

Redução dos teores de carbono orgânico, fósforo e potássio em colunas de um solo fertirrigado¹

Reduction of organic carbon, phosphorus and potassium in columns of fertirrigated soil

Luiz Gonzaga de Figueiredo Júnior², Teógenes Senna de Oliveira³, Ismail Soares⁴ e Claudivan Feitosa de Lacerda⁵

RESUMO

Objetivou-se nesse trabalho, avaliar a redução dos teores de C, P e K em um Neossolo Quartzarênico fertirrigado e em condições controladas, para testar a hipótese de que as perdas desses elementos são elevadas nessas condições. O experimento foi conduzido por 60 dias em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará, em Fortaleza. Colunas de PVC foram preenchidas material de solo de textura arenosa e duas fontes de matéria orgânica (esterco bovino e palha de arroz), proporcionando tratamentos com diferentes relações C/N: 11,2 17,0; 25,2; 37,8; 59,4 e 105,3. Reduções consideráveis no teor de C no solo ocorreram durante o período de incubação, sendo as mais acentuadas, observadas nos tratamentos com menor relação C/N, e vice-versa. A lixiviação de C na água percolada foi baixa em todos os tratamentos, indicando que o C no solo foi perdido de outras formas. O teor de P disponível no solo decresceu drasticamente no início da incubação e, no final do experimento, apenas 4% desse nutriente encontrava-se em forma disponível. A lixiviação de P disponível variou de 0,91% a 6,9%. A redução de K disponível no solo foi da ordem de 96%, em média. Aos 12 dias, apenas 5% do que continha na ocasião da incorporação da matéria orgânica, permaneceram no solo. O total de K lixiviado foi baixo, variando de 11,6% a 5,5%. Esses resultados permitem concluir que os teores de C, P e K disponíveis no solo decresceram consideravelmente na camada de 0-10 cm, mesmo nos materiais com ampla relação C/N.

Termos para indexação: Neossolo Quartzarênico, agricultura irrigada, irrigação localizada, percolação de água, matéria orgânica.

ABSTRACT

This study had the objective of evaluating the reduction of organic C, P and K amounts applied to a fertigated Neossolo Quartzarenico under controlled conditions. The hypothesis tested was that the amounts of these elements lost by the system were elevated. The experiment was installed for 60 days in a greenhouse at the Federal University of Ceará, Fortaleza. PVC columns were filled with sandy soil and two types of organic matter (cattle manure and straw rice) in different C:N ratio: 11,2 17,0; 25,2; 37,8; 59,4 e 105,3. Considerable reductions in the soil organic C amount were observed during the period of incubation. The most noticeable reduction occurred at the treatments with lower C:N ratio. The total amount of organic C leached was low for all treatments, indicating that organic C in the soil was lost for other forms. The available P in the soil decreased drastically in the start of incubation, and at the end of the experiment, only 4% of P were in the available form. The leaching of available P varied from 0.91 to 6.9%. The reductions K in the soil was pronounced over the incubation period, remaining on average, at 12 days, only 5% of the amount that was incorporated to the soil. The total amount of K leached was low, ranging from 11.6% to 5.5%. These results indicate that organic C, available P and K amounts in the soil decreased drastically in the 0 - 10 cm soil layer, even in the organic matters with large C:N ratio.

Index terms: Neossolo Quartzarênico, organic matter, irrigated agriculture, located irrigation, water percolated.

¹ Parte de dissertação apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal do Ceará (UFC), para obtenção do grau de Mestre em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas. Recebido para publicação em .

² Doutorando em Irrigação e Drenagem pela ESALQ/USP. Bolsista da Capes. lgffigue@esalq.usp.br.

³ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará- UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: teogenes@ufc.br. Bolsista do CNPq.

⁴ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Ciências do Solo, Universidade Federal do Ceará- UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: ismail@ufc.br.

⁵ Engenheiro Agrônomo, D.Sc., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará- UFC. Campus do PICI, Bloco 807, CEP 60455-760, Fortaleza-CE. E-mail: cfeitosa@ufc.br.

Introdução

No nordeste brasileiro, uma região onde o principal fator limitante à produção é a água, a irrigação pode promover enormes elevados incrementos na produtividade, sendo considerada como perspectiva de futuro da agricultura no semi-árido, com grandes investimentos governamentais (Souza et al., 1994a). Sampaio e Salcedo (1997) estimam, com base nas fontes possíveis de disponibilidade hídrica da região, que as áreas irrigáveis, em toda a região semi-árida brasileira, são de 1154×10^3 ha, no total mais disponível, com um potencial máximo de 3499×10^3 ha, o que, respectivamente, correspondem a 1,5 e 4,4% do semi-árido (Souza et al., 1994b). Tais estimativas por mais criticáveis que sejam, indicam claramente que devem ser exploradas em um contexto local, regional e global, onde a sustentabilidade destas áreas está diretamente integrada às demais formas de exploração econômica. Apesar das pequenas proporções, devem ser consideradas áreas privilegiadas e com a mais alta capacidade de produção da região, e, o seu uso, portanto, necessariamente tem que ser o mais racional e eficiente possível.

A literatura retrata que muito pouco foi feito para maximizar a utilização das áreas irrigáveis da região semi-árida do Nordeste brasileiro. Têm-se dado mais ênfase às questões de engenharia hidráulica e ocupação da área potencialmente irrigável que à elevação da produtividade relacionada aos fatores água, terra e trabalho (Sampaio e Salcedo, 1997). A necessidade de atenção a estes aspectos é ainda mais reforçada quando se avalia o custo do hectare de área irrigada plantada, em torno de US\$ 12.000,00, e o custo da água, US\$ 20,00 por $10^3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, segundo estimativas de Souza et al. (1994a). A adoção de práticas que impliquem em custos adicionais (por exemplo a subsolagem) para a convivência com situações de solo degradados pelo uso irracional, em conjunto com a manutenção destes em condições produtivas, coloca em questão a sua sustentabilidade e a garantia da sua máxima utilização econômica, social e ambiental. Torna-se evidente, portanto, a necessidade premente de monitoramento nas áreas irrigadas, principalmente quanto às interações solo-água-planta e as conseqüências do desequilíbrio provocado pelo uso intensivo do solo nestas áreas. Ao considerar as diferentes situações de dimensionamento de sistemas de irrigação, tipos de solo, qualidade de água para irrigação, culturas e práticas de manejo, pode-se prever o potencial de

comprometimento dos níveis de produtividade atuais destas áreas e sua viabilidade econômica, social e ambiental, ou seja, o comprometimento de sua sustentabilidade.

A associação da fertilização via irrigação localizada às características e, ou, propriedades de solo (tipicamente de textura arenosa), originários de sedimentos arenoquartzosos da Formação Barreiras (Brasil, 1973), tem sido uma prática que nos últimos tempos está se tornando comum nas principais áreas agrícolas da região litorânea do Nordeste brasileiro e, principalmente no estado do Ceará. Como nem sempre as condições de trabalho nestas áreas privilegiam o uso racional, a eficiência dos fatores de produção deve estar comprometida, principalmente quanto ao uso de fertilizantes e de matéria orgânica. Doses e fontes variáveis de nutrientes, lâminas de água de irrigação, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), presença ou não de camada adensada em subsuperfície, exigências nutricionais e o manejo do solo e das culturas são alguns dos fatores envolvidos no sistema de produção e que devem ser considerados, visando a busca da máxima eficiência em bases sustentáveis.

As perdas de nutrientes são amplamente estudadas pela pesquisa científica, principalmente quando referem-se a lixiviação de N, K, Ca, Mg e alguns metais pesados (Lawton et al., 1978, Espinoza e Reis, 1982, Anjos e Rowell, 1983, Soprano e Alvarez, 1989, Basso e Carvalho, 1992, Beltrame et al., 1992, Basso e Reichardt, 1995, Carvalho, 1996, Bertoncini e Mattiazzo, 1999). Todavia poucos trabalhos avaliam as perdas de P, o que tem tornado uma tendência atual de estudos por parte de alguns pesquisadores, principalmente quando se associa à condições de solo de textura arenosa. O fluxo e as interações potencialmente variáveis pelo uso de fontes água com qualidade bastante variável, além da reduzida fração coloidal destes solos e o seu possível movimento em subsuperfície, podem ser algumas das razões utilizadas para justificar estas perdas.

As condições do microambiente fertirrigado são totalmente distintas das encontradas no cultivo em sequeiro. A degradação da matéria orgânica deve se processar de forma bastante acelerada em função das maiores temperaturas de solo e do ar encontradas na região, bem como pela manutenção de teores de umidade do solo e de nutrientes próximos dos níveis ótimos pela fertirrigação. Mesmo com a formação de complexos orgânicos, a quase não existência de cargas nas condições de solos de textura arenosa favorece a perda destes em

subsuperfície, arrastando também nutrientes ligados ao seu complexo de troca. Além disso, a degradação da matéria orgânica, tão rápida nestas condições, leva ao questionamento, também, do condicionamento físico que pode ser proporcionado ao solo, como o aumento da retenção de água e uma melhor agregação, por exemplo.

Observa-se uma crescente preocupação dos pesquisadores com o uso de solos de textura arenosa na produção agrícola, principalmente com relação às perdas de nutrientes, mais especialmente o fósforo, e de compostos orgânicos normalmente utilizados no controle de pragas, doenças e plantas espontâneas. Tais perdas estão diretamente associadas aos elevados custos das aplicações de nutrientes e de matéria orgânica, mas também a possibilidade de contaminação e eutrofização do lençol freático (Beltrame et al., 1992, Cox et al., 1999, Djodjiic et al., 1999, He et al., 1999, Hooda et al., 1999, Kuo et al., 1999, Laubel et al., 1999, Magid et al., 1999, Streck e Richter, 1999, Zander et al., 1999, Zebarth e Szeto, 1999, Worrall et al., 1999).

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo, avaliar as perdas de carbono orgânico, fósforo e potássio em um Neossolo Quartzarênico fertilizado em condições controladas, para testar a hipótese de que as perdas desses elementos são elevadas no sistema estudado.

Material e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido com amostras de um Neossolo Quartzarênico proveniente de área pertencente à empresa Mossoró Agroindústria SA - MAISA, localizada no município de Mossoró - RN, a 300 km a oeste de Natal. O experimento foi instalado em casa de vegetação da Universidade Federal do Ceará, no Campus do Pici, situado na cidade de Fortaleza - CE. Segundo Köppen, o tipo climático nesta localidade é Aw', com temperatura e precipitação médias anuais de 26,7°C e 1350 mm, respectivamente.

A amostragem do solo foi feita em uma área de 1000 m², de onde foram coletadas 20 amostras simples para formar uma amostra composta. A coleta foi feita a uma profundidade de 0-40 cm, em quantidade suficiente para instalar o experimento, e execução das análises laboratoriais. As características físicas e químicas do solo estudado foram determinadas segundo EMBRAPA (1997), sendo apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Atributos físicos e químicos de um Neossolo Quartzarênico coletado a uma profundidade de 0-40 cm, no município de Mossoró-RN.

Atributo	Resultado
Areia grossa (g kg ⁻¹)	530
Areia fina (g kg ⁻¹)	350
Silte (g kg ⁻¹)	40
Argila (g kg ⁻¹)	80
Argila natural (g kg ⁻¹)	30
Grau de flocculação (g 100g ⁻¹)	63
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,49
Densidade de partícula (g cm ⁻³)	2,65
Umidade - 0,033 Mpa (g 100g ⁻¹)	4,80
Umidade - 1,5 Mpa (g 100g ⁻¹)	3,62
Água útil (g 100g ⁻¹)	1,18
pH em água	6,5
C.E (dS m ⁻¹)	1,36
Ca ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	1,9
Mg ²⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,0
K ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,21
Na ⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,08
H + Al (cmol _c kg ⁻¹)	0,82
Al ³⁺ (cmol _c kg ⁻¹)	0,0
S (cmol _c kg ⁻¹)	3,1
T (cmol _c kg ⁻¹)	3,9
V (%)	79
C (g kg ⁻¹)	4,9
N (g kg ⁻¹)	0,5
C/N	10
MO (g kg ⁻¹)	8,4
P disponível (mg kg ⁻¹)	27

Depois de homogeneizado e seco ao ar até atingir umidade residual, o solo foi destorroado e passado em peneira com abertura de malha de 2 mm. Para a condução deste estudo utilizou-se colunas de PVC, com 7,5 cm de diâmetro e 30 cm de altura. As colunas foram preenchidas com solo até uma altura de 20 cm, sendo colocada uma tela de nylon para separar a parte superior, que recebeu uma mistura de solo e matéria orgânica (ocupando mais 10 cm) conforme os tratamentos avaliados.

A escolha da fonte de matéria orgânica foi baseada na relação C/N apresentada por vários materiais analisados, sendo utilizado o esterco bovi-

no e a casca de arroz, na forma isolada e em diferentes combinações de misturas (Tabela 2). Os tratamentos testados foram: 100% de esterco bovino (T1); 80% de esterco bovino + 20% de casca de arroz (T2); 60% de esterco bovino + 40% de casca de arroz (T3); 40% de esterco bovino + 60% de casca de arroz (T4); 20% de esterco bovino + 80% de casca de arroz (T5); e 100% de casca de arroz (T6).

A quantidade de matéria orgânica adicionada nas colunas, foi calculada com base em dosagens recomendadas em campo de cultivo de melão (*Cucumis melo*, L.) da MAISA, sendo utilizada a recomendação de 10 ton ha⁻¹. O experimento teve duração de 60 dias, com cinco épocas de coleta de material para determinação, no solo e na água percolada, de C, P e K disponíveis. As coletas de solo foram realizadas a cada 12 dias, removendo-se a mistura de solo e matéria orgânica que ocupou a parte superior da coluna (10 cm), para assim retirar-se aproximadamente 2g da amostra já homogeneizada. As amostras para análise da água foram coletadas diariamente, através de funis colocados na parte inferior das colunas, sendo a própria água percolada, o extrato utilizado nas determinações. Cada amostra foi constituída por coletas de um período de 12 dias consecutivos.

Além da matéria orgânica, adicionou-se também aos tratamentos, fertilizantes químicos, conforme recomendação utilizada por Prata (1999), subtraindo-se as quantidades de nutrientes extraídas pela cultura do meloeiro, haja vista que não houve plantas no presente estudo (Tabela 3). Como fonte de N, P e K, utilizou-se uréia (NH₂CONH₂), superfosfato simples (Ca(H₂PO₄)H₂O.CaSO₄.2H₂O) e cloreto de potássio (KCl), respectivamente. Os micronutrientes foram adicionados através do fertilizante denominado F.T.E - BR 12 (fritas), numa dosagem de 50 kg ha⁻¹.

A irrigação teve por objetivo fornecer água ao meio para simular as condições de umidade, encontradas numa área ocupada pela cultura do meloeiro irrigado, favorecen-

Tabela 2 - Porcentagem de carbono orgânico (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K) e relação C/N das diferentes combinações de esterco bovino (EB) e palha de arroz (PA) incorporadas nas colunas de PVC nos tratamentos propostos⁽¹⁾.

Tratamento %EB/%PA	C	N	P	K	Relação C/N
	%				
100 + 0	14,4	1,29	0,71	1,44	11,2
80 + 20	18,7	1,10	0,59	1,23	17,0
60 + 40	23,0	0,91	0,47	1,02	25,2
40 + 60	27,2	0,72	0,35	0,81	37,8
20 + 80	31,5	0,53	0,23	0,60	59,4
0 + 100	35,8	0,34	0,11	0,39	105,3

¹Determinações realizadas no Laboratório de Solo e Água da Universidade Federal do Ceará, conforme EMBRAPA (1997).

do as reações químicas que ocorrem no solo. A quantidade de água aplicada para simular a irrigação via gotejamento, foi calculada com base no ciclo do meloeiro, através da relação de área (1 m²/área da coluna PVC), considerando o bulbo molhado formado pelo gotejador no campo. A lâmina total foi de 300 mm durante os 60 dias, aplicada através de um turno de rega de 2 dias. A adubação de cobertura foi realizada semanalmente via água de irrigação, preparando-se uma solução nutritiva com uréia (NH₂CONH₂) e cloreto de potássio (KCl), a partir da lâmina aplicada.

As determinações de C, P e K disponíveis, no solo e de C, P e K solúveis, na água percolada, foram realizadas conforme EMBRAPA (1997). O C foi determinado por oxidação da matéria orgânica, via úmida com dicromato de potássio (K₂Cr₂O₇, 0,4 N) em meio sulfúrico, empregando-se como fonte de energia o calor despreendido do ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) e/ou aquecimento. O excesso de

Tabela 3 - Recomendação de fertilização mineral e extração de nutrientes pela cultura do meloeiro (*Cucumis melo*, L. var. *inodorus nadium*) utilizada como referência para o experimento conduzido.

Nutriente	N	P ₂ O ₅ Kg.ha ⁻¹	K ₂ O
Total recomendado ⁽¹⁾	100	160	160
Extração pela cultura	47	16	96
Total aplicado ⁽²⁾	53	144	64

¹Recomendação de adubação utilizada por Prata (1999); e ²Adubação utilizada no presente trabalho.

dicromato após a oxidação foi titulado com solução padrão de sulfato ferroso amoniacal $[\text{Fe}_2(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}, 0,1 \text{ N}]$. O método utilizado para determinação do P (disponível e solúvel) consiste na formação de complexo fósforo-molibdico de cor azul obtido após redução do molibdato de amônio $[(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}]$ com ácido ascórbico ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) e determinação por colorimetria. Para determinação do K (disponível e solúvel), utilizou-se o extrator Mehlich-1 (H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,05 N), tendo a leitura sido realizada, posteriormente, em fotômetro de chama.

Os tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso com subamostragens e quatro repetições. Os resultados obtidos foram submetidos às análises de variância e teste de média, utilizando-se o programa SAEG. O efeito dos tratamentos foi testado a 5% de

probabilidade pelo teste de Tukey.

Resultados e Discussão

Carbono orgânico no solo e solúvel na água percolada

Consideráveis reduções no teor de C no solo foram observadas durante o período de duração do experimento (Tabela 4). A quantidade de C perdida variou de 26 a 43%, sendo que as maiores perdas relativas ocorreram nos tratamentos com menor relação C/N, enquanto as menores tenderam a ocorrer nos tratamentos com elevada relação C/N. O teor de C no solo em T6, que possui a maior relação C/N, foi estatisticamente superior a T4, T3, T2 e T1 em todas as épocas observadas.

Tabela 4 - Conteúdo de C no solo (C_s) e na água percolada (C_p), em diferentes épocas de coleta, utilizando amostras de um Neossolo Quartzarênico fertirrigado em condições controladas e com diferentes combinações de esterco bovino (EB) e palha de arroz (PA) incorporadas.

Tratamento %EB/%PA	Época (dias)						Média	Redução total de C_s no solo ⁽²⁾ g / %	Total de C_p lixiviado ⁽³⁾ G / %
	0 ⁽¹⁾	12	24	36	48	60			
Conteúdo (g) de C_s no solo									
100 + 0	8,54	5,72d	5,97c	5,97e	5,74d	4,84d	6,13	3,7 / 43	-
80 + 20	10,50	9,21c	7,96bc	7,96de	8,03cd	6,99cd	8,44	3,5 / 33	-
60 + 40	13,40	10,10c	9,95b	9,17cd	8,31cd	7,63cd	9,76	5,8 / 38	-
40 + 60	14,30	11,30c	10,30b	12,10bc	9,87bc	9,55bc	11,24	4,7 / 33	-
20 + 80	16,20	13,50b	15,10a	14,10ab	12,70ab	12,10ab	13,95	4,1 / 26	-
0 + 100	18,20	16,50a	16,90a	17,10a	14,60a	12,90a	16,03	5,3 / 29	-
Média	13,52	11,06	11,03	11,07	9,88	9,00			
Conteúdo (g) de C_p acumulado na água percolada									
100 + 0	-	0,12a	0,12a	0,13a	0,13a	0,13a	0,13	-	0,134 / 1,57
80 + 20	-	0,11ab	0,11ab	0,12ab	0,13ab	0,13ab	0,12	-	0,129 / 1,23
60 + 40	-	0,11ab	0,11ab	0,12ab	0,12ab	0,12ab	0,12	-	0,121 / 0,90
40 + 60	-	0,09bc	0,10bc	0,10bc	0,11bc	0,11bc	0,10	-	0,107 / 0,75
20 + 80	-	0,07c	0,08cd	0,08cd	0,08cd	0,08cd	0,08	-	0,084 / 0,52
0 + 100	-	0,07c	0,07d	0,08d	0,08d	0,08d	0,08	-	0,079 / 0,43
Média		0,10	0,10	0,11	0,11	0,11			

¹ C_s inicial (presente no solo + aplicado via tratamentos);

² Diferença entre conteúdo de C_s inicial e conteúdo final determinado no solo aos 60 dias;

³ Cálculo considerando C_s inicial e o total de C_p lixiviado. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A redução do teor de C no solo ao longo do tempo pode ser observado para todos os tratamentos após 60 dias de incubação. Ao comparar os tratamentos entre si, observa-se que seu teor é decrescente nessa ordem: T6 > T5 > T4 > T3 > T2 > T1. As menores reduções no teor de C ocorreram nos tratamentos T5 e T6 (Tabela 4).

A relação C/N, apresentada na Tabela 2, da matéria orgânica dos tratamentos T5 (59,4) e T6 (105,3) indica que a velocidade de decomposição nessas condições é mais lenta, havendo maior dificuldade por parte dos microrganismos, em decompor esses materiais. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Bayer e Mielniczuk (1999). Esses autores comentam que materiais mais complexos, de difícil decomposição, estabelecem um metabolismo microbiano mais lento. Com a diminuição na velocidade de decomposição da matéria orgânica em materiais de alta relação C/N, o estoque de C no solo tende a aumentar, constituindo uma reserva deste elemento em solos arenosos irrigados.

O conteúdo de C acumulado na água percolada, que foi obtido a partir da lixiviação desse elemento no solo, mostra que o T1, com menor teor de C e maior teor de N no solo, não diferiu de T2 e T3 e foi estatisticamente superior aos tratamentos T4, T5 e T6 (com maiores teores de C e ampla relação C/N) em todas as épocas observadas (Tabela 4), comprovando que a lixiviação de C no solo ocorre de acordo com sua intensidade de decomposição. O acúmulo de C na água percolada ao longo do tempo pode ser observado, percebendo-se o aumento no conteúdo desse elemento ocorrendo de forma bastante acentuada logo nos primeiros 12 dias de incubação em todos os tratamentos.

De modo geral, as maiores reduções no teor de C no solo (0 – 10 cm) e os maiores acúmulos na água percolada ocorreram no mesmo período, ou seja, entre 0 e 12 dias. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Minhoni et al. (1990), que, ao adicionarem diferentes fontes de matéria orgânica ao solo, observaram maior desprendimento de carbono logo nos primeiros dias de incubação. Tal comportamento, segundo esses autores, reflete a dinâmica de comunidades microbianas heterotróficas no solo, as quais oxidam, inicialmente, os compostos mais simples, havendo, com isso, rápido desprendimento de carbono no solo. Vale salientar, no entanto, que o total de C presente na água percolada foi baixo (0,43% a 1,57%) em todos os tratamentos (Tabela 4), indicando que a redução no teor desse elemento

no solo, não tem como principal causa, a sua lixiviação, pelo menos até profundidades 30 cm. A redução no teor de C no solo, pode ter ocorrido principalmente devido à sua liberação via CO₂, o que confirma os resultados obtidos Minhoni et al. (1990), onde constataram que, enquanto parte do carbono do substrato orgânico é utilizada pelos microrganismos na construção de novo protoplasma celular, grande parte é perdida na forma de CO₂. Estes resultados indicam a necessidade de maior atenção na escolha de materiais orgânicos visando o aumento do teor de C do solo, pois a velocidade de decomposição, nas condições estudadas, é alta, devendo-se priorizar materiais com ampla relação C/N (60 a 100).

Vale ressaltar que mesmo os materiais mais resistentes à decomposição, como a casca de arroz, sofreram perdas consideráveis de C, indicando que a quantidade utilizada pode ter sido pequena. A utilização de materiais orgânicos mais resistentes à decomposição tende a formar um estoque de C no solo, podendo condicionar uma melhoria nas propriedades do solo. Em solos arenosos e irrigados do Nordeste brasileiro, como os que ocorrem na Formação Barreiras, que originou o solo em estudo, esta prática assume papel relevante, uma vez que o teor de matéria orgânica nesses solos normalmente é muito reduzido.

Fósforo disponível no solo e solúvel na água percolada

O P disponível no solo em T1, foi estatisticamente superior aos demais tratamentos nas três primeiras épocas observadas (12, 24 e 36 dias), enquanto T4, T5 e T6 foram estatisticamente inferiores a todos os outros durante todo o ciclo de incubação (Tabela 2). Comparando-se o conteúdo de P disponível presente nos tratamentos testados, observa-se que, em média, apenas 4% desse nutriente encontravam-se em forma disponível às plantas no final do período observado (Tabela 5). A redução do teor de P disponível no solo ficou em torno de 70% em média, entre 0 e 12 dias, tendo alcançado aproximadamente 95% aos 24 dias. A partir de 24 dias, há uma tendência de equilíbrio entre as formas de P no solo, não percebendo-se reduções no teor de P disponível a partir deste ponto.

Durante todo o período de incubação, o acúmulo de P na água percolada em T4, T5 e T6, foi estatisticamente superior a T1 e T2. Entre T4, T5 e T6, assim como entre T1 e T2, não houve diferença

Tabela 5 - Conteúdo de fósforo disponível (P_d) no solo e solúvel (P_p) na água percolada, em diferentes épocas de coleta e utilizando amostras de um Neossolo Quartzarênico fertirrigado em condições controladas e com diferentes combinações de esterco bovino (EB) e palha de arroz (PA) incorporadas.

Tratamento %EB/%PA	Época (dias)						Média	Redução	Total de P_s
	0 ⁽¹⁾	12	24	36	48	60		total de P_d no solo ⁽²⁾ g/ %	lixiviado ⁽³⁾ G/ %
Conteúdo (mg) de P_d no solo									
100 + 0	359	118a	18,8a	17,4a	14,0a	15,0a	90,4	344,0 / 95,8	-
80 + 20	305	93,0b	15,6b	14,0b	13,1a	12,7ab	75,6	292,3 / 95,8	-
60 + 40	251	75,8c	12,5c	11,4c	12,1a	10,9ab	62,3	240,1 / 95,7	-
40 + 60	197	60,4d	9,5d	8,1d	8,3b	6,8c	48,4	190,2 / 96,5	-
20 + 80	143	42,7e	6,3e	5,2e	5,6bc	4,7c	34,6	138,3 / 96,7	-
0 + 100	89	25,5f	3,8f	3,0f	3,5c	2,6c	21,2	86,4 / 97,1	-
Média	224	69,2	11,1	9,9	9,4	8,8			
Conteúdo (mg) de P_p acumulado na água percolada									
100 + 0	-	0,62c	1,00b	1,14c	2,20c	3,26d	1,64	-	3,26 / 0,91
80 + 20	-	0,83bc	1,04b	1,59bc	2,91c	4,10cd	2,09	-	4,10 / 1,34
60 + 40	-	1,33ab	1,76ab	2,38ab	3,60bc	5,18bc	2,85	-	5,18 / 2,06
40 + 60	-	1,41a	2,26a	3,34a	5,63a	8,15a	4,16	-	8,15 / 4,13
20 + 80	-	1,50a	2,26a	2,99a	4,72ab	6,63ab	3,62	-	6,63 / 4,64
0 + 100	-	1,52a	2,29a	3,10a	4,73ab	6,14b	3,56	-	6,14 / 6,90
Média		1,20	1,77	14,54	3,97	5,58			

¹ P_d inicial (presente no solo + aplicado via tratamentos);

² Diferença entre conteúdo de P_d inicial e conteúdo final determinado no solo aos 60 dias;

³ Cálculo considerando P_d inicial e o total de P_p lixiviado. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

estatística significativa. Como T4, T5 e T6 continham inicialmente menor teor de P disponível no solo do que T1 e T2, o maior acúmulo de P solúvel na água percolada nesses tratamentos, pode ter ocorrido devido à transformações de P não disponível em formas de P disponível, sendo posteriormente lixiviado. Essas transformações dependem, entre outros fatores, da concentração de P disponível na solução do solo.

Observa-se um aumento gradativo de P na água percolada ao longo do período de incubação. Note que, diferente do comportamento do C, não se observou uma coincidência entre o período de máxima redução de P no solo e o período de maior acúmulo de P na água percolada. Dessa maneira, a grande redução no teor de P disponível no solo observada entre 0 e 24 dias (Tabela 5), não refletiu em incremento acentuado desse nutriente na água percolada, indicando que a quantidade total de fosfatos lixiviados foi baixa.

O fósforo por ser um elemento que apresenta alta capacidade de fixação ou adsorção no solo, gera, na maioria dos sistemas de produção, um problema na disponibilidade desse nutriente para as plantas (Fox e Kamprath, 1970; Raij, 1991). Esse fenômeno ocorre devido a grande reatividade desse nutriente. Na verdade, o P não é perdido, mas transformado em formas não disponíveis às plantas ou não extraíveis pelos métodos de determinação comumente utilizados.

Potássio disponível no solo e solúvel na água percolada

Em todas as épocas observadas, o K disponível no solo em T1 foi superior ao T6 (Tabela 6). Após 36 dias de incubação, os tratamentos T1, T2, T3 e T4, não apresentaram diferença estatística significativa entre si. Aos 60 dias, ocorreu diferença esta-

tística significativa apenas entre T1 e T6, sendo os demais tratamentos, semelhantes entre si. Os resultados mostram que o K, por ser um nutriente bastante móvel no solo, sofreu reduções acentuadas, já aos 12 dias, permanecendo, em média, apenas 5% do que continha na ocasião da incorporação da matéria orgânica (Tabela 6). Após 12 dias de incubação, o teor de K disponível, nos seis tratamentos testados, não sofreu grandes reduções.

Quanto ao K solúvel na água percolada, observou-se diferença estatística significativa entre os tratamentos nas cinco épocas observadas, tendo o

conteúdo de K na água percolada diminuído, seguindo a seguinte ordem: T1 > T2 > T3 = T4 > T5 > T6. As maiores perdas de K disponível via lixiviação ocorreram entre 0 e 12 dias (Tabela 6). Neste período, verificou-se um incremento no conteúdo de K solúvel na água percolada, através da lixiviação, percebendo-se a partir de então, pequenos acréscimos. Como pode ser notado, o período de maior redução no teor de K disponível no solo coincidiu com o período de maior acúmulo de K solúvel na água percolada. Contudo, o total de K na água percolada, foi relativamente baixo (5,5% a 11,6%).

Tabela 6 - Conteúdo de Potássio disponível (K_d) no solo e solúvel (K_p) na água percolada, em diferentes épocas de coleta e utilizando amostras de um Neossolo Quartzarênico fertirrigado em condições controladas e com diferentes combinações de esterco bovino (EB) e palha de arroz (PA) incorporadas.

Tratamento %EB/%PA	Época (dias)						Média	Redução total de P_d no solo ⁽²⁾ g / %	Total de P_s lixiviado ⁽³⁾ G / %
	0 ⁽¹⁾	12	24	36	48	60			
Conteúdo (mg) de K_d no solo									
100 + 0	647	43a	27a	27a	27a	23a	132	624 / 96,4	-
80 + 20	636	39a	23ab	27a	27a	23ab	129	612 / 96,3	-
60 + 40	628	31b	23bc	23a	27a	23ab	126	605 / 96,3	-
40 + 60	616	31b	23bc	23a	23a	23ab	123	593 / 96,2	-
20 + 80	608	27c	23cd	20b	23b	23ab	121	585 / 96,2	-
0 + 100	597	23c	20d	16c	20c	20b	116	577 / 96,7	-
Média	622	32	23	23	25	23			
Conteúdo (mg) de K_p acumulado na água percolada									
100 + 0	-	55a	70a	74a	74a	74a	69	-	75 / 11,6
80 + 20	-	47b	62b	62b	66b	66b	61	-	66 / 10,3
60 + 40	-	43c	55c	55c	55c	59c	53	-	57 / 9,1
40 + 60	-	43c	55c	55c	55c	59c	53	-	57 / 9,3
20 + 80	-	27d	39d	39d	39d	43d	37	-	41 / 6,8
0 + 100	-	20e	27e	31e	31e	31e	28	-	33 / 5,5
Média		39	51	53	53	55			

¹ K_d inicial (presente no solo + aplicado via tratamentos);

²Diferença entre conteúdo de K_d inicial e conteúdo final determinado no solo aos 60 dias;

³Cálculo considerando K_d inicial e o total de K_s lixiviado. Médias seguidas da mesma letra, nas colunas, não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A quantidade de K solúvel lixiviado na água percolada, representa, no presente estudo, o total desse elemento que se deslocou a profundidades superiores a 30 cm. Dessa forma, considera-se que o conteúdo de K disponível que permaneceu entre 10 e 30 cm, não foi lixiviado, mas deslocado para uma profundidade com possibilidade de ser explorada pela maioria das plantas cultivadas.

Um estudo desenvolvido por Fassbender e Bornemisza (1994), mostrou que aplicações contínuas de fertilizantes potássicos na camada superficial do solo, levaram a uma acumulação de K nas profundidades de 7,5 – 15 cm e 15 – 30 cm, indicando que a lixiviação de K, entre essas camadas, ocorreu de forma muito intensa. De acordo com Mendonça (1995), em condições favoráveis, parte

do alumínio fortemente ligado à matéria orgânica pode passar para formas mais reativas durante a oxidação da matéria orgânica. Esse comportamento pode acarretar aumento na liberação de alumínio para a solução do solo, ampliando a lixiviação de outros íons, como K e Na, além de favorecer o aumento da atividade microbiológica do solo. Considerando que nos tratamentos testados, utilizou-se amostras do mesmo solo e a mesma dose de fertilizantes químicos, variando apenas a composição da matéria orgânica, a permanência de nutrientes no solo estaria diretamente relacionada a esta fonte de variação. Contudo, a maior quantidade de carbono orgânico no solo na camada de 0-10 cm, não implicou em maior quantidade de fósforo e potássio retidos.

Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) Os teores de C, P e K disponíveis no solo, decresceram consideravelmente na camada de 0-10 cm, mesmo nos materiais com ampla relação C/N;
- b) a lixiviação não pode ser considerada a principal causa da redução do teor de P e K disponíveis no solo, tendo em vista o baixo conteúdo desses nutrientes na água percolada.

Referências Bibliográficas

ANJOS, J.T.; ROWELL, D.L. Perdas de cálcio em solos: efeito de doses de óxidos de cálcio, temperatura e períodos de secagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, p.75-81, 1983.

BASSOI, L.H.; CARVALHO, A.M. Lixiviação de macronutrientes em um solo cultivado com milho com e sem irrigação suplementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.283-287, 1992.

BASSOI, L.H.; REICHARDT, K. Lixiviação de nitrato em terra roxa estruturada latossólica cultivada com milho fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.329-335, 1995.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. e CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e**

subtropicais. Porto Alegre: 1999. p.09-26.

BELTRAME, L.F.S.; IOCHPE, B.; ROSA, S.M. da ; MIRANDA, T.L.G. Lixiviação de íons em solos cultivado com arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.203-208, 1992.

BERTONCINI, E.I.; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p.737-744, 1999.

BRASIL, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. **Levantamento Exploratório. Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**. Recife, 1973. V I. 310p. (Série Pedologica,16).

CARVALHO, M.S.B.S.C. **Perdas de nitrogênio, potássio, cálcio e magnésio por lixiviação em alguns solos dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte cultivados com cajueiro**. 1996, 74f. Dissertação (Mestrado Em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

COX, L.; CALDERÓN, M.J.; HERMOSÍN, M.C.; CORNEJO, J. Leaching of clocypralid and metamitron under conventional and reduced tillage systems. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.605-610, 1999.

DJODIJIIC, F.; BERGSTRÖM, L.; ULÉM, B.; SHIRMOHAMMADI, A. Mode of transpor of surface-applied phosphorus-33 through a clay and sandy soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1273-1382, 1999.

EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS. **Manual de métodos e análises de solos. Rio de Janeiro**. EMBRAPA-CNPQ, 1997. 212p.

ESPINOZA, W.; REIS, A.E.G. Lixiviação de Ca, K e Mg em um Latossolo Vermelho-escuro (LE) de Cerado. I. Magnitude e variabilidade do fenômeno na época chuvosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, p.299-317, 1982.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos com énfasis en suelos de América Latina**. 2a. ed. San José, CR: IICA, 1994. 420p.

FOX, R.H.; KAMPRTH, E.J. Phosphate sorpcion isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. **Soil Science Society of American Proceedings**, Madison, v.30, p.902-907, 1970.

- HE, Z.L.; ALVA, A.K.; LI, Y.C.; CALVERT, D.V.; BANKS, D.J. Sorption-desorption and solution concentration of phosphorus in a fertilized sandy soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1804-1810, 1999.
- HOODA, P.S.; MPYNAGH, M.; SVOBODA, I.F.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A.; SYM, G. Phosphorus loss in drainflow from intensively managed grassland soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1235-1242, 1999.
- KUO, S.; HUMMEL, R.L.; JELLUM, E.J.; WINTERS, D. Solubility and leachability of fishwaste compost phosphorus in soilless growing media. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.164-169, 1999.
- LAUBEL, A.; JACOBSEN, O. H.; KRONVANG, B.; GRANT, R.; ANDERSEN, H.E. Subsurface drainage loss of particles and phosphorus from filed plot experiments and a tile-drained catchment. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.576-584, 1999.
- LAWTON, K.; COELHO, M.A.; CRISÓSTOMO, L.A. Movimento e perdas por lixiviação de nutrientes solúveis aplicados a solos do Estado do Ceará, Brasil. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.1/2, p.89-18, 1978.
- MAGID, J.; JENSEN, M.B.; MUELLER, T.; HANSEN, H.C.B. Phosphate leaching responses from unperturbed, anaerobic or cattle manured mesotrophic sandy loam soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1796-1803, 1999.
- MENDONÇA, E.S. Oxidação da matéria orgânica e sua relação com diferentes formas de alumínio de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, p.25-30, 1995.
- MINHONI, M.T.A.; EIRA, A.F.; CARDOSO, E.J.B.N. Efeitos da adição de N e P sobre a decomposição de diferentes tipos de material orgânico no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p.297-304, 1990.
- PRATA, E. B. **Acumulação de biomassa e absorção de nutrientes por híbridos de meloeiro (*Cucumis melo*, L.)**. 1999, s.n.p.(Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. POTAFÓS. São Paulo, Ceres, 1991. 343p.
- SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 23., **Anais...** Rio de Janeiro: 1997. (CD ROOM).
- SOPRANO, E.; ALVAREZ, V.H., Nutrientes lixiviados de colunas de solo tratados com diferentes sais de cálcio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, p.25-29, 1989.
- SOUZA, H.R.; FIGUEIREDO, P.A.; MACHADO, R.T.; RAMOS, A.S. **Agricultura irrigada e desenvolvimento sustentável no nordeste do Brasil**. Uma estratégia de desenvolvimento sustentável para o Nordeste. Brasília: Projeto Áridas, 1994a. 58p.
- SOUZA, M.J.N.; MARTINS, M.L.R.; SOARES, Z.M.L.; FREITAS FILHO, M.R.; ALMEIDA, M.A.G.; PINHEIRO, F.S.A.; SAMPAIO, M.A.B.; CARVALHO, G.M.B.S.; SOARES, A.M.L.; GOMES, E.C.B.; SILVA, R.A. Redimensionamento da região semi-árida do nordeste do Brasil. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE DESERTIFICAÇÃO. **Anais...**, Fortaleza, Brasília, Fundação Esquel Brasil. 1994b. p.383-404.
- STRECK, T.; RICHTER, J. Field-scale study of chlortoluron movement in a sandy over winter: II. modeling. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1824-1831, 1999.
- WORRALL, F.; PARKER, A.; ERA, J.E.; JOHNSON, A.C. A study of suspended and colloidal matter in the leachate from lysimeters and its role in pesticide transport. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.595-604, 1999.
- ZANDER, C.; STRECK, T.; KUMBE, T.; ALTFELDER, S.; RICHTER, J. Field-scale study of chlortoluron movement in a sandy soil over winter: I experiments. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.1817-1817, 1999.
- ZEBARTH, B.J.; SZETO, S.Y. Leaching behavior of chlorinated hydrocarbon soil fumigants in repacked soil columns. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.28, p.564-575, 1999.