

A irrigação é tecnologia de custo elevado para a sua implantação e operação, exigindo, para se obter sucesso, a adoção de práticas que, combinadas, levem a aumento da produtividade e do lucro. Dentre as práticas associadas à irrigação que possibilitam melhor produtividade das culturas irrigadas está a fertirrigação.

A quimigação consiste na aplicação de fertilizantes, herbicidas, inseticidas e fungicidas por meio do sistema de irrigação. No caso específico da aplicação de fertilizantes, esta técnica é denominada fertirrigação. Na agricultura irrigada, o seu uso está aumentando, por

¹ Artigo baseado na tese de mestrado em Engenharia Agrícola, apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa, para obtenção do grau de *Magister Scientiae*.

Aceito para publicação em 08.05.1995.

² Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. 36571-000, Viçosa, MG.

³ Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 28015-620. Campos, RJ.

⁴ Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa.

⁵ Departamento de Informática, Universidade Federal de Viçosa.

possibilitar aplicação uniforme de produtos químicos, com baixo custo e segurança para quem os aplica (2). Vários autores (6, 8, 9, 10) destacam as seguintes vantagens da quimigação: diversifica o uso do sistema de irrigação, facilita a aplicação dos produtos químicos, permite melhor controle na aplicação, reduz a mão-de-obra, diminui a necessidade de compra e a manutenção de equipamentos utilizados na aplicação convencional, elimina a compactação do solo decorrente do tráfego de equipamentos de aplicação convencional, e, em geral, reduz bastante os custos de aplicação.

No Brasil, somente nos últimos anos é que a fertirrigação tem se firmado como técnica. Mesmo assim, seu uso, comparado ao seu potencial, pode ser considerado incipiente. Proprietários de sistemas de irrigação localizada e de pivô central são os que fazem uso mais freqüente desta técnica, notadamente para a aplicação de adubos nitrogenados (6).

Os produtos químicos a serem aplicados via água de irrigação devem atender aos seguintes requisitos (12): ser solúvel ou emulsionável em água, não ser corrosivo, não causar entupimento dos componentes do sistema, ser seguro para o uso no campo, ser eficiente para as culturas e não reagir com sais ou outros elementos químicos contidos na água de irrigação formando precipitados.

Existem diferentes métodos de injeção de produtos químicos na água de irrigação, os quais são classificados por HOWELL *et alii* (7) em três grupos: métodos que operam sob condições de pressão efetiva positiva (bomba injetora e injeção por gravidade), métodos que operam sob condições de pressão efetiva negativa (injetor tipo Venturi e sucção pela própria bomba de irrigação) e métodos que utilizam diferença de pressão (injetor tipo Pitot e tanque de derivação).

O tanque de derivação é um dos meios mais difundidos para injetar fertilizantes na água de irrigação, sendo seu uso muito comum em gotejamento. Constitui-se de equipamento de construção, instalação e funcionamento simples; seu preço é relativamente baixo; não exige fonte externa de energia; é de fácil transporte; e é menos sensível às flutuações de pressão na tubulação de irrigação que os outros equipamentos (11).

O tanque de derivação (Figura 1) consiste de um depósito conectado em paralelo à linha de irrigação. É feito de plástico reforçado, ou de metal, com volumes entre 20 e 200 L. Possui duas aberturas, uma de entrada e outra de saída, ligadas à linha de irrigação em dois pontos próximos um do outro, separados por uma válvula, cujo objetivo é criar diferença de pressão da ordem de 10 a 50 kPa, para que parte da água de irrigação circule pelo tanque (10).

A variação da concentração de fertilizante no tanque de derivação, após determinado tempo de aplicação, pode ser estimada pela seguinte

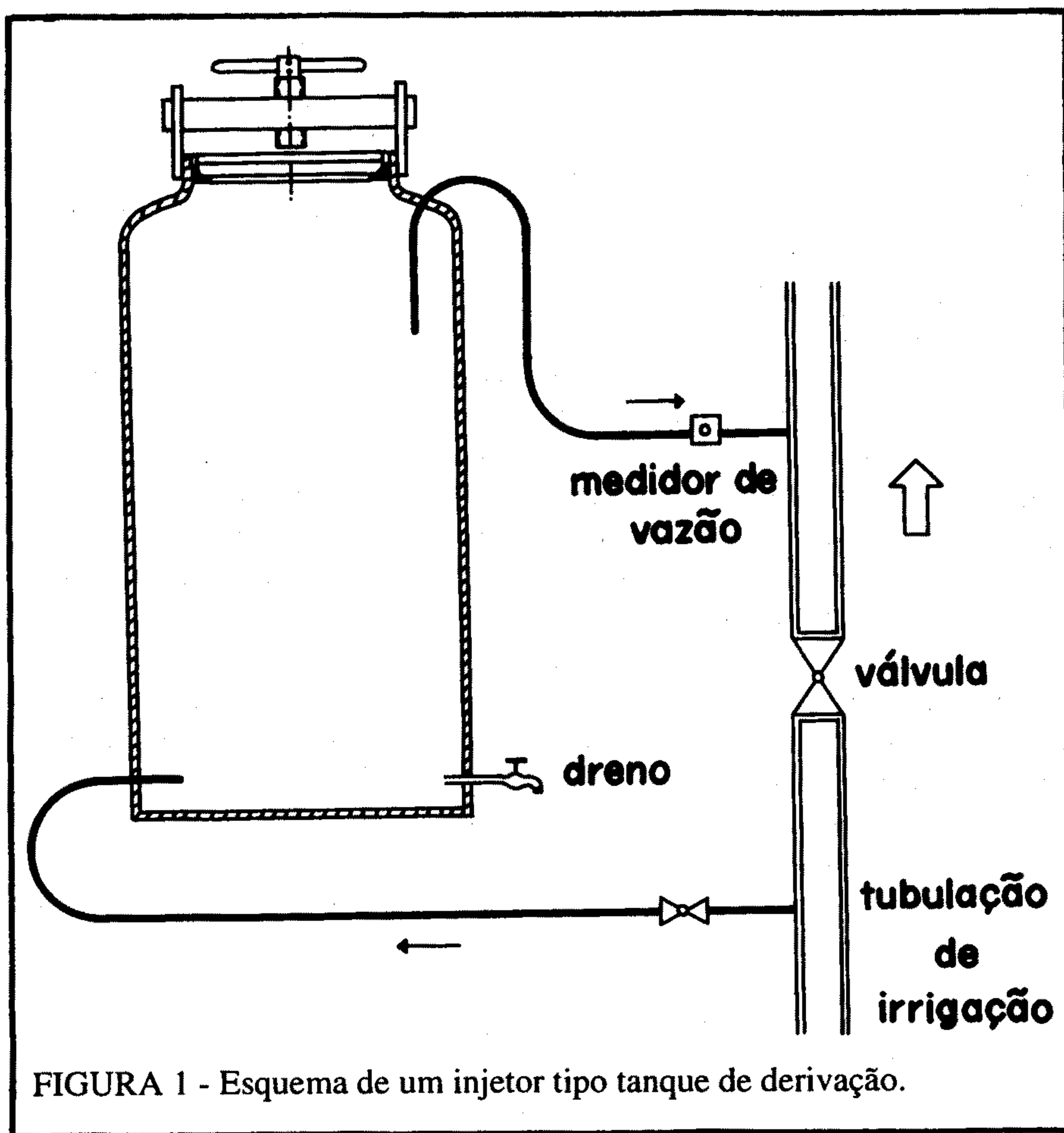


FIGURA 1 - Esquema de um injetor tipo tanque de derivação.

equação:

$$C_t = C_0 e^{\frac{-q t}{V}} \quad (1)$$

em que

C_t - concentração do fertilizante no tanque de derivação após determinado tempo de aplicação, mg/L;

C_0 - concentração inicial do fertilizante no tanque, mg/L;

e - base do logaritmo neperiano;

q - vazão derivada para o tanque de derivação, L/min;

t - tempo transcorrido a partir do início da aplicação, min; e

V - volume do tanque de derivação, L.

No desenvolvimento da equação 1 foi suposto que a água que entra e a solução do tanque se misturam imediata e uniformemente. Existem, entretanto, muitas formas e tamanhos de tanques, e uma mistura instantânea é impossível, já que essa vai depender também das características do fertilizante utilizado (natureza química, densidade, concentração e temperatura) (5).

Para se obter boa uniformidade de distribuição do fertilizante na área a ser irrigada, o valor da relação $q t/\sqrt{V}$ deve ser, no mínimo, igual a quatro. Quando se usa o valor de $q t/\sqrt{V}$ igual a quatro na equação 1, obtém-se ao final da aplicação valor de concentração residual no tanque, em relação à concentração inicial, igual a 1,83% (13).

Holman, citado por ALVES (1), propõe que para se obter distribuição uniforme do fertilizante aplicado em fertirrigação é preferível uma aplicação lenta, pois, do contrário, o produto químico será aplicado de modo desuniforme e em maior quantidade nos primeiros emissores. Segundo SHANI (11), o tempo total de aplicação do produto raramente deve ser menor que 30 minutos, sendo aconselhável usá-lo entre uma e duas horas.

O presente trabalho teve por objetivo analisar, para diferentes volumes de tanque e tempos de fertirrigação, a validade da equação analítica utilizada para estimar a variação da concentração de fertilizante, em função do tempo de aplicação.

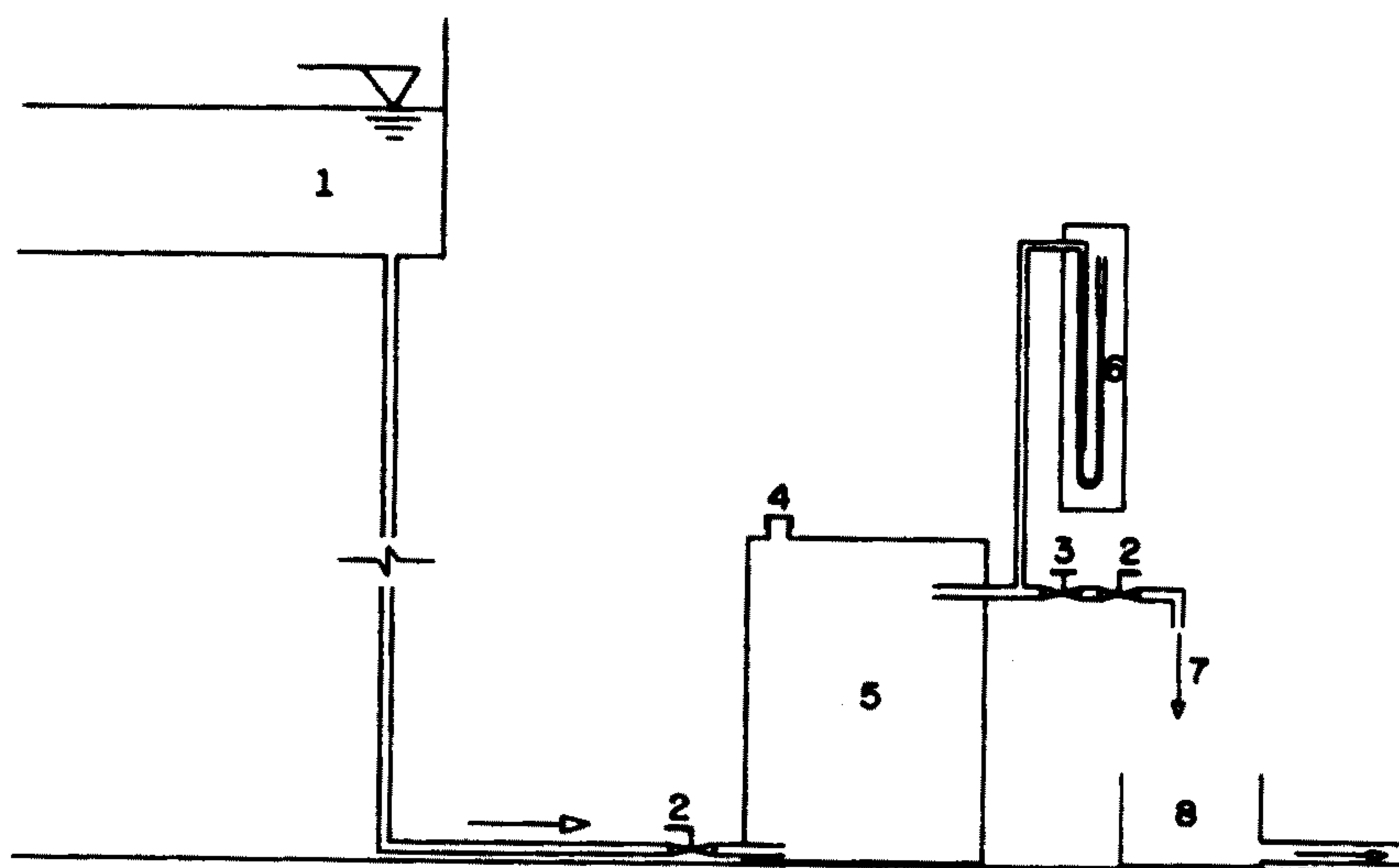
2. MATERIAL E MÉTODOS

Montou-se, no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (MG), um sistema de suprimento de água para o tanque de derivação (Figura 2).

Foram utilizados cinco tanques metálicos de forma cilíndrica, com capacidade volumétrica de 20,4; 40,0; 60,2; 80,2; e 100,1 L. Os tanques com volume de 20,4 e de 40,0 L foram construídos com diâmetro de 30 cm e os demais, com diâmetro de 39 cm, seguindo recomendação proposta por SHANI (11).

No tanque (Figura 2) conectou-se tubulação com diâmetro de 3/4", proveniente de um reservatório de nível constante. A válvula de fechamento lento foi colocada na saída do tanque para ajustar, previamente, a vazão que se desejava circular pelo tanque. As válvulas de fechamento rápido foram instaladas na entrada e na saída do tanque, com o objetivo de abrir ou fechar rapidamente a passagem de água pelo tanque.

O fertilizante utilizado no estudo foi o cloreto de potássio (KCl), destinado ao uso agrícola, de natureza física farelada, com 58% de K_2O . Este fertilizante apresenta alta solubilidade, pequena higroscopicidade,



1. reservatório de nível constante
2. válvula de fechamento rápido
3. válvula de fechamento lento
4. tampão

5. tanque de fertilizante
6. manômetro de tubo em "U"
7. descarga livre
8. dreno

FIGURA 2 - Esquema do sistema de alimentação do tanque de derivação.

facilidade de análise e pouco problema de conservação de amostras em solução.

A quantidade de KCl aplicada pelo sistema foi estabelecida seguindo recomendações da COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DE MINAS GERAIS (4), considerando a necessidade de adubação suplementar para cítrus no estágio adulto. Para esta cultura, a demanda do fertilizante é de 90 g de K_2O por planta em janeiro e abril para a região Sudeste do Brasil.

Considerando um sistema de irrigação por gotejamento com o turno de rega comumente usado, de três dias, a fertirrigação pode ser dividida em nove etapas por mês. Feitas as conversões, resultaram em 17,24 g de KCl por planta por aplicação.

Tomando-se uma parcela irrigada de um hectare de cítrus no espaçamento de 8,0 x 5,0 m, totalizando 250 plantas, tem-se a quantidade a ser aplicada de 4.310 g de KCl por fertirrigação.

Para se trabalhar com a mesma concentração inicial de fertilizante em todos os cinco volumes de tanque, tomou-se o tanque de 100,1 L como referência para o cálculo da concentração inicial para a quantidade de 4.310 g de KCl por aplicação. Sendo assim, para todos os testes a solução de fertilizante foi preparada com a concentração de 43,06 g de KCl por litro de solução.

A cada teste a vazão era previamente regulada, com o sistema inicialmente funcionando apenas com água, depois o tanque era abastecido com solução fertilizante e, então, iniciava-se o teste.

As amostras das soluções de cloreto de potássio foram coletadas, na saída do tanque, durante, aproximadamente, um segundo para cada instante analisado. Estas amostras foram coletadas em recipiente de vidro de 40 ml, devidamente identificadas e levadas ao laboratório para serem feitas as devidas análises.

Considerando que o tempo de fertirrigação não deve ser menor que 30 minutos, sendo aconselhável entre 60 e 120 minutos, adotaram-se tempos de fertirrigação de 60, 90 e 120 minutos, os quais foram utilizados para todos os cinco volumes de tanque.

No presente trabalho, adotou-se a relação $q \propto t/\nabla$, isto é, a relação entre o volume de água que deve passar pelo tanque ($q \cdot t$) e o volume do tanque (∇) igual a cinco, para se determinar a vazão derivada em cada teste (Quadro 1).

Definindo-se um ciclo como sendo o tempo necessário para circular, pelo tanque, volume de água igual ao volume do tanque e considerando-se que a variação da concentração da solução de fertilizante no tanque é

QUADRO 1 - Vazão derivada (L/min) para as diferentes combinações de tempo de fertirrigação e volume do tanque

Vol.do tanque L	Tempo de fertirrigação (min)		
	60	90	120
20,4	1,70	1,13	0,85
40,0	3,33	2,22	1,67
60,2	5,02	3,34	2,51
80,2	6,68	4,46	3,34
100,1	8,34	5,56	4,17

maior no início da aplicação, reduzindo-se rapidamente com o decorrer do tempo de aplicação, o número de amostras, coletadas por ciclo, foi assim distribuído: 1º ciclo - 10 amostras, 2º ciclo - oito amostras, 3º ciclo - cinco amostras, 4º ciclo - três amostras, 5º ciclo - duas amostras, e 6º e 7º ciclos - uma amostra cada um (Quadro 2).

As amostras foram analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo

QUADRO 2 - Instantes (min:s) de coleta de amostras para os três tempos de fertirrigação, utilizados nos cinco volumes de tanque

Ciclo	Nº da amostra	Tempo de fertirrigação (min)		
		60	90	120
1	01	0:00	0:00	0:00
1	02	1:20	2:00	2:40
1	03	2:40	4:00	5:20
1	04	4:00	6:00	8:00
1	05	5:20	8:00	10:40
1	06	6:40	10:00	13:20
1	07	8:00	12:00	16:00
1	08	9:20	14:00	18:40
1	09	10:40	16:00	21:20
1	10	12:00	18:00	24:00
2	11	13:30	20:15	27:00
2	12	15:00	22:30	30:00
2	13	16:30	24:45	33:00
2	14	18:00	27:00	36:00
2	15	19:30	29:15	39:00
2	16	21:00	31:30	42:00
2	17	22:30	33:45	45:00
2	18	24:00	36:00	48:00
3	19	26:24	39:36	52:48
3	20	28:48	43:12	57:36
3	21	31:12	46:48	62:24
3	22	33:36	50:24	67:12
3	23	36:00	54:00	72:00
4	24	40:00	60:00	80:00
4	25	44:00	66:00	88:00
4	26	48:00	72:00	96:00
5	27	54:00	81:00	108:00
5	28	60:00	90:00	120:00
6	29	72:00	108:00	144:00
7	30	84:00	126:00	168:00

do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Utilizou-se um fotômetro de chama para determinar a concentração de potássio, seguindo metodologia de rotina adotada por aquele laboratório.

Para cada combinação de volume do tanque de derivação e tempo de fertirrigação foram realizadas três repetições. Nas análises estatísticas foram utilizados valores médios das três repetições.

A comparação entre os valores de concentração de potássio, medidos com a análise química das amostras, coletadas na saída do tanque com os valores estimados, usando a equação 1, foi feita por meio de testes estatísticos (F e t) e do cálculo do coeficiente de correlação linear simples entre valores medidos e estimados. O cálculo do coeficiente de correlação linear simples foi feito, considerando todos os dados obtidos (cinco volumes de tanque e três tempos de fertirrigação), para cada tempo de fertirrigação (60, 90 e 120 min) com os cinco volumes de tanque, para cada volume de tanque (20,4; 40,0; 60,2; 80,2; e 100,1 L) com os três tempos de fertirrigação, e para cada ensaio individual da combinação entre volume de tanque e tempo de fertirrigação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 ilustra, para um dos ensaios realizados, a variação da concentração de potássio, no interior do tanque, para valores de concentração medidos e estimados. Pela Figura 3 verifica-se que os valores de concentração medidos e estimados seguiram, praticamente, o mesmo comportamento com o transcorrer do tempo de aplicação e que as diferenças entre esses valores, para um mesmo instante analisado, são pequenas. No entanto, observa-se que, em média, existe certa tendência de, no início do tempo de aplicação, os valores de concentração de potássio medidos serem pouco menores que os estimados. Na parte final do tempo de aplicação ocorre inversão deste comportamento, passando os valores medidos a ser pouco superiores aos estimados. Este comportamento, possivelmente, é em virtude de não haver mistura totalmente imediata e homogênea da água, que entra no tanque, com a solução fertilizante, já contida no interior do mesmo. Também foi observado este mesmo comportamento nos demais volumes de tanque e tempos de fertirrigação (3).

Com o objetivo de confrontar os valores de concentração de potássio medidos com os estimados pela equação 1, procedeu-se à determinação do coeficiente de correlação linear simples entre estes (Quadro 3). A Figura 4 apresenta o diagrama de dispersão englobando todos os dados gerados entre valores de concentração de potássio medidos e estimados.

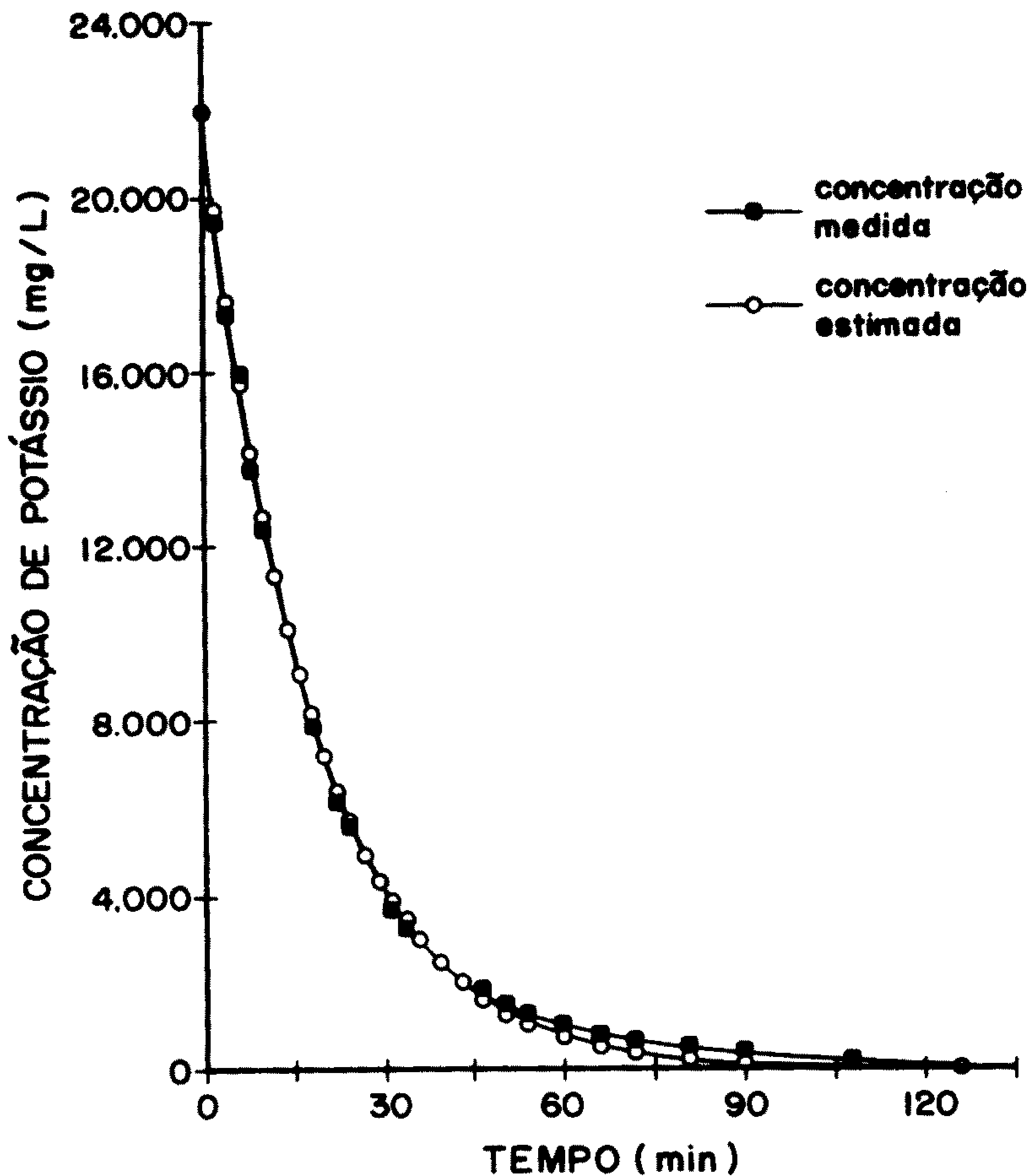


FIGURA 3 - Variação da concentração de potássio ao longo do tempo de aplicação, valores medidos e estimados, para a combinação de volume de tanque de 60,2 L e tempo de fertirrigação de 90 min.

A observação dos valores de concentração de potássio medidos e estimados mostra diferença muito pequena entre valores correspondentes. Os coeficientes de correlação determinados apresentaram-se próximos de 1, independentemente do volume do tanque e do tempo de fertirrigação empregados, indicando alta correlação dos valores medidos com os estimados.

Pelos altos coeficientes de correlação encontrados e pelas pequenas diferenças observadas entre valores correspondentes medidos e estimados

pode-se verificar, para os volumes de tanque e os tempos de fertirrigação comumente utilizados, que a equação 1 estima bem a variação da concentração de fertilizante, em função do tempo, para fins de fertirrigação com KCl e substâncias semelhantes a este, especialmente se as soluções apresentam concentrações iniciais abaixo da concentração de saturação.

QUADRO 3 - Coeficientes de correlação linear simples entre concentrações de potássio medidas e estimadas, para os cinco volumes de tanque com os três tempos de fertirrigação

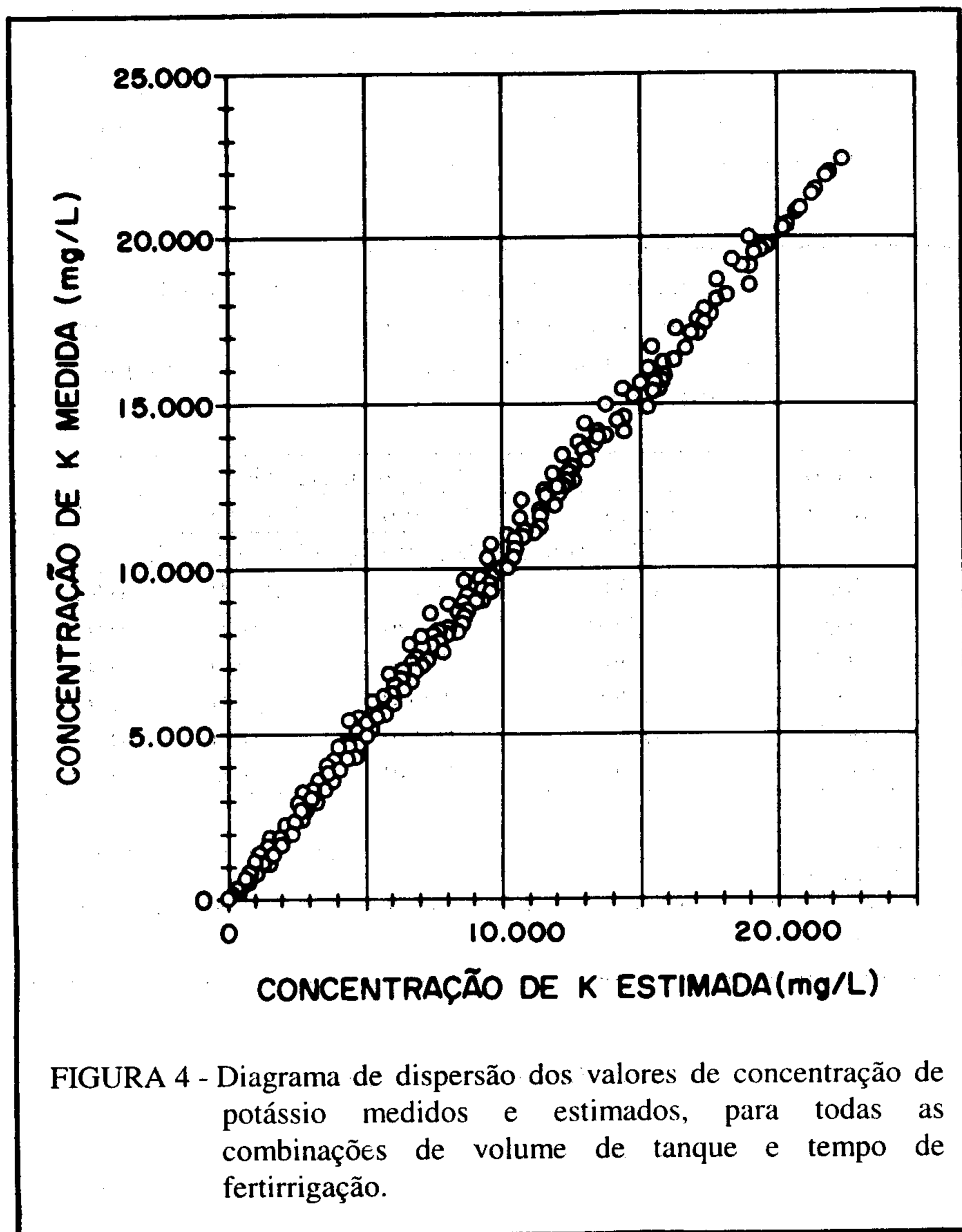
Vol. do tanque L	Tempo de fertirrigação			
	60 min	90 min	120 min	3T*
Coeficiente de correlação linear simples				
20,4	0,999	0,998	0,999	0,999
40,0	0,999	0,999	1,000	0,999
60,2	0,999	1,000	1,000	0,999
80,2	0,999	1,000	1,000	0,999
100,1	0,999	0,999	1,000	0,999
5V**	0,999	0,999	0,999	0,999

* Todos os dados obtidos para aquele volume de tanque com os três tempos de fertirrigação.

** Todos os dados obtidos para aquele tempo de fertirrigação com os cinco volumes de tanque.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Dentre os equipamentos utilizados para injetar fertilizantes na água de irrigação, o tanque de derivação é um dos mais difundidos, sendo muito usado em gotejamento. A concentração de fertilizantes em tanques de derivação reduz exponencialmente com o transcorrer do tempo de aplicação, tal comportamento é descrito pela equação $C_t = C_0 \exp(-X)$, em que C_t é a concentração de fertilizante no tanque de derivação após determinado tempo de aplicação, C_0 é a concentração inicial de fertilizante no tanque e X é a relação entre o volume de água que circulou pelo tanque e o volume do tanque. Embora a equação acima seja amplamente citada na literatura, poucos são os estudos sobre a avaliação do seu desempenho sob diferentes condições de funcionamento em



fertirrigação. Visando a tal estudo, realizou-se experimento, utilizando cinco volumes de tanque (20, 40, 60, 80 e 100 L) e três tempos de fertirrigação (60, 90 e 120 min) para cada volume de tanque, sendo realizadas três repetições em cada teste, utilizando-se como fertilizante o cloreto de potássio. Em cada teste foram coletadas 30 amostras ao longo do tempo de aplicação, que a seguir tiveram suas concentrações determinadas por análise química. Os resultados permitiram caracterizar

alta correlação entre os dados obtidos por análise química com os estimados pela equação analítica, indicando que essa equação estima bem a variação da concentração de fertilizante, em função do tempo, para fins de fertirrigação com KCl e substâncias semelhantes, especialmente se as soluções apresentam concentrações iniciais abaixo da concentração de saturação.

5.SUMMARY

(ANALYSIS OF THE VALIDITY OF THE EQUATION USED TO ESTIMATE THE VARIATION OF FERTILIZER CONCENTRATION IN THE DERIVATION TANK IN FERTIRRIGATION)

Among the types of equipment used to inject fertilizers in irrigation water one of the most common is the derivation tank, widely used for injection by drops. The fertilizer concentration in derivation tanks diminishes exponentially from the moment of application, a behavior described by the equation $C_t = C_o \exp(-X)$, in which C_t is a fertilizer concentration in the derivation tank after a given time of application, C_o is the starting concentration of fertilizers in the tank, and X is the relation between the volume of water which circulated in the tank and the volume of the tank. Although the above-mentioned equation is widely quoted in the relevant literature, there have been few studies concerning the evaluation of its performance under different working conditions in fertirrigation. For this study an experiment was carried out using five tank volumes (20, 40, 60, 80 and 100 L) and three fertirrigation times (60, 90 and 120 minutes) for each volume of tank, each test being repeated three times. In each test, 30 samples were collected throughout the period of application, and their concentrations were subsequently determined by chemical analysis. The results obtained permitted characterization of a high correlation between the values obtained by chemical analysis and those arrived at by the analytic equation. It is thus indicated that this equation is valid for estimating the variation of concentration of the fertilizer, with regard to fertirrigation objectives, in relation with the passing of time.

6. LITERATURA CITADA

1. ALVES, D. N. B. *Desempenho da bomba injetora e do tanque de derivação de fluxo na aplicação de cloreto de potássio em microaspersão*. Lavras, MG, ESAL, 1992. 72p. (Tese M.S.).

2. BAR-YOSEF, B. Trickle irrigation and fertilization of tomatoes in sand dunes: water, N, and P distributions in the soil and uptake by plants. *Agronomy Journal*, 69:486-491, 1977.
3. BONOMO, R. *Análise da validade da equação utilizada para estimar a variação da concentração de fertilizante no tanque de derivação, em fertirrigação*. Viçosa, MG, UFV, Impr. Univ., 1995. 57p. (Tese M.S.).
4. COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais* . 4^a aproximação. Lavras, MG, CFSEMG, 1989. 159p.
5. FAO. *Riego localizado*. Roma, 1986. 203p. (Estudio FAO. Riego y Drenaje, 36).
6. HERNANDEZ, F. B. T. Potencialidades da fertirrigação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE FERTILIZANTES FLUIDOS, Piracicaba, 1993. *Anais...* Piracicaba, ESALQ/CENA, PATAFOS, 1993. p. 199-210.
7. HOWELL, T.A.; STEVENSON, D.S.; ALJIBURY, F.K.; GITLIN, H.M.; WU, I.P.; WARRICK, A.W. & RAATS, P.A. Fertilizing through drip systems. In: JENSEN, M.E. (ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph, American Society of Agricultural Engineers, 1983. p.711-717.
8. IGNAZI, J. C. The use of fertilizer in irrigation water. *Fertilizer and Agriculture*, 88:53-55, 1984.
9. KENG, J. C. W.; SCOTT, T. W. & LUGO-LÓPEZ, M. A. Fertilizer management with drip irrigation in an oxisol. *Agronomy Journal*, 71:971-980, 1979.
10. PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid, Mundi-prensa, 1987. 461p.
11. SHANI, M. *La fertilización combinada con el riego*. [Tel Aviv], Ministério da Agricultura, 1981. 36p.
12. STEDUTO, P. Fertigation. *Rivista di Agronomia*, 18(1):3-20, 1984.
13. ZANINI, J. R. *Hidráulica de fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora*. Piracicaba, EDUSP, 1987. 103p.(Tese D.S.).