

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**MOVIMENTAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM SOLO
FERTIRRIGADO**

CLAYTON ALEXANDRE DE OLIVEIRA

REGES EDUARDO FRANCO TEODORO
(Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia, da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG
Maio – 2005

**MOVIMENTAÇÃO DE NITROGÊNIO, FÓSFORO E POTÁSSIO EM SOLO
FERTIRRIGADO**

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA EM 20/05/2005

Prof. Dr. Reges Eduardo Franco Teodoro
(Orientador)

Prof. Dr. Benjamim de Melo
(Membro da Banca)

Pesq. M.Sc. Hudson de Paula Carvalho
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG
Maio – 2005

ÍNDICE

RESUMO.....	3
1. INTRODUÇÃO.....	4
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5. CONCLUSÕES.....	24
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	25

RESUMO

Ainda hoje, diversas dúvidas se têm quanto à movimentação dos íons no solo, principalmente com relação ao fósforo e ao potássio, por apresentarem forte fixação a alguns tipos de solo. No entanto, alguns pesquisadores afirmam que, de maneira geral, os nutrientes apresentam boa movimentação no perfil quando aplicados em fertirrigação. Com base nisso, instalou-se um experimento no Setor de Irrigação, localizado na Fazenda Experimental do Glória, pertencente à Universidade Federal de Uberlândia, objetivando avaliar a influência da fertirrigação na movimentação dos elementos nitrogênio, fósforo e potássio ao longo do perfil do solo. Para tanto, utilizou-se um sistema de irrigação localizada com gotejadores autocompensantes, apresentando vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$. Os adubos usados foram a uréia, o monoamônio fosfato (MAP) e o cloreto de potássio na concentração de 700 mg L^{-1} . Foram realizadas três fertirrigações, com intervalo de quatro dias da primeira para a segunda e de três dias, da segunda para a terceira. Ao término das fertirrigações, aguardou-se três horas, para que então, se iniciasse a retirada de amostras do solo. O mesmo foi amostrado radialmente nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Com base na análise química, foram elaborados três gráficos, por meio do programa Statistica, para ilustrar o comportamento dos elementos no perfil. Pelos resultados, pôde-se concluir que, com a realização da primeira fertirrigação, tanto o nitrogênio, quanto o fósforo e o potássio, permaneceram nas camadas iniciais do solo; nas fertirrigações subseqüentes os nutrientes apresentaram facilidade de movimentação no perfil do solo; quando se compara a terceira fertirrigação em relação à primeira, verifica-se a 40 cm de profundidade uma concentração de nitrogênio e potássio, cerca de 25% superior, e comparando-se a movimentação do fósforo na terceira fertirrigação em relação à primeira, verificou-se a 20 cm, um aumento de aproximadamente 81%.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de nutrientes na água de irrigação tem sido utilizada com frequência cada vez maior pelos produtores, principalmente àqueles que possuem sistema de irrigação localizada.

A principal característica desse sistema é a aplicação de água em um volume reduzido da área ocupada pela planta, limitando, quase sempre, o crescimento das raízes à área do bulbo molhado. Com isso, práticas como a aplicação de nutrientes via água de irrigação, conhecida como fertirrigação, podem aumentar a eficiência de absorção dos nutrientes pelas plantas, uma vez que estas ao absorverem água, estariam absorvendo também os nutrientes disponíveis em solução.

Esses nutrientes quando em solução, se dissociam em seus íons formadores, apresentando carga negativa ou positiva dependendo da característica química de cada um. Quando dispersos na solução do solo, pode ocorrer uma interação desses íons com as partículas do solo, principalmente as argilas, fazendo com que os mesmos fiquem presos a esses materiais, o que dificulta a sua movimentação, ou mesmo, não se interagir com essas argilas, ficando o íon sujeito ao arraste por parte da água de drenagem.

Sabe-se que os ânions, ou íons com carga elétrica negativa, estão, de uma maneira geral, mais predispostos a serem movimentados no perfil do solo, pois possuem cargas elétricas iguais às das argilas (negativa). Porém, há exceções, como no caso do fósforo, que se ioniza negativamente, mas tem sua mobilidade extremamente dificultada pela adsorção aos óxidos hidratados de alumínio presentes em abundância nos solos do Brasil. Já os cátions, por possuírem cargas elétricas positivas, têm, de maneira geral, maior dificuldade de movimentação, pois são logo retidos por essas argilas.

No entanto, quando aplicados em fertirrigação, os nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio têm apresentado maior movimentação no perfil do solo do que quando aplicados convencionalmente. Diversos fatores interferem nesse movimento, mas o mais característico é o arraste promovido pela própria água de irrigação ao infiltrar no perfil do solo.

Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar o movimento e a localização no solo dos nutrientes nitrogênio, fósforo e potássio aplicados em fertirrigação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O processo de infiltração da água no solo é dinâmico e sujeito a diversas interferências. Segundo Mmolawa e Or (2000) a infiltração e subsequente distribuição de água e solutos no solo é estreitamente dependente do método de irrigação, do tipo de solo, da distribuição do sistema radicular, das taxas de absorção de água e nutrientes e do tipo de nutriente.

Com relação ao solo, os parâmetros envolvidos que podem interferir na dinâmica de solutos no mesmo, são os mesmos que podem interferir na movimentação da água no perfil. São eles a textura e a compactação do solo, principalmente.

A densidade global, por ter como seu denominador o volume total da amostra, varia de acordo com este. Ao se compactar, a massa de sólidos permanece constante e o volume diminui, portanto aumenta-se a densidade. Desta forma, a densidade global é um índice do grau de compactação global (REICHARDT, 1985). Na Tabela 1, observa-se valores gerais de densidade global para os diferentes tipos de solos, conforme Prevedello (1996).

TABELA 1. Intervalos de valores encontrados na superfície dos solos cultivados.

Classes de solos	ρ_g (kg m⁻³)
Arenosos	1250 – 1400
Argilosos e francos	1000 – 1400
Humíferos	750 – 1000
Turfosos	200 – 450

Outro parâmetro que indica indiretamente o grau de compactação de um solo e, conseqüentemente a facilidade com que a água e os solutos se movimentam no meio, é a condutividade hidráulica saturada (K_o), conforme Miranda et al. (2000).

Em geral, solos pouco arenosos tendem a ser pouco condutivos, já que possibilitam movimentação relativamente lenta de água e gases, pois os microporos (em quantidades predominantes) mantêm-se com frequência cheios de água (PREVEDELLO, 1996).

Os valores de K_o para condições saturadas são características do tipo do solo e da água. Entre os critérios para classificar o grau de permeabilidade dos solos à água, pode-se usar os parâmetros propostos por Klar (1991), contidos na Tabela 2.

Bresler (1977) avaliou a movimentação de sais aplicados em fertirrigação no sistema de irrigação localizada. O autor trabalhou com diferentes emissores diferentes (vazões de 4 e 20 L h⁻¹) e dois tipos de solos (argiloso e arenoso). Observou que no solo argiloso o bulbo formado pelo gotejador de menor vazão apresentou-se menos disperso radialmente e com profundidade mais acentuada quando comparado com o emissor de

vazão maior. No solo arenoso, o comportamento foi semelhante ao anterior, porém, as profundidades foram mais acentuadas e as distâncias radiais menos expressivas.

TABELA 2. Classes de permeabilidade dos solos.

Classes de Permeabilidade	(mm h ⁻¹)	Características
Impermeável	0,025	Impermeável, não umedece; inadequado para irrigação.
Lenta	0,025 – 0,25	Inadequado para drenagem artificial. Há perigo de salinização por excesso de sal.
Baixa	0,25 – 2,5	Baixa aeração para um bom desenvolvimento radicular.
Média	2,5 - 25	Adequado, com boas condições de aeração e umidade.
Rápida	25 - 250	Arenosos.
Muito rápida	250	Drenos de areia.

Os nutrientes apresentam no solo dois tipos característicos de movimentação. Um deles é o fluxo de massa, caracterizado pelo arraste do nutriente pela água no solo, sendo este o principal movimento verificado quando o processo de fertirrigação está em curso e/ou logo após o seu encerramento, quando ainda se observa elevada redistribuição de água. O outro tipo, chamado difusão, é mais característico quando o processo de fertirrigação está cessado e a redistribuição da água no solo está em muito reduzida. Dá-se pela diferença de

concentração da solução do solo, ocorrendo quando a planta absorve água próxima às raízes e, por diferença de potencial, a água é difundida, ocupando novamente o espaço.

Os nutrientes aplicados às plantas em fertirrigação é função da concentração de nutrientes presentes na água de irrigação, da concentração na solução do solo, da evapotranspiração da cultura e da marcha de absorção de nutrientes pelas plantas (MMOLAWA ; OR, 2000).

O nitrogênio é o elemento cujo emprego na fertirrigação produz resultados mais expressivos e é o mais freqüentemente aplicado via água de irrigação. Isto não constitui nenhuma surpresa, visto que o papel do nitrogênio nos fenômenos vitais é fundamental. Todo ser vivo contém uma proporção maior ou menor de nitrogênio orgânico (CABELLO, 1986).

Segundo Fassbender (1975), do nitrogênio total da camada superficial dos solos agrícolas, mais de 85% encontra-se na forma orgânica e sujeito à mineralização por processos microbiológicos, sendo convertido em amônio (NH_4^+) e posteriormente, pela nitrificação, transformado em nitrito (NO_2^-) e finalmente em nitrato (NO_3^-). A uréia é desdobrada em NH_4^+ e CO_2 pela enzima urease e o amônio resultante pode ser adsorvido ao solo, absorvido pelas plantas ou microorganismos ou transformado em nitrato.

Segundo Rolston et al. (1986), a urease é freqüentemente encontrada, também, em água que contém grande quantidade de algas e outros microorganismos, e desde que esta enzima não seja removida pela filtragem, sua presença provoca a hidrólise da uréia.

A intensidade da conversão do amônio em nitrato tem, de acordo com Hauck (1971), alguns efeitos nas posteriores reações do nitrogênio do solo e do fertilizante. Eles podem afetar o metabolismo do nitrogênio, pois as taxas de absorção e assimilação de NO_3^- e NH_4^+ pelas plantas são diferentes. Além disso, a nitrificação converte uma forma catiônica de nitrogênio (NH_4^+), relativamente imóvel, para uma forma aniônica (NO_3^-) móvel, que pode ser lixiviada. Por último, são produzidas formas oxidadas de nitrogênio, as quais são susceptíveis a perdas através da volatilização, por processos de redução microbiológica (desnitrificação).

As perdas de nitrogênio por volatilização se dão na forma de amônia, ocorrendo com alta frequência quando o adubo é aplicado na superfície do solo sem incorporação. Porém, quando incorporados a profundidades superiores a cinco centímetros, permitem um controle eficiente desse tipo de perda (MALAVOLTA, 1981; LIBARDI ; REICHARDT, 1978; TERMAN, 1979).

Pode-se encontrar nitrogênio no solo em três formas diferentes, que não têm a mesma utilidade imediata para as plantas: orgânica, amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-). O nitrogênio presente no húmus em forma orgânica se mineraliza no solo passando primeiro à forma amoniacal, por ação principalmente de bactérias aeróbicas, cuja atuação é favorecida num meio neutro ou alcalino. A oxidação continua por ação de diversos microorganismos, passando o nitrogênio à forma nítrica. Esta última transformação se vê muito acelerada por altas temperaturas e pela aeração do solo (MALAVOLTA, 1981).

O nitrogênio amoniacal é solúvel em água, porém é retido pelo complexo de troca do solo. Pelo contrário, o nitrogênio nítrico não é retido e, aliás, tem uma solubilidade

muito alta e pode ser arrastado facilmente pela água, provocando perdas importantes (CABELLO, 1986).

O fósforo é um elemento essencial nas plantas, uma vez que faz parte de importantes processos energéticos. Como o nitrogênio, participa no crescimento vegetativo, porém, o primeiro, é considerado um fator de quantidade, enquanto o fósforo é um fator de qualidade. Além disso, favorece todos os processos relacionados à fecundação, a frutificação e a maturação, sendo um fator de precocidade.

O fósforo se encontra no solo em várias formas. A mais importante para as plantas é a forma de H_2PO_4^- dissolvido na solução do solo, de onde pode ser absorvido pelas raízes. Normalmente se encontra unido ao complexo de troca, por intermédio de cátions bivalentes. Também há fósforo na forma orgânica, a partir da qual, por ação de microorganismos, pode mineralizar-se e ficar à disposição das plantas. Finalmente, o fósforo pode estar na forma insolúvel, procedente da rocha mãe degradada, ou proveniente dos adubos depositados no solo. Este fósforo pode evoluir passando à assimilável, num processo muito lento, por isso é praticamente inaproveitável para a planta (CABELLO, 1986). A maior absorção de fósforo ocorre na camada superficial do solo, visto que este não penetra a grandes profundidades, e o sistema agrícola de trabalho que conserva as raízes superficiais, favorece a absorção deste elemento. A época de aplicação não é tão importante para o fósforo como no caso do nitrogênio, visto que o fósforo não é lavado e eliminado da zona radicular (CABELLO, 1986).

O fósforo solúvel em água reage com a matriz do solo quando entra em contato com o mesmo, diminuindo expressivamente sua concentração na solução do solo, fazendo com

que sua movimentação seja restringida ou retardada. Conseqüentemente, o fósforo é freqüentemente tido como imóvel no solo e mesmo sua lixiviação no perfil é considerada insignificante (FEIGEN et al., 1990).

A aplicação de fósforo via água de irrigação pode apresentar certas restrições. Dentre elas, podem ser citados a baixa solubilidade da maioria dos adubos fosfatados, aqueles que apresentam alta solubilidade são de alto custo; os fosfatos se precipitam com grande facilidade, podendo causar entupimentos e; baixa mobilidade desse nutriente no solo, principalmente em solos altamente fixadores de fósforo, não atingindo, portanto, maiores profundidades (HERNANDEZ ABREU et al., 1987).

No entanto, Herget e Reuss (1976), avaliando a distribuição do fósforo em solo fertirrigado, verificou que esse nutriente, em solo argiloso, apresentou baixa movimentação, acumulando-se na camada superficial (4,0 cm). Entretanto, no solo arenoso, os dados mostram haver movimentação do nutriente até 18,0 cm de profundidade.

Por outro lado, pesquisas indicam que o fósforo pode ser aplicado através de irrigação por gotejamento tanto em solos arenosos como argilosos. Nessa situação, há um aumento na mobilidade devido à saturação dos sítios de adsorção próximos ao ponto de saída do emissor (COELHO, 1994). Rauschkolb et al. (1976) verificaram que na aplicação de ortofosfato em solo argiloso, através de gotejamento, o fósforo se movimentou a até 30,0 cm de profundidade. Isso representa uma movimentação 5 a 10 vezes maior do que quando o fósforo é aplicado na superfície do solo.

Já o potássio é freqüentemente aplicado via água de irrigação sem apresentar problemas, pois, a maioria dos sais de potássio apresenta alta solubilidade. Utiliza-se mais o

nitrito ou cloreto de potássio em comparação com o sulfato, pois na presença de grandes concentrações de cálcio na água ocorrem precipitações de sulfato de cálcio (HAGIN ; TUCKER, 1982).

Em solos argilosos, segundo Costa et al. (1986), o potássio tem baixa mobilidade, recomendando-se que a sua aplicação seja feita no sulco de plantio. Em solos arenosos é comum ser aplicado na água de irrigação, de forma parcelada. As fontes de potássio mais usadas são o cloreto (KCl), o nitrito (KNO_3) e o sulfato (K_2SO_4), sendo que as duas primeiras apresentam alta solubilidade, enquanto o sulfato requer aquecimento para ser solubilizado. O cloreto de potássio, apesar de sua boa solubilidade e baixo preço, pode diminuir a qualidade de certas culturas, devido aos altos teores de cloro.

O potássio pode ser encontrado dissolvido na solução do solo ou adsorvido pelo complexo de troca, com um intercâmbio constante entre as duas posições. O potássio se encontra retido nos colóides do solo e é pouco perdido por lixiviação, mas as perdas podem ser importantes em solos com pouca capacidade de troca catiônica (CABELLO, 1986).

Zanini (1991b apud CONRAD, 2002) relatou que a concentração de potássio é maior no centro do bulbo, cerca de 30 a 40 cm de profundidade. Observou também que as irrigações subseqüentes promoveram uma melhor distribuição do íon no bulbo molhado, mas que, os locais de maiores concentrações de potássio coincidiram com os locais de maiores volumes de umidade, evidenciando seu caminamento por fluxo de massa.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Setor de Irrigação, localizado na Fazenda Experimental do Glória, da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia-MG.

O local de instalação continha anteriormente capim braquiária, o qual foi previamente dessecado com o uso de herbicida e posteriormente roçado. A palhada remanescente do capim foi toda retirada para fora do local. Nesta área, instalou-se um sistema de irrigação localizada com emissores autocompensantes, espaçados em 0,7 m, apresentando vazão de $2,3 \text{ L h}^{-1}$. Foram dispostas no terreno três linhas de irrigação, com diâmetro nominal de 16,0 mm, espaçadas em 3,0 m entre si, com comprimento de 10,0 m, contendo 14 gotejadores em cada linha. Dessa forma, a área utilizada no experimento foi de $100,0 \text{ m}^2$, uma vez que se deixou uma bordadura de 2,0 m nas laterais da área amostrada.

Foram retiradas amostras simples em três locais da área em estudo, as quais foram homogeneizadas, dando origem a uma única amostra composta, das camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Das referidas amostras determinou-se as características químicas e físicas do local. Objetivando avaliar a densidade global do solo e a condutividade

hidráulica saturada, foram abertas duas trincheiras em área adjacente à área em estudo, onde se retirou doze amostras indeformadas de solo no cilindro de Uhland (três para a camada de 0 – 0,20 m e outras três para a camada de 0,21 – 0,40 m, tanto para densidade global quanto para condutividade hidráulica saturada).

A densidade global foi obtida, para cada repetição, mediante a divisão do peso do solo seco em estufa a 105° C até peso constante, pelo volume ocupado pela amostra.

A condutividade hidráulica saturada foi obtida, também para cada repetição, pelo método do permeâmetro de carga constante, por meio do frasco de Mariotte.

Os adubos usados no presente trabalho foram a uréia, o MAP e o cloreto de potássio (140 gramas de cada por fertirrigação realizada), como fontes de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. A concentração final no tanque de mistura foi de 700 mg L⁻¹.

Foram realizadas três fertirrigações com intervalos de três dias, obtendo-se então, amostras de uma, duas e três aplicações. O tempo de irrigação foi de três horas, sendo que as fertirrigações se deram sempre após a primeira hora de irrigação e procederam em duração de quarenta minutos. Após cada fertirrigação, aguardou-se três horas, para que o fluxo de água no solo diminuísse. Três gotejadores da área útil foram escolhidos ao acaso e uma trincheira com dimensões de 1,0 x 0,4 m foi aberta em cada emissor avaliado. Amostrou-se radialmente cada bulbo, nas camadas de 0 – 10 cm; 10 – 20 cm; 20 – 30 cm e 30 – 40 cm (Figura 1). As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificadas e remetidas ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia, para quantificar os teores de cada nutrientes nas diferentes profundidades.

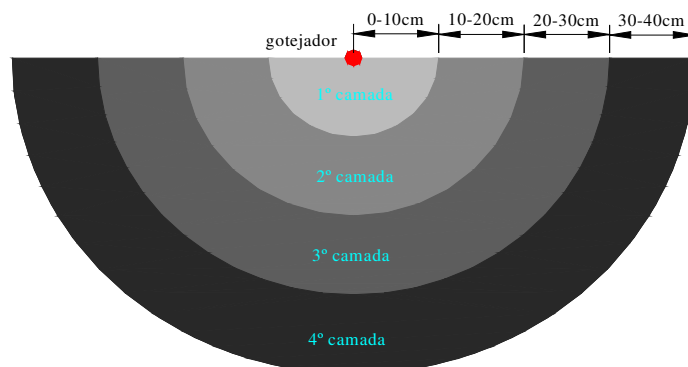


FIGURA 1. Detalhe das camadas de solo amostradas radialmente.

Após a obtenção dos teores de cada nutriente, foram confeccionados gráficos, com auxílio do programa Statistica, ilustrando a movimentação de cada nutriente, bem como sua concentração, nas diversas partes do perfil amostrado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 estão compilados os resultados das análises química e física realizadas para caracterizar a área. Verifica-se que os teores dos nutrientes envolvidos são baixos, sendo a camada de 0,21 – 0,40 metros a que piores teores apresentou. Verifica-se também, que o pH e a CTC apresentam valores reduzidos. Sendo esses valores considerados baixos, a interferência dos referidos parâmetros na retenção dos cátions é mínima. Com relação aos parâmetros de textura, o solo da área foi classificado como franco na primeira camada e argilo arenoso na camada subsequente.

No tocante à densidade global, o valor médio encontrado na análise realizada em laboratório foi de $1,40 \text{ g cm}^{-3}$ para a camada de 0 – 0,20 m e de $1,24 \text{ g cm}^{-3}$ para a camada de 0,21 – 0,40 m de profundidade. Analisando esses dados, observa-se que a camada inicial apresentou maior densidade global quando comparada com a camada seguinte, indicando que a primeira apresenta-se mais compactada. Os valores encontrados são semelhantes aos preconizados por Prevedello (1996). No que diz respeito à condutividade hidráulica saturada, os valores mensurados em laboratório foram de 1,4 e $7,5 \text{ mm h}^{-1}$, respectivamente

para a primeira e segunda camadas. Segundo a classificação de Klar (1991) a camada superficial estaria classificada como de permeabilidade baixa e seguinte como de permeabilidade mediana.

TABELA 3. Resultados das análises química e física da área experimental, realizadas previamente à instalação do trabalho.

Profundidade (m)	Análise Química						
	pH água 1 : 2,5	N	P	K	t	T	V
		---	-----	-----	-----	-----	----
		g kg ⁻¹	mg L ⁻¹	cmol _c L ⁻¹	%		
0 – 0,20	5,5	0,09	5,00	33,80	1,88	8,31	35
0,21 – 0,40	4,8	0,06	1,10	12,90	1,77	3,32	19
Análise Física							
Profundidade (m)	Areia		<i>Silte</i>				Argila
	Fina	Grossa					
	----- g kg ⁻¹ -----						
	0 – 0,20	290	299	09	402		
0,21 – 0,40	261	284	21	432			

Observações: N = Digestão sulfúrica ; P e K = HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025N ; t = CTC efetiva ; T = CTC a pH 7,0 ; V = saturação por bases

Nitrogênio

Na Figura 2 estão compilados os dados relativos aos teores de nitrogênio nas diferentes camadas avaliadas para as três fertirrigações. Nota-se que na primeira fertirrigação, grande parte do nitrogênio aplicado permaneceu nos primeiros 0,2 m,

apresentando um teor médio aproximado de $0,16 \text{ g kg}^{-1}$. Ainda na primeira fertirrigação, cerca de 31% de todo o nitrogênio aplicado apresentou-se nos primeiros 0,10 m.

Diante disso, pode-se inferir que o nitrogênio ao chegar ao solo, já apresentava-se na forma amoniacal (NH_4^+), forma esta capaz de ser fixada nas argilas, apesar da baixa CTC verificada. Com isso, a sua movimentação foi dificultada, levando-o a concentrar-se nas camadas iniciais. Outro ponto a ser observado diz respeito à rápida transformação da uréia em amônio, fato este que pode ter ocorrido na água de irrigação, uma vez que a mesma apresentava-se rica em algas e, conseqüentemente, em enzimas urease, as quais são responsáveis por essa transformação, segundo citação de Rolston et al. (1976).

Na segunda fertirrigação, pode-se verificar uma tendência clara de uma melhor distribuição do nitrogênio ao longo do perfil. Na terceira fertirrigação esse comportamento é bem visível. Isso pode ter ocorrido em função da constante nitrificação, verificada desde a primeira fertirrigação, onde o nitrogênio que porventura estivesse na forma amoniacal foi sendo transformado em nitrato. Essa forma é facilmente lixiviada pela água de drenagem e pode ter sido carregada pela água de irrigação, levando a distribuir melhor o nitrogênio no perfil do solo amostrado.

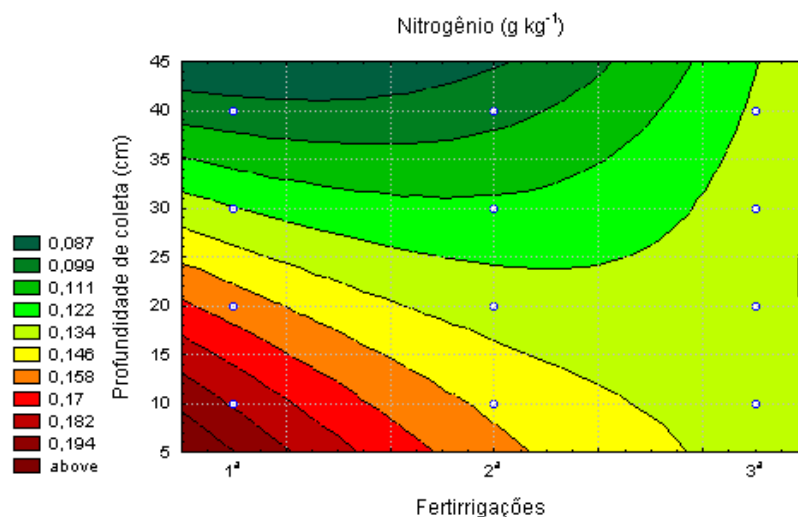


FIGURA 2. Representação gráfica da distribuição de nitrogênio (N) no solo nas profundidades avaliadas (0 – 10; 10 – 20; 20 – 30 e 30 – 40 cm) em função das fertirrigações implementadas (1ª, 2ª e 3ª). Método de extração do nitrogênio: digestão sulfúrica.

Fósforo

Na Figura 3 estão reunidos os teores de fósforo obtidos nas diversas camadas analisadas e nas diferentes fertirrigações. Observa-se uma tendência de acúmulo desse nutriente na camada inicial do solo (aproximadamente 9,0 mg L⁻¹ nos primeiros 0,10 m) na primeira fertirrigação, provando a dificuldade de movimentação desse nutriente no solo. Esse fenômeno foi bem explicitado por Feigen et al. (1990). No entanto, com a segunda e terceira fertirrigações, esse comportamento foi todo alterado. Verificou-se que o referido nutriente movimentou-se no perfil, saindo de uma concentração inferior a 3,0 mg L⁻¹ a 0,20 m na primeira fertirrigação, para um valor superior a 12,0 mg L⁻¹, nesta mesma

profundidade, após a terceira fertirrigação. Esse resultado contraria o encontrado por Herget ; Reuss (1976), que observaram uma movimentação inferior a 4,0 cm de profundidade em solos argilosos.

Essa movimentação, provavelmente, foi devida ao acúmulo de fósforo ao solo que, saturando os sítios de adsorção desse nutriente, permitiu que a água de irrigação carresse-o um pouco mais em profundidade no perfil do solo, conforme citado por Coelho (1994).

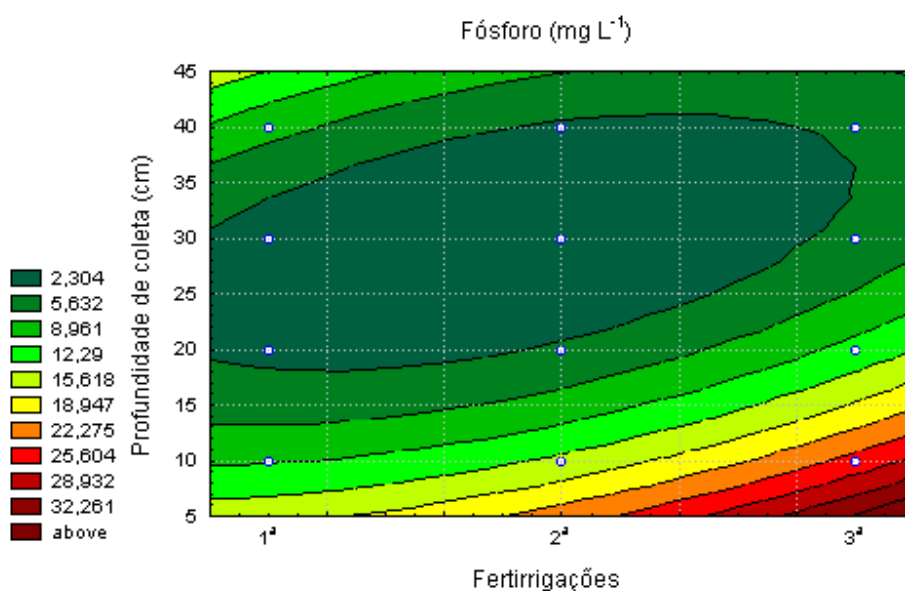


FIGURA 3. Representação gráfica da distribuição de fósforo (P₂O₅) no solo nas profundidades avaliadas (0 – 10; 10 – 20; 20 – 30 e 30 – 40 cm) em função das fertirrigações implementadas (1ª, 2ª e 3ª). Método de extração de P: nitroperclórico proporção 4:0,5.

Potássio

Os dados relativos às análises do potássio estão reunidos na Figura 4. Na primeira e segunda fertirrigações, observa-se um crescente acúmulo de potássio nas camadas superficiais do solo (aproximadamente 180 mg L⁻¹ nos primeiros 0,13 m). Ressalta-se que

por ser um cátion, o referido nutriente apresenta naturalmente maior dificuldade de movimentação no solo em função das retenções promovidas pela argila. Porém, de acordo com Cabello (1986), em solos com baixa capacidade de troca catiônica (CTC) este fato não é preponderante. O resultado observado contradiz o apresentado pelo referido autor no qual, mesmo em CTC reduzida, o potássio apresentou dificuldades de movimentação, apesar das facilidades promovidas pela água de irrigação.

Na terceira fertirrigação, verifica-se um comportamento totalmente atípico, onde as concentrações nas camadas superficiais se mantiveram em valores ainda elevados (cerca de $80,0 \text{ mg L}^{-1}$ na camada de 0,10 m). Apresentou declínio nas quantidades do nutriente nas camadas intermediárias (cerca de $40,0 \text{ mg L}^{-1}$ a 0,20 e 0,30 m) e voltou a apresentar uma tendência de aumento na concentração para a camada de 0,40 m (em torno de $80,0 \text{ mg L}^{-1}$).

O fato do potássio ter sido movimentado para as camadas mais inferiores do perfil, pode ter ocorrido por causa da lixiviação promovida pela água de irrigação, em que o nutriente, por fluxo de massa, foi sendo carregado. No entanto, isto não explica o fato de ter ocorrido uma depleção das quantidades de potássio no centro do bulbo. Este resultado contradiz Zanini (1991b apud CONRAD, 2002), onde verificou que o potássio permaneceu em maiores concentrações no centro do bulbo de irrigação.

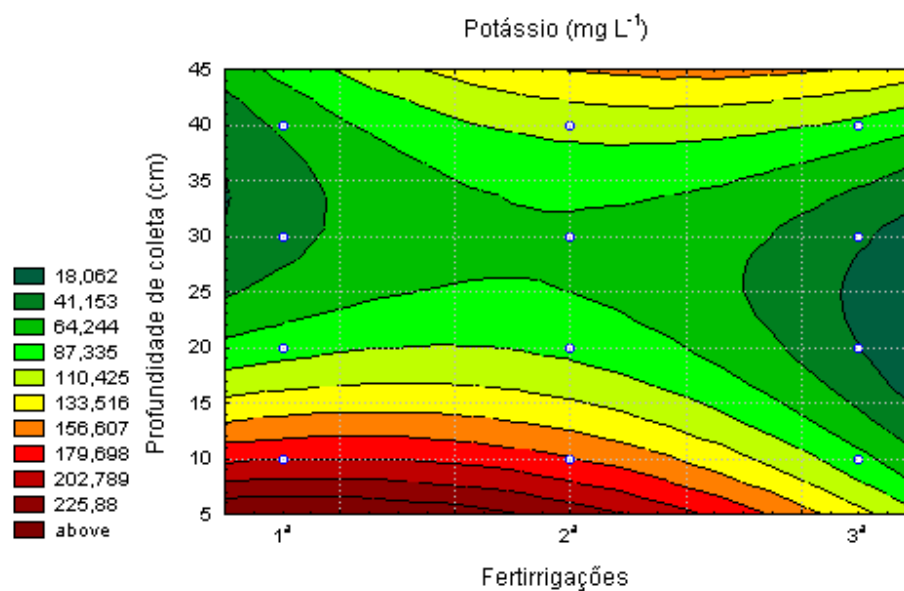


FIGURA 4. Representação gráfica da distribuição de potássio (K_2O) no solo nas profundidades avaliadas (0 – 10; 10 – 20; 20 – 30 e 30 – 40 cm) em função das fertirrigações implementadas (1^a, 2^a e 3^a). Método de extração de K: nitroperclórico proporção 4:0,5

5. CONCLUSÕES

Com base nas características experimentais adotadas e nos resultados obtidos, pôde-se concluir que:

- Com a primeira fertirrigação, tanto o nitrogênio, quanto o potássio e o fósforo, permaneceram nas camadas iniciais do solo;
- Nas fertirrigações subsequentes os nutrientes apresentaram facilidade de movimentação no perfil do solo;
- Quando se compara a terceira fertirrigação em relação à primeira, verifica-se a 40 cm de profundidade uma concentração de nitrogênio e potássio, cerca de 25% superior;
- Comparando-se a movimentação do fósforo na terceira fertirrigação em relação à primeira, verificou-se a 20 cm, um aumento de aproximadamente 81%.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRESLER, E. Trickle-drip irrigation: principles and application to management. **Advances in Agronomy**; New York, n.29, p. 343-393, 1997.

CABELLO, F.P. **Riegos localizados de alta frecuencia** : goteo, microaspersión, exudacion. 2.ed. Madri: Mundi-Prensa, 1986. 461 p.

COELHO, M.A. Fertirrigação. In: COSTA, E.F.; VIEIRA, R.F.; VIANA, P.A. (Ed.). **Quimigação** : aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. P. 201-227.

CONRAD, M. **Efeito de sistemas de irrigação localizada sobre a produção e qualidade da acerola (*Malpighia* spp) na região da Nova Alta Paulista**. Ilha Solteira.2002. 119p. Dissertação (Mestrado - Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2002.

COSTA, E. E. da; FRANÇA, G. E. de; ALVES, V. M. C. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.139, p. 63-68, 1986.

FASSBENDER, H. **Química de suelos**. Con énfasis en suelos de América Latina. Costa Rica: Turrialba, 1975. 398 p.

FEIGEN A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. **Effect of irrigation with treated sewage effluent on soil, plant and environment, irrigation with treated sewage effluent**. Management for environmental protection. Berlin: Springer-Verlag, 1990. 203 p.

HAGIN, J.; TUCKER, B. **Fertilization of dryland and irrigated soils**. Berlin: Springer-Verlang, 1972. 190 p.

HAUCK, R. D. Quantitative estimates of nitrogen-cycle process-concepts and reviw. In: INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Nitrogen – 15 in soil – plant studies**. Vienna, 1971. p. 65 – 80.

HERGET, G. W.; REUSS, J. O. Sprinkler application of P and Zn fertilizers. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p. 5 – 8, 1976.

HERNANDEZ ABREU, J. M.; RODRIGO LOPES, J.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDES, J. F. **El riego localizado**. Madrid, Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, 1987. 317 p.

KLAR, A. E., **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Destino da uréia aplicada a um solo tropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.2, n.1, p.40-44, 1978

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**: adubos e adubação. 3.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 607p.

MMOLAWA, K.; OR, D. Root zone solute dynamics under drip irrigation: A review. **Plant and Soil; the Hague**, n.222, p. 163-190, 2000.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: [s.n.], 1996. 446p.

RAUSCHKOLB, R. S.; ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; CARLTON, A. B.; BURAU, R. C. Phosphorus fertilization with drip irrigation.. **Soil Sciences Society of American Journal**, Madison. v.40, n.1, p. 68-71, 1976.

REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera**. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. 466 p. p. 156.

ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J.; SCHULBACH, H. Management principles. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1976. p. 317 – 345.

TERMAN, G. L. Volatilization losses of nitrogen as ammonia from surface – applied fertilizers, organic amendments, and crop residues. **Advances in Agronomy**, New York, v.31, p. 189-223, 1979.