

PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO NO CULTIVO DA MAMONEIRA: ALTERAÇÕES QUÍMICAS EM ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO*

JERÔNIMO ANDRADE FILHO¹; NILDO DA SILVA DIAS²;
RAFAEL OLIVEIRA BATISTA³; JOSÉ FRACISMAR DE MEDEIROS²;
JOSÉ AMILTON SANTOS JÚNIOR⁴; ANA LUÍZA LIMA FERREIRA⁵

*Artigo extraído da Tese de Doutorado do primeiro autor

¹Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Rua Raimundo Firmino de Oliveira, 400 - Conj. Ulrick Graff, Mossoró-RN, CEP: 59.628-330, Email: andrade.filho@ifrn.edu.br

²Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró-RN, CEP: 59.625-900, Email: nildodias@ufersa.edu.br; jfmedeir@ufersa.edu.br

³Departamento de Engenharia e Ciências Ambientais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Av. Francisco Mota, 572 - Bairro Costa e Silva, Mossoró-RN, E mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco, R. Manuel de Medeiros, s/n - Dois Irmãos, Recife - PE, CEP: 52171-900, E mail: eng.amiltonjr@hotmail.com

⁵Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av. Pádua Dias, 11 - Cx. Postal 9 - Piracicaba - SP, CEP: 13418-900 E mail: luizaferreira@usp.br

1 RESUMO

O aproveitamento agrícola do percolado de aterro sanitário pode mitigar certos impactos ambientais, sobretudo quando eventuais alterações químicas no solo são monitoradas. Dito isto, em Mossoró-RN (5°11'31''S, 37°20'40''O), entre setembro de 2014 e janeiro de 2015, desenvolveu-se esta pesquisa, com o objetivo de quantificar alterações nas características químicas de um Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico cultivado com plantas de mamona (*Ricinus communis L.*) que receberam aplicação de percolado de aterro sanitário. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições; do total da demanda hídrica da cultura, aplicou-se inicialmente percentuais (0; 20; 40; 60 e 80%) de percolado de aterro sanitário e, em seguida, o restante em água de abastecimento. Concluiu-se que com o incremento do percentual de percolado aplicado houve aumento do pH e no quantitativo de Ni, Cd e Pb, assim como os teores de Ca e Cu foram reduzidos nos primeiros 0,20 m. A condutividade elétrica do extrato de saturação, e o quantitativo de Fe e Cu não variou ao longo do perfil, entretanto, verificou-se aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) - até a dose de 60% de percolado, e do percentual de sódio trocável (PST) - embora sempre abaixo de 15%. A variação no quantitativo de Mn, Zn, Ni, Cd e Pb não ultrapassou os limites impostos pela legislação vigente.

Palavras-chave: resíduo líquido, metais pesados, sustentabilidade

ANDRADE FILHO, J; DIAS, N. S; BATISTA, R.O; MEDEIROS, J.F;
SANTOS JUNIOR, J.A; FERREIRA, A.L.L
LANDFILL PERCOLATION IN CASTOR BEAN ULTIVATION: CHEMICAL
CHANGES IN RED-YELLOW ARGISOL

2 ABSTRACT

The agricultural use of landfill percolation can mitigate certain environmental impacts, especially when possible chemical changes in the soil are monitored. Thus, in Mossoró, RN (5°11'31"S, 37°20'40" W), between September 2014 and January 2015, this research was developed with the objective of quantifying changes in the chemical characteristics of a Eutrophic red-yellow agrisol cultivated with castor bean plants (*Ricinus communis L.*) that received landfill percolation. The experiment was conducted in a randomized block with five treatments and four replicates; percentages (0%, 20%, 40%, 60% and 80%) of percolated landfill were initially applied, followed by water supply. It was concluded that, with the increase of the percolation percentage applied, there was an increase in pH and in the quantity of Ni, Cd and Pb, while the Ca and Cu contents were reduced in the first 0.20 m. The electrical conductivity of the saturation extract, and the quantitative Fe and Cu did not vary along the profile. Nevertheless, there was an increase in CTC – up to 60% of the percolation, and exchangeable sodium percentage (ESP) – albeit always below 15%. The variation in the quantity of Mn, Zn, Ni, Cd and Pb did not exceed the limits imposed by the current legislation.

Keywords: liquid waste, heavy metals, sustainability

3 INTRODUÇÃO

O percolado de resíduos sólidos urbanos é entendido como uma matriz complexa de vários produtos químicos, incluindo matéria orgânica, sais inorgânicos, poluentes orgânicos e metais pesados, cada um em concentrações que variam de acordo com processos físicos, químicos e microbiológicos que ocorrem dentro das células do aterro sanitário (MOODY; TOWNSEND, 2017).

Do ponto de vista do aproveitamento agrícola, pode ser utilizado como fonte complementar de água para irrigação e, também de nutrientes, a exemplo do nitrogênio, potássio, magnésio e cálcio. Estas características podem ser utilizadas para reduzir o estresse hídrico e aumentar o desenvolvimento da planta (WANG et al., 2003), especialmente em regiões com escassez hídrica, como também já foi verificado para outros tipos de águas residuárias em vários países do mundo (BARROS et al., 2015).

Quanto ao resultado da sua aplicação no solo vale ressaltar que, por apresentar teor considerável de N-amoniaco e de material orgânico estabilizado, condiciona determinados atributos químicos do solo, como a disponibilidade de nutrientes, a capacidade de troca catiônica e a complexação de elementos tóxicos e micronutrientes (BAYER; MIELNICZUK, 1999).

No entanto, em trabalho com capim elefante cultivado em um Argissolo sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos, Coelho et al. (2015) mencionam que as características químicas do solo analisadas variaram apenas em relação à profundidade, por outro lado, também citam que os usos de elevadas dosagens aplicadas favoreceram a redução da sua qualidade, ou seja, o seu uso agrícola é limitado devido seu alto teor de impurezas físicas e a presença de metais pesados (MAZUR, 1997).

Neste sentido, apesar da relevância da destinação agrícola deste tipo de resíduo, especialmente em regiões semiáridas (COELHO et al., 2015), estudos relacionados ao impacto da aplicação do percolado de aterro sanitário no cultivo de espécies de importância econômica, como é o caso da mamoneira, especialmente no que diz respeito a quantificação das alterações

químicas em solos característicos do semiárido potiguar, como é o caso do Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico (CARVALHO et al., 2017) ainda são poucos.

Dito isto, o objetivo do presente trabalho foi quantificar alterações nas características químicas de um Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico cultivado com plantas de mamona (*Ricinus communis L.*) que receberam aplicação de percolado de aterro sanitário, nas condições do semiárido potiguar.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida entre setembro de 2014 e janeiro de 2015 na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA) da Universidade Federal Rural do Semiárido, campus Leste, Mossoró – RN (5°11'31''S, 37°20'40''O e altitude média de 18 m).

O delineamento experimental adotado foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas experimentais, sendo cada uma com área de 24 m² (4,0 x 6,0 m). Quanto aos tratamentos, do total da demanda hídrica da cultura, aplicou-se inicialmente percentuais (0; 20; 40; 60 e 80%) de percolado de resíduos sólidos urbanos (PRSU) e, em seguida, aplicou-se o restante em água de abastecimento (AB), ou seja, T₁ = 100% de AB + adubação mineral recomendada para a cultura; T₂ = 80% de AB + 20% de PRSU; T₃ = 60% de AB + 40% de PRSU; T₄ = 40% de AB + 60% de PRSU e T₅ = 20% de AB + 80% de PRSU.

Antes do início das atividades, o solo da área experimental foi classificado (EMBRAPA, 2006) como um Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico e caracterizado quanto aos atributos físicos (EMBRAPA, 2013) e químicos (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Caracterização física do Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico

Camadas do solo (m)	Densidade real de partículas do solo (g cm ⁻³)	Areia	Silte	Argila
		(kg kg ⁻¹)		
0,00 - 0,05	2,49	0,83	0,10	0,06
0,05 - 0,15	2,55	0,83	0,09	0,08
0,15 - 0,30	2,52	0,79	0,07	0,14

Tabela 2. Caracterização química do Argissolo vermelho-amarelo Eutrófico

Camadas do solo (m)	pH (H₂O)	⁵CE (dS m⁻¹)	¹MO ²N ²P ----- (g kg⁻¹)-----			K⁺
0,00-0,20	6,53	0,49	12,96	0,77	14,2	99,5
0,20-0,40	6,16	0,14	6,27	0,91	6,2	110,7
	²Na⁺ (mg dm⁻³)	³Ca²⁺	³Mg²⁺	³Al	⁴H+Al	SB
	----- (cmol dm⁻¹)-----					
0,00-0,20	9,4	2,9	0,9	0	0,99	4,1
0,20-0,40	8,4	2,2	1,4	0	1,4	3,92
	T	CTC	V	M	PST	
	--- (cmol dm⁻¹)---		----- %-----			
0,00-0,20	4,1	5,09	81	0	1	
0,20-0,40	3,92	5,32	74	0	1	

Nota: ¹Matéria orgânica determinada pelo método Walkley-Black (DELFELIPO; RIBEIRO, 1981; EMBRAPA, 1997); ²N (nitrogênio), P (fósforo) e Na (sódio trocável) extraídos com Mehlich 1 e determinados conforme o método definido por Delfelipo e Ribeiro (1981) e EMBRAPA (1997); ³Ca (cálcio), Mg (magnésio), e Al (alumínio) extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados conforme Delfelipo e Ribeiro (1981) e EMBRAPA (1997); ⁴acidez potencial extraída por acetato de cálcio 0,5 M; ⁵CE – Condutividade Elétrica.

Não foi realizado calagem na área; na parcela em que se aplicou apenas água de abastecimento realizou-se adubação mineral recomendada, ou seja, em fundação foi aplicado 6-24-12, com a aplicação de 17,5 g de adubo por cova; em cobertura aplicou-se nitrogênio (N) e potássio (K), elementos mais exigidos pela mamona, nas quantidades de 35 kg ha⁻¹ e 20 kg ha⁻¹, aplicados na forma de Sulfato de Amônia e Cloreto de Potássio, respectivamente.

A cultura trabalhada foi a mamona (*Ricinus Communis L.*) cv. Energia. Durante 100 dias aplicou-se o percolado, conforme tratamentos, via irrigação localizada, constituída de fitas gotejadoras de 16 mm, com emissores espaçados a cada 30 cm e com uma vazão média de 1,65 L h⁻¹. A lâmina diária aplicada foi obtida pelo produto entre a ET0 e o kc de modo que ao final do ciclo havia-se aplicado um total de 638,1 mm por parcela, volume este constituído de proporções de percolado e AB previamente estabelecidas conforme tratamentos. Vale ressaltar que durante o período experimental não houve evento de precipitação e a média da ET0 diária foi de 6,2 mm.

O percolado foi coletado quinzenalmente na lagoa de estabilização do aterro sanitário de Mossoró e caracterizado (Tabela 3) conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (RICE et al., 2012). A água de abastecimento (Condutividade elétrica ≈ 0,8 dS m⁻¹), foi proveniente do sistema de abastecimento da UFERSA.

Tabela 3. Caracterização físico-química do percolado de aterro sanitário

	DBO	DQO	Sólidos Totais	Turbidez
	-----(ml L^{-1})-----			
Coleta 1	6500	12400	46745	176
Coleta 2	5800	9600	16120	305
Média	6150	11000	31432	240
	pH	Condutividade elétrica	RAS	Nitrogênio Total
		(dS m^{-1})	(mmolcL^{-1}) ^{0,5}	(mg L^{-1})
Coleta 1	8,56	14,16	14,39	520
Coleta 2	8,82	19,03	22,50	324
Média	8,69	16,60	18,88	422
	Fósforo Total	Potássio	Sódio	Cálcio
	(mg L^{-1})	-----(mmolcL^{-1}) ^{0,5} -----		
Coleta 1	42,10	102,60	71,30	22,70
Coleta 2	61,53	74,36	127,60	56,55
Média	51,81	88,48	99,45	39,62
	Magnésio	Alumínio	Manganês	Ferro
	(mmolcL^{-1}) ^{0,5}	-----(mg L^{-1})-----		
Coleta 1	26,50	4,90	1,07	1,16
Coleta 2	23,26	3,95	0,92	56,84
Média	24,88	4,42	0,99	29,00
	Cádmio	Zinco	Cobre	Níquel
	-----(mg L^{-1})-----			
Coleta 1	0,14	0,08	0,01	0,95
Coleta 2	0,01	0,014	0,03	0,10
Média	0,07	0,09	0,02	0,52
	Chumbo			
	(mg L^{-1})			
Coleta 1	1,20			
Coleta 2	0,20			
Média	0,70			

Ao final do experimento, ou seja, após 100 dias de aplicação do percolado, foram adotadas duas estratégias de quantificação das alterações nos parâmetros químicos do solo: (i) coletou-se amostras compostas de 0 a 0,20 m por parcela e avaliou-se o pH e os teores de Ca, Fe, Cu, Ni, Cd e Pb; e (ii) em três profundidades (0,00 a 0,05, 0,05 a 0,15 e 0,15 a 0,30 m) quantificou-se as seguintes variáveis: condutividade elétrica do extrato de saturação – CEes, pH, Ntotal, P, K, Ca, Mg, Na, percentagem de sódio trocável - PST, SB, M.O, capacidade de troca catiônica - CTC, Fe, Cu, Mn, Zn, Ni, Cd e Pb conforme Embrapa (1997) e Silva (2009), e nitrogênio (N) em g kg^{-1} , pelo método de Tedesco et al. (1997).

Os dados do experimento foram submetidos à análise de variância mediante teste F e quando houve significância, comparou-se mediante análise de regressão. Os resultados ao longo do perfil do solo, foram comparados mediante teste de médias “Tukey”. Todas as análises foram realizadas com auxílio de um software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

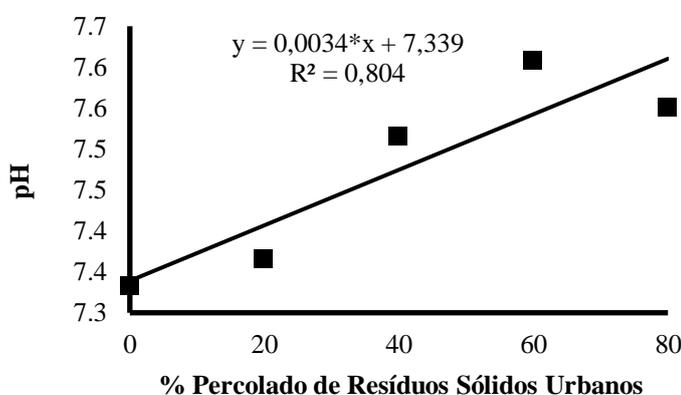
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise na profundidade de 0 a 20 cm

Os tratamentos à base de percolado influenciaram ($p < 0,01$) o quantitativo médio dos seguintes componentes químicos do solo ao final do experimento: pH, Ca, Cu, Fe, Ni, Cd e Pb.

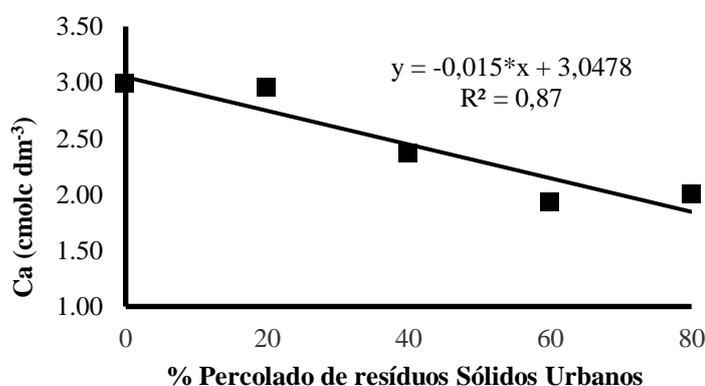
Em relação ao pH do solo, verificou-se que o aumento do percentual de percolado aplicado resultou em aumento linear ($p < 0,01$) do pH do solo (Figura 1). Essa tendência a alcalinidade também foi registrada por outros autores (FERREIRA, 2013; COELHO et al., 2015; ANDRADE FILHO, 2016), os quais a atribuíram ao incremento de matéria orgânica e cátions básicos fornecidos ao solo pelo efluente (KROB et al., 2011).

Figura 1. Estimativa dos valores de pH em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



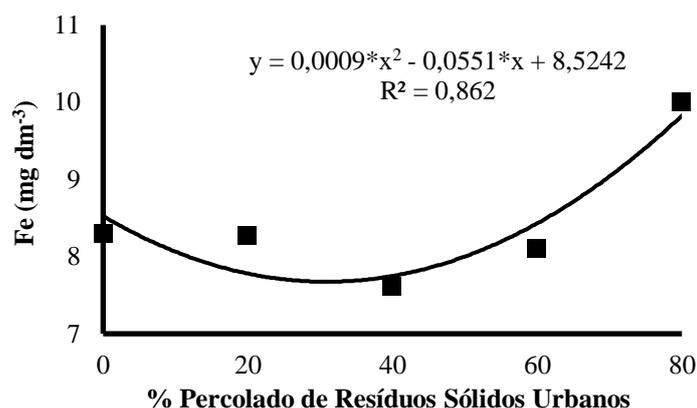
Quanto ao quantitativo de Ca, notou-se redução linear ($p < 0,01$) com o incremento do percentual do percolado (Figura 2). Inclusive, Andrade Filho (2010), em estudos com algodão cultivado em Cambissolo e irrigado com esgoto doméstico tratado, também verificou redução dos teores de Ca no solo.

Figura 2. Estimativa dos valores de Ca em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



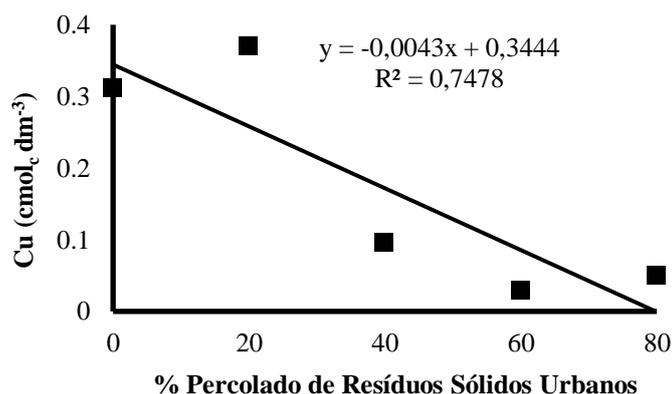
Os teores de Fe no solo atingiram ponto de mínimo ($7,68 \text{ mg dm}^{-3}$) no percentual estimado em 30,61%, a partir deste percentual, verificou-se dose máxima de $9,87 \text{ mg dm}^{-3}$ quando aplicou-se 80% de percolado (Figura 3). Coelho (2013) trabalhando com a aplicação de percolado em Argissolo, também verificaram aumento da concentração de Fe em função do aumento do percentual.

Figura 3. Estimativa dos valores de Fe em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



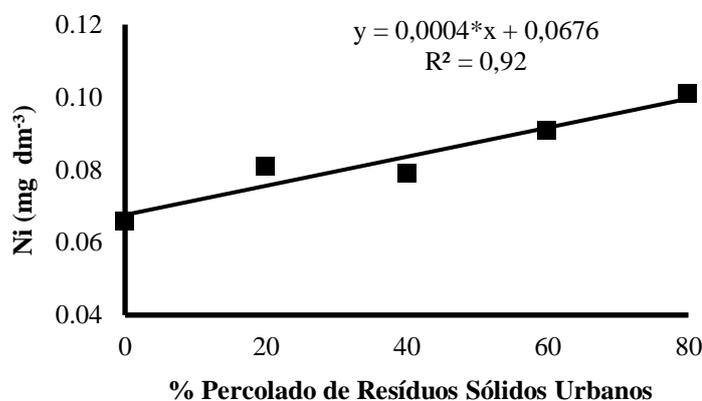
Os teores de Cu reduziram linearmente ($p < 0,01$) com o incremento do percentual de percolado aplicado ao solo (Figura 4). Em trabalho desenvolvido utilizando a borra de percolado (condição do efluente após o processo de evaporação) aplicada em Argissolo, Ferreira (2013) também verificou que houve redução da concentração de Cu em função do incremento na quantidade de borra aplicada ao Argissolo.

Figura 4. Estimativa dos valores de Cu em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



O quantitativo de Ni aumentou linearmente ($p < 0,01$) com o aumento do percentual de percolado aplicado até a dose de $0,10 \text{ mg dm}^{-3}$ sob 80% de percolado (Figura 5). Em estudo realizado com a aplicação de lodo de esgoto no cultivo de sorgo, Revoredo e Melo (2006) evidenciaram aumentos proporcionais nos teores “total” e disponíveis de níquel.

Figura 5. Estimativa dos valores de Ni em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



O quantitativo de Cd e o Pb também cresceu linearmente ($p < 0,01$) com o aumento do percentual de percolado aplicado, sendo verificado teores máximos de 0,010 e 0,32 mg dm⁻³ sob o percentual de 80% de percolado (Figura 6 e 7).

Figura 6. Estimativa dos valores de Cd em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.

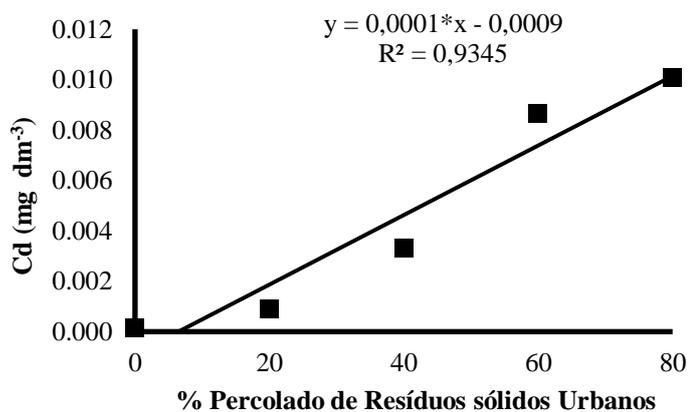
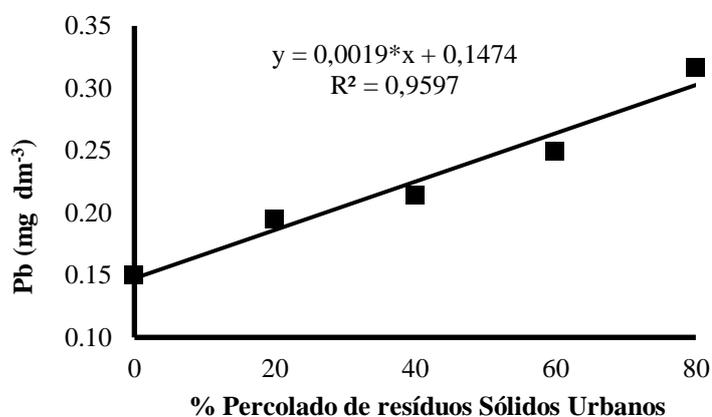


Figura 7. Estimativa dos valores de Pb em um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.

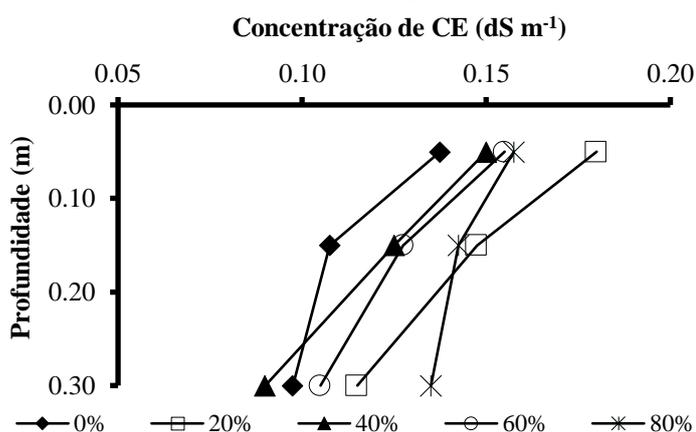


Em análise geral, os limites estabelecidos pela legislação vigente (CONAMA nº 420 /2009) não foram ultrapassados, mesmo com o aumento do quantitativo de Ni (30 e 70 mg dm⁻³), Cd (1,3 e 3,0 mg dm⁻³) e Pb (72 e 180 mg dm⁻³) verificado no solo, não havendo, portanto, risco de contaminação.

5.2 Análise nas profundidades de 0 a 5; 5 a 15 e 15 a 30 cm

A CEs não variou significativamente ($p > 0,05$) com o aumento da profundidade (Figura 8). Com efeito, Coelho (2013) e Mesquita (2016) em trabalhos com capim elefante em Argissolo, sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos, também não verificaram acúmulo ou redução significativa com a profundidade. Este resultado pode estar relacionado aos valores expressivos de precipitação observados, os quais, inclusive, ocasionaram alagamento e interação indesejada entre os tratamentos, interferindo diretamente na CEs.

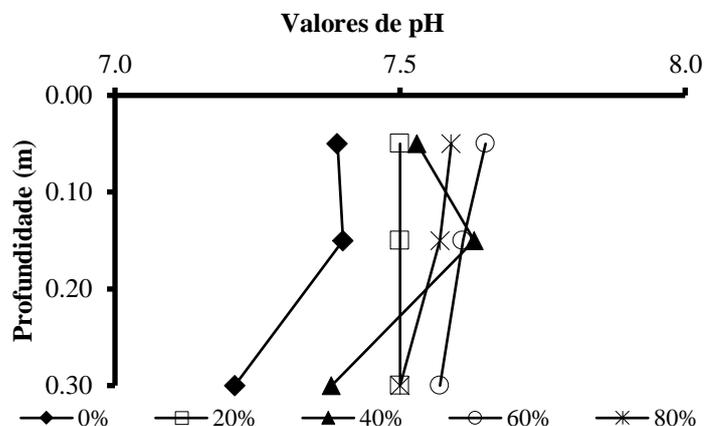
Figura 8. Médias da CEs ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



Os valores de pH, N_{total}, P, K, Ca, Mg, Na, SB, PST, CTC, M.O variaram significativamente ($p < 0,05$) com o aumento da profundidade. Verificou-se menor valor de

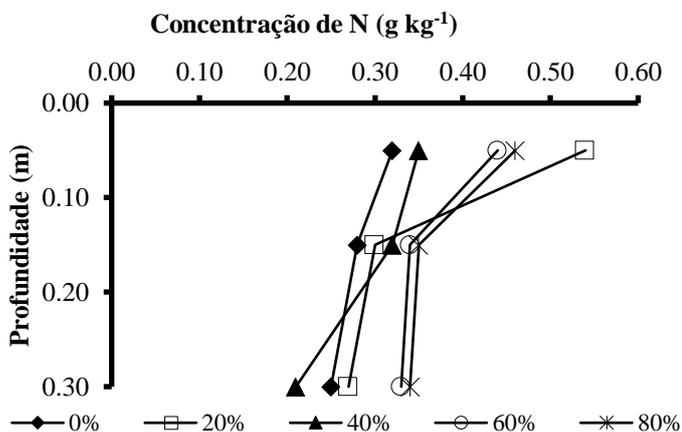
pH na camada superficial (0,00 a 0,05 m) do solo, com destaque para os resultados das parcelas em que se aplicou 60 e 80% de percolado, 7,57 e 7,50, respectivamente (Figura 9).

Figura 9. Médias da pH ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



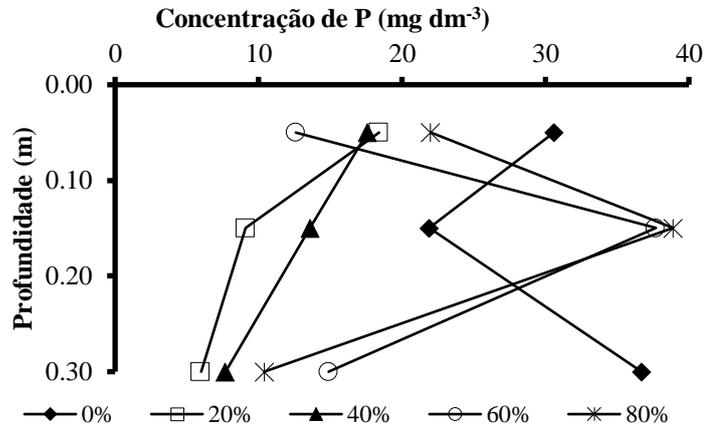
O teor de N_{total} decresceu significativamente ($p < 0,05$) ao longo do perfil do solo em todos os percentuais de percolado testados; a redução mais acentuada ocorreu sob os tratamentos em que se aplicou 60 e 80% de percolado nas camadas de 0,0 a 0,05 m e 0,05 a 0,15 m e a mais lenta na camada de 0,15 a 0,30 m, resultando em maior acúmulo de N nesta camada (Figura 10).

Figura 10. Quantitativo de N_{total} ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



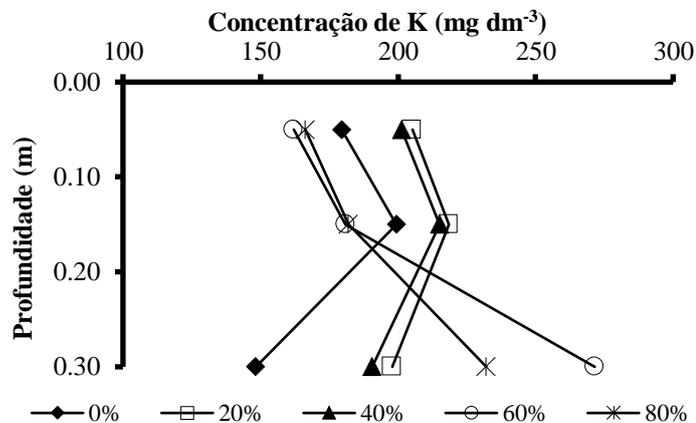
Quanto aos teores de P no solo, verificou-se diferentes tendências em resposta aos tratamentos aplicados (Figura 11). Sob aplicação de 20 e 40% de percolado verificou-se redução com o aumento da profundidade, inclusive, esta tendência é análoga à verificada por Caovilla et al. (2010) em trabalho com soja irrigada com água residuária de suinocultura.

Figura 11. Quantitativo de P ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



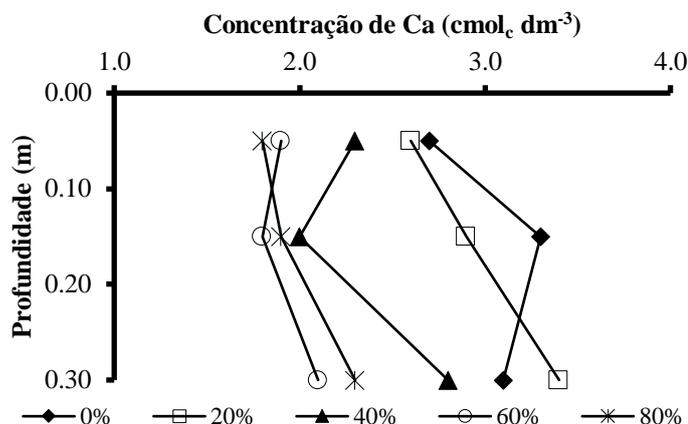
As concentrações de K também diminuíram em profundidade quando se aplicou 0; 20 e 40% de percolado (Figura 12). Porém, quando se aplicou 60 e 80% verificou-se aumento na concentração de K na camada inferior, o que pode estar associado à maior concentração deste nutriente no percolado. Panchoni (2011) comenta que, em geral, ao aplicar-se doses progressivas de percolado ao solo, este apresentará maiores teores de K quando comparados com o tratamento controle.

Figura 12. Quantitativo de K ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



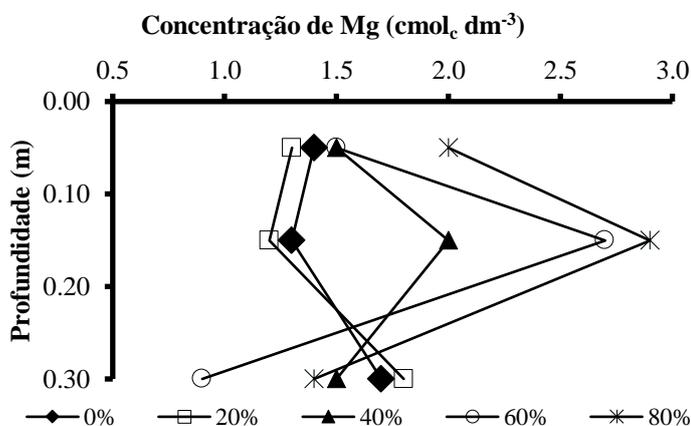
Os teores médios de Ca aumentaram, ao longo do perfil, para todos os tratamentos aplicados, evidenciando que pode ter ocorrido lixiviação desse elemento para as camadas inferiores do solo (Figura 13). Destaca-se os resultados verificados sob 20% de percolado de resíduos sólidos urbanos, em que se verificou aumento linear da concentração de Ca no perfil do solo, acumulando o maior teor de Ca quando comparado aos demais tratamentos.

Figura 13. Quantitativo de Ca ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



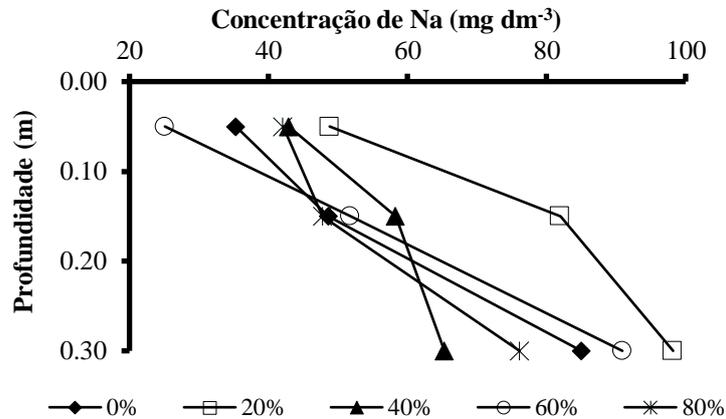
Em relação ao Mg verificou-se que com o aumento do percentual de percolado aplicado ao solo, ocorreu tendência à redução da concentração de Mg ao longo do perfil (Figura 14). Ao contrário do resultado obtido nesta pesquisa, Medeiros et al. (2005), utilizando água residuária na irrigação, notaram que a concentração de Mg aumentou com a profundidade, e ressaltaram que o acréscimo ou decréscimo deste elemento está diretamente relacionado à concentração na água residuária aplicada, à absorção pelas plantas e à lixiviação no perfil do solo.

Figura 14. Quantitativo de Mg ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



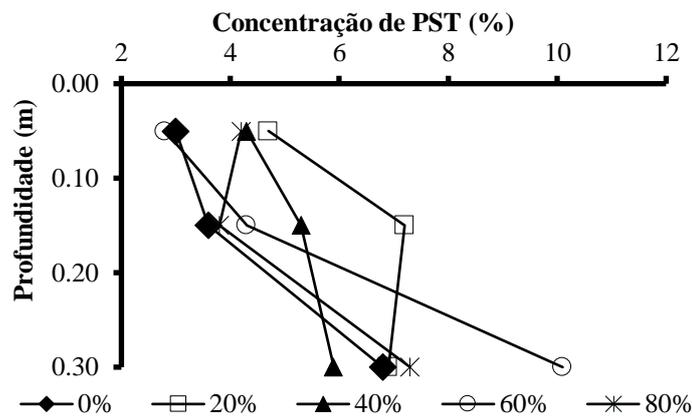
Verificou-se tendência ($p < 0,05$) de acúmulo do Na com o aumento da profundidade em todos os tratamentos (Figura 15), inclusive, em trabalho com capim Tifton sob aplicação de percolado de aterro sanitário Silva et al. (2010) também notaram que houve maior acúmulo do Na nas camadas mais profundas e atribuíram ao processo de lixiviação.

Figura 15. Quantitativo de Na ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



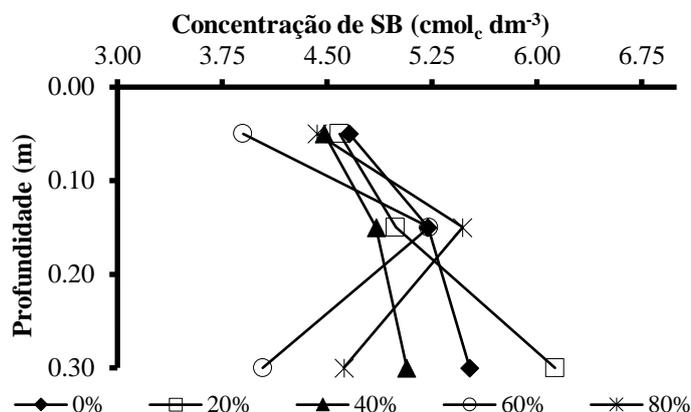
Em consequência, os resultados do PST (Figura 16) foram análogos aos verificados para o Na, no entanto, em todos os tratamentos, os valores do PST permaneceram abaixo do limite de 15%, percentual considerado como indicador de sodicidade do solo (RICHARDS, 1997).

Figura 16. Quantitativo de PST ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



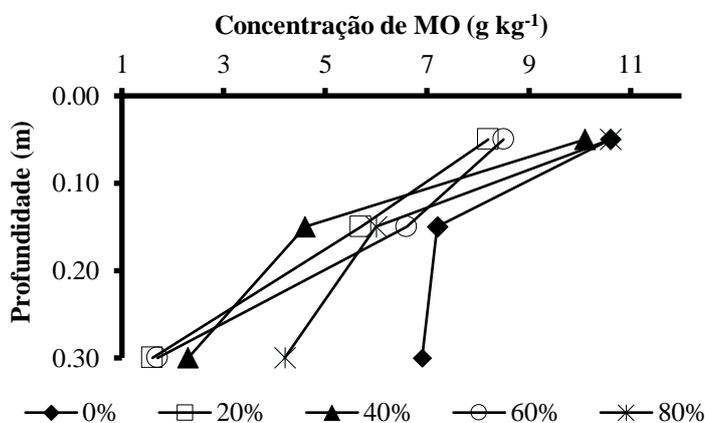
Quanto aos valores de SB, notaram-se tendências semelhante às do Ca (Figura 17). Ao final de 100 dias de aplicação do percolado, segundo CFSEMG (1999), todas as parcelas puderam ser classificadas com “bom” ($3,61$ a $6,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), salvo, sob 20% de percolado (0,15-0,30 m) que foi classificada como “muito bom” ($> 6,00 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

Figura 17. Quantitativo de SB ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



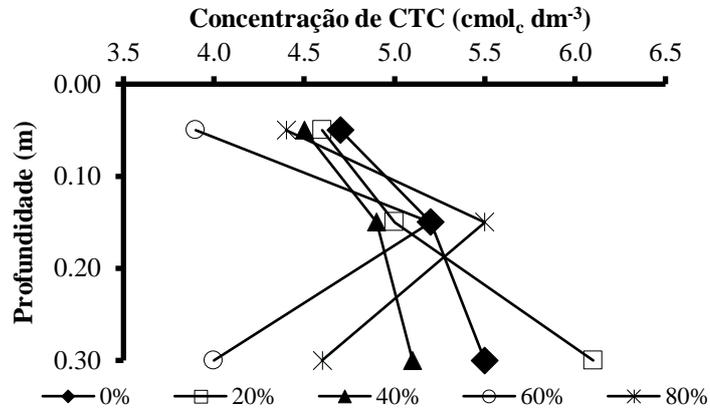
Os valores de Matéria Orgânica (MO) diminuíram ao longo do perfil do solo em todos os tratamentos (Figura 18). Fato previsível, considerando que, naturalmente, há maior concentração de MO na camada superficial. Verificou-se ainda maior incremento de MO quando se aplicou 80% de percolado (10,6 g kg⁻¹), naturalmente, devido ao maior aporte de carga orgânica.

Figura 18. Quantitativo de MO ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



Nas parcelas em que se aplicou 0; 20 e 40% de percolado, verificou-se aumento na CTC ao longo do perfil do solo (Figura 19). Coelho et al. (2015) comentam que esse pode ser atribuído à alta concentração de íons e aos colóides orgânicos presentes no percolado. Por outro lado, nas parcelas em que se aplicou 60 e 80% de percolado houve redução ao longo do perfil do solo. Provavelmente, o maior fornecimento do Na pelo percolado, causou a dispersão da fração argila do solo, contribuindo, dessa forma, para o processo de lixiviação dos cátions e consequente redução da CTC.

Figura 19. Quantitativo de CTC ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



Os valores de Fe e de Cu não variaram significativamente ($p > 0,05$) com o aumento da profundidade (Figura 20 e 21, respectivamente), entretanto, o quantitativo de Mn, Zn, Ni, Cd e Pb foi alterado ($p < 0,05$) ao longo do perfil do solo.

Figura 20. Médias do quantitativo de Fe ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.

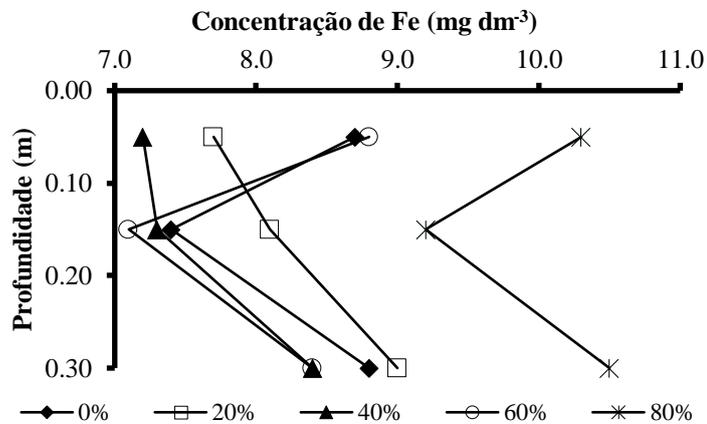
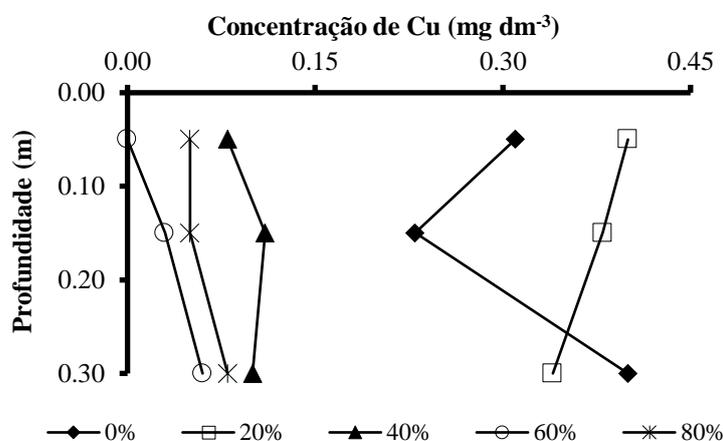
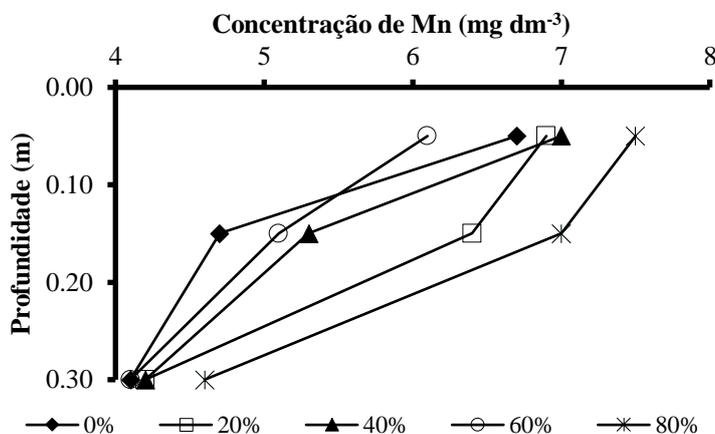


Figura 21. Médias do quantitativo de Cu ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



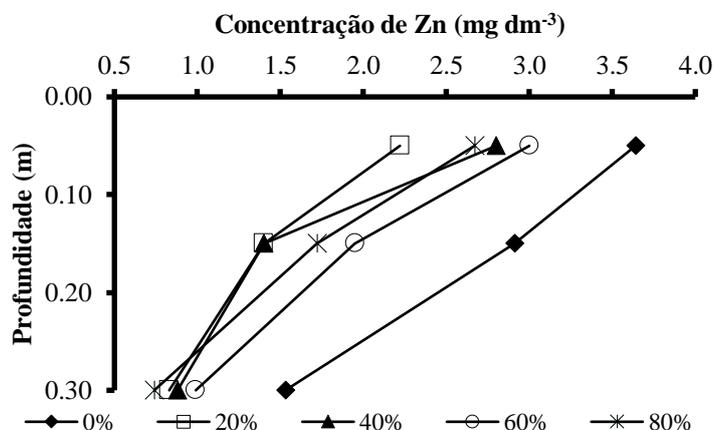
O quantitativo de Mn foi reduzido ao longo do perfil do solo em todos os tratamentos (Figura 22). Este resultado pode ser associado à mobilidade do Mn e ao fato de que seu comportamento e disponibilidade depende tanto do pH quanto do potencial redox do solo, em que, para valores de pH superiores a 5,5, como é o caso do presente trabalho, o Mn torna-se menos disponível na solução do solo e para plantas (NOVAIS et al., 2007).

Figura 22. Médias do quantitativo de Mn ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



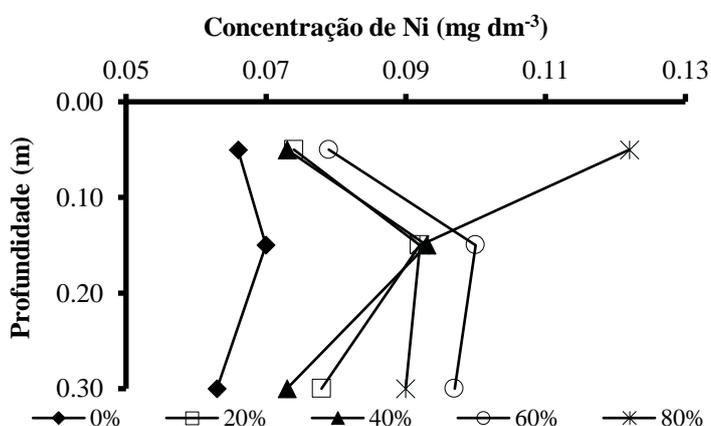
A concentração de Zn diminuiu ao longo do perfil do solo, para todos os tratamentos aplicados (Figura 23). Segundo a Resolução CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009) a variação no quantitativo de Zn não proporciona risco de contaminação do solo, visto que todos os valores encontrados estão abaixo de 300 mg dm⁻³ e 450 mg dm⁻³, estabelecidos para prevenção de toxidez e encontrados em solos com atividade agrícola, respectivamente.

Figura 23. Médias do quantitativo de Zn ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



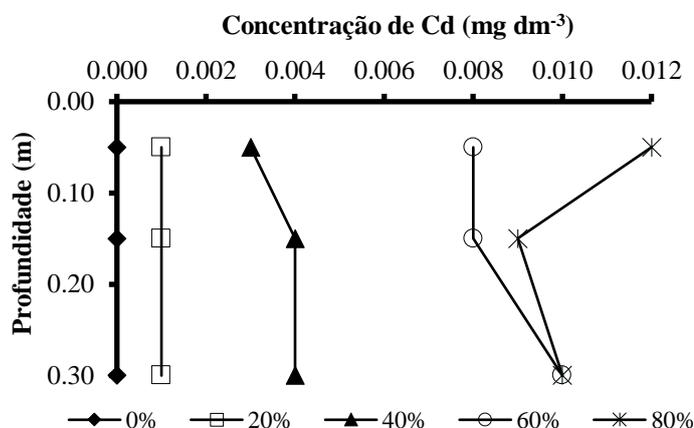
Em relação ao Ni, embora tenha-se constatado aumento no seu quantitativo, ao longo do perfil do solo (Figura 24), nas parcelas sob 20, 40 e 60% de percolado, especialmente na camada intermediária (0,05 a 0,15 m), estes resultados não são comprometedores, pois são inferiores aos valores de 30 mg dm⁻³ e 70 mg dm⁻³, os quais são estabelecidos para prevenção de toxicidade e encontrados em solos com atividade agrícola, respectivamente (BRASIL, 2009).

Figura 24. Médias do quantitativo de Ni ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolado de resíduos sólidos urbanos.



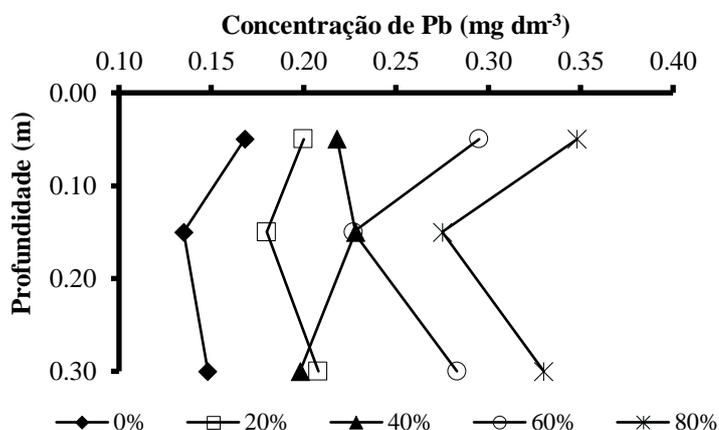
Os tratamentos proporcionaram efeitos distintos nas concentrações de Cd no solo. Sob 20% de percolado, não se verificou variação ao longo do perfil do solo. Nas parcelas sob 40 e 60% de percolado verificou-se o incremento dos valores de Cd nas camadas analisadas e, nas parcelas sob 80% de percolado, notou-se que houve o maior acúmulo de Cd no perfil do solo dentre todos os tratamentos aplicados (Figura 25). Vale ressaltar, no entanto, que estes resultados não são comprometedores de acordo com a resolução do CONAMA nº 420/2009 (BRASIL, 2009), pois são inferiores aos valores de 1,3 mg dm⁻³ e 3,0 mg dm⁻³, estabelecidos para prevenção de toxidez e encontrados em solos com atividade agrícola, respectivamente.

Figura 25. Médias do quantitativo de Cd ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolato de resíduos sólidos urbanos.



O quantitativo de Pb no perfil do solo variou em função do percentual de percolato aplicado (Figura 26), no entanto, de acordo com a resolução do CONAMA n° 420/2009 (BRASIL, 2009), os valores encontrados de Pb, após a aplicação do percolato não são comprometedores, pois são inferiores aos valores de 72 mg dm^{-3} e 180 mg dm^{-3} , estabelecidos para prevenção de toxidez e encontrados em solos com atividade agrícola, respectivamente.

Figura 26. Médias do quantitativo de Pb ao longo do perfil de um Argissolo vermelho amarelo Eutrófico, cultivado com mamona sob aplicação de percolato de resíduos sólidos urbanos.



Com base nestes resultados, ressalta-se a importância da realização de outros estudos com foco na análise temporal dos atributos químicos de solos sob aplicação de percolato de aterro sanitário em cultivos sucessivos, especialmente quanto ao acúmulo de metais pesados.

6 CONCLUSÕES

Com o incremento do percentual de percolado aplicado no solo, houve aumento do pH e do quantitativo de Ni, Cd e Pb, assim como os teores de Ca e Cu foram reduzidos nos primeiros 0,20 m.

A condutividade elétrica do extrato de saturação, o quantitativo de Fe e o Cu não variaram ao longo do perfil do solo, entretanto, verificou-se aumento na CTC - até a dose de 60% de percolado e da PST – embora sempre abaixo de 15%.

A variação no quantitativo de Mn, Zn, Ni, Cd e Pb no solo não ultrapassou os limites impostos pela legislação vigente.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE FILHO, J. **Cultivo da mamona utilizando percolado de aterro sanitário como fonte hídrica e nutricional**. 2016. 112 p. Tese (Doutorado em Manejo de Água e Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

ANDRADE FILHO, J. **Fertirrigação do algodoeiro com efluente doméstico tratado**. 2010. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2010.

BARROS, H. M. M; VERIATO, M. K. L; SOUZA, L. P; CHICÓ, L. R; BAROSI, K. X. L. Reuso de água na agricultura. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Pombal - PB, v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G. A.; Camargo, F. A. O. (Ed.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. cap. 2, p. 9-26.

BRASIL. Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 dez. 2009. p. 81-84. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 08 dez. 2017.

CARVALHO, L. L. S.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; LOPES, F. B.; VALNIR JÚNIOR, M. Spatial variability and temporary quality well water in irrigation fields in region semiarid. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza-CE, v. 11, n. 2, p. 1348-1357, 2017.

CAOVILLA, F. A.; SAMPAIO, S. C.; SMANHOTTO, A.; NÓBREGA, L. H. P.; QUEIROZ, M. M. F.; GOMES, B. M. Características químicas de solo cultivado com soja e irrigado com água residuária da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 14, n. 7, p. 692-697, 2010.

COELHO, D. C. L. **Atributos químicos de um argissolo e produção de capim elefante decorrentes da aplicação de percolado de aterro**. 2013. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

COELHO, D. C. L.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; MESQUITA, F. O. Produção de capim elefante utilizando percolado de aterro sanitário. **Bioscience Journal**, Uberlândia - MG, v. 31, n. 3, p. 830-840, 2015.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. 359 p.

DELFEIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo (metodologia)**. Viçosa: UFV Imprensa Universitária, 1981. 17 p. (Boletim de Extensão, 29).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 412p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2013. 353p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras - MG, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FERREIRA, A. L. L. **Cultivo de oleaginosas em solos tratados com chorume de aterros sanitários**. 2013. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2013.

KROB, A. D.; MORAES, S. P.; SELBACH, P. A.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. O. Propriedades químicas de um argissolo tratado sucessivamente com composto de lixo urbano. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 41, n. 3, p. 433-439, 2011.

MAZUR, N. **Níquel, Chumbo, Zinco e Cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos**. 1997. 128 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

MEDEIROS, S. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; SOUZA, J. A. A. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.

MOODY, C. M.; TOWNSEND, T. G. A comparison of landfill leachates based on waste composition. **Waste Management**, New York-NY, v. 63, n. 1, p. 267-274, 2017.

MESQUITA, F. O. **Desempenho de gotejadores e produção de capim elefante *Pennisetum purpureum Schum* com percolado de aterro sanitário no semiárido**. 2016. 142 p. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. 1017 p.

PANCHONI, L. C. **Potencial de lixiviado de aterro sanitário como fonte de nutrientes e efeitos em propriedades do solo**. 2011. 54 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2011.

REVOREDO, M. D.; MELO, W. J. Disponibilidade de níquel em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com sorgo. **Bragantia**, Campinas - SP, v. 65, n. 4, p. 679-685, 2006.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, 2012. 1496 p.

RICHARDS, L. A. **Diagnóstico y rehabilitacion de suelos salinos e sódico**. México: Limusa, 1997. 172 p.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECOM, P. R. Disponibilidade de sódio em solo com capim tifton e aplicação de percolado de resíduo sólido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 14, n. 10, p.1094-1100, 2010.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. rev. ampl. Porto Alegre: Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1997. 174 p.

WANG, Z.; CHANG, A.; WU, L.; CROWLEY, D. Assessing the soil quality of long-term reclaimed wastewater-irrigated cropland. **Geoderma**, Amsterdam, v. 114, n. 3-4, p. 261-278, 2003.