

Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados en función de la concentración de sodio presente en residuo agroindustrial.

Variation on hydraulic conductivity of saturated soils related to wastes containing sodium

I. J. Chirinos¹ y M. E. Mattiazzo²

¹La Universidad del Zulia. Facultad de Agronomía. Venezuela

²Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" Universidad de São Paulo. Brasil

Resumen

El presente trabajo tuvo por objetivo el establecimiento de premisas básicas sobre la aplicación en suelos de residuos que contienen sodio. La evaluación del efecto de la presencia de sodio sobre la conductividad hidráulica fue hecha a través de experimentos de laboratorio, relacionándose porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I), relación de adsorción de sodio (R.A.S) de la solución percolante y conductividad hidráulica del suelo saturado (K_o) en tres tipos de suelos diferentes, a saber: suelo arcilloso del orden alfisol, un suelo de textura media del orden oxisol y uno de textura arenosa del orden entisol. Se comprobó que la presencia de sodio no afecta de igual manera los diferentes tipos de suelos. También el "límite crítico de concentración" varía con la textura del suelo y con el P.S.I del mismo. Para el suelo arcilloso de mayor capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) el "límite crítico de concentración" se alcanzó con una dosis equivalente a 50 m^3 de residuo / ha. En el de textura media fue correspondiente a una dosis mayor de 200 m^3 de residuo / ha. y en el caso del suelo arenoso fue una dosis entre $100\text{-}200 \text{ m}^3$ de residuo / ha.

Palabras clave: Porcentaje de saturación con sodio, Relación de adsorción de sodio, Conductividad hidráulica saturada, residuo, Capacidad de Intercambio Catiónico, Textura.

Abstract

This paper intends to establish basic rules for land disposal of wastes containing sodium. The assesment of sodium effect was made throug experiments under lab conditions by relating exchangeable sodium percentage (ESP), sodium adsorption rate (SAR) of the percolating solution and saturated hydraulic

Recibido el 22-5-2000 • Aceptado el 24-9-2003

1 Autor de correspondencia email: ichirinos@macs.udl.es

conductivity (Ko) in three different soil types. It was shown that sodium effect is not the same for the three different soil types. Also the threshold concentration change with soil texture, and with the ESP of the soil. For the high cationic exchange capacity (CEC) clay soil the critical concentration was obtained at 50 m³ of waste per ha., for medium texture soil was higher than 200 m³ of waste per ha. and for the sandy texture soil was among 100-200 m³ of waste per ha.

Key words: Exchange Sodium Percentage, Sodium Adsorption Ratio, saturated hydraulic conductivity, waste, soil texture.

Introducción

Cuando se considera el uso del suelo como depurador de residuos, se puede tener como objetivo únicamente la degradación biológica del contenido orgánico de dichos residuos, pero también usar como fuente de materia orgánica para el suelo y nutrientes para los cultivos, pero en cualquiera de los casos citados la composición del residuo es de importancia fundamental, una vez que la presencia de iones adecuados a la actividad agrícola puede causar daños, en ciertos casos irreversibles al suelo donde fue o es descargado.

Entre los iones no adecuados a la actividad agrícola se encuentra el sodio, una vez que su presencia en los residuos en niveles considerables, puede provocar consecuencias indeseables tanto para el suelo como para la planta, desde la disminución de la conductividad hidráulica del suelo, hasta el aumento de la presión osmótica de la solución del suelo, con los consecuentes problemas asociados a cada cultivo.

Los efectos perjudiciales causados por la presencia de sodio en suelos, fueron primeramente detectados en regiones áridas y semiáridas donde eran usadas aguas salinas y sódicas para riego.

Con relación a la conductividad hidráulica del suelo (Ko) Saunders (16)

señaló que este es un parámetro esencial en la determinación cuantitativa del movimiento de agua en los suelos y, consecuentemente para solucionar problemas que envuelven riego, drenaje, recarga y conservación del suelo. Según Reichardt (15) la conductividad hidráulica es afectada por la estructura y textura del suelo, siendo mayor en suelos altamente porosos, fracturados o agregados y menor en suelos densos y compactados. También puede ser afectado por el exceso de sodio (Na) presente o adicionado al suelo, medido por el porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I) según (5).

Según Pauletto *et al.* (13) la primera ecuación que posibilitó la cuantificación del movimiento de agua en medios porosos fue presentada por Darcy en 1856. De acuerdo con Cadima *et al.* (1), los primeros métodos desarrollados para el cálculo de la Ko fueron de laboratorio, utilizando muestras con estructura deformada.

Por otro lado Libardi (9) indica que los métodos de laboratorio para muestras con estructura deformada y no deformada pueden ser utilizados y estos a su vez son subdivididos para condiciones de saturación y no saturación, entre los que se encuentran

para condiciones de saturación, el método de permeámetro de carga constante y el de carga decreciente.

Actualmente se reconoce la importancia de la dispersión de las arcillas en afectar la permeabilidad del suelo (3, 17). Según estos autores la dispersión de las arcillas puede causar la formación de una costra impermeable en el perfil del suelo, dependiendo del P.S.I alcanzado en el suelo (14) y que de acuerdo con (10, 12) los valores de P.S.I críticos están por encima de 15%.

Además del P.S.I otro factor importante es la R.A.S de la solución (4, 10, 19).

Con relación al problema de sodio este aparece usualmente asociado al uso de aguas de riego que lo contienen y/o a la baja precipitación, pero actualmente debido a la descarga de residuos industriales se pueden asociar los problemas de adición de sodio en la región tropical húmeda, con la descarga de sustancias o compuestos derivados de actividades industriales donde es usado el sodio como elemento esencial en el proceso industrial o para el lavado de equipos. En ese sentido

Simón (18) reporta la aplicación de 6.500.000 m³ de efluentes petroquímicos / año, en una superficie total de 200 has., con una concentración media de 474,6 ppm de Na. El principal impacto observado sobre el suelo fue una reducción drástica de la infiltración en la capa superficial (0-20 cm), atribuyéndose el fenómeno a la dispersión de las arcillas. Con respecto a la industria de papel y celulosa, Herrera (6) reporta el uso de residuos sólidos con 0,21 % de Na, sin mencionar dosis usadas ni efectos del Na sobre el suelo. Ohno (11) comprobó que el uso de cenizas de madera puede aportar 16% de Na al suelo y Kannan y Oblisami (7) verificaron un aumento en el contenido de sodio en el suelo con la aplicación de efluentes provenientes del procesamiento de pulpa para papel.

Ante lo expuesto, el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la presencia de sodio, cuantificado por el P.S.I del suelo, y de la R.A.S de la solución percolante (efluente industrial) en la Ko de tres suelos de la región de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil.

Materiales y métodos

Fueron utilizados tres tipos de suelos diferentes: alfisol, oxisol y entisol, colectados en la región de Piracicaba, estado de São Paulo, Brasil, de la capa arable (0-20 cm). Esos suelos fueron escogidos en virtud de las diferencias entre los valores de capacidad de intercambio catiónico, como se detalla en el cuadro 1.

El experimento fue conducido en

el laboratorio de Química de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" de la Universidad de São Paulo (ESALQ/USP).

En la determinación de la conductividad hidráulica fueron probados varios métodos de los cuales el que presentó mejores resultados fue el de permeámetro de carga decreciente, cuyo esquema modificado

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los suelos estudiados.

Suelo	Text.	pH	Floc.	C.O	mg/kg			cmol/kg de suelo				
					P	K	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S.B
Alf.	A	5,2	32	1,66	161	6,0	2,2	0,27	0,25	7,20	8,68	16,08
Oxi.	FA	6,9	61	0,79	157	3,35	1,55	0,12	Tra.	2,20	5,42	7,62
Ent.	a	5,7	50	0,46	81	1,40	0,44	0,10	0,05	2,40	2,15	4,55

por Chirinos (2) aparece en la figura 1.

1. Metodología: 5 gr. de muestra de suelo fueron colocados en un tubo de percolación (n° 1) de 1,8 cm de diámetro y 20 cm de altura. Ese tubo está conectado a un segundo tubo (n° 2) a través de una manguera de látex (figura 1). Ese segundo tubo está provisto de una pinza de Mohr para cerrar la salida en A' y se adicionó agua al tubo 2 de forma que el agua penetrara en el suelo de abajo hacia arriba provocando la saturación del mismo.

Después de 18 horas de saturación, que permitió el arreglo de las partículas, se cerró la manguera de comunicación entre los tubos 1 y 2 con otra pinza de Mohr. Se retiró la pinza colocada en A' y después de vaciar el agua contenida en el tubo 2 se retiró la pinza de la manguera de comunicación entre los tubos. La conductividad hidráulica del suelo saturado fue determinada a través de la disminución de la altura de la columna de agua que fue medida en intervalos de tiempo de una (01) hora, hasta un máximo de 24 horas. Los valores de Ko en el presente trabajo fueron medidos 6 horas después del inicio de la estabilización de los valores de Ko en ese tiempo.

En esas condiciones la conductividad hidráulica del suelo saturado (Ko) es calculada por la ecuación:

$$K_o = \frac{a.L}{A.\Delta t} \times \ln \left[\frac{H_1}{H_2} \right] \quad (1)$$

Donde Ko = conductividad hidráulica del suelo saturado

«t = t₂ - t₁, es el intervalo de tiempo para que la diferencia de potencial

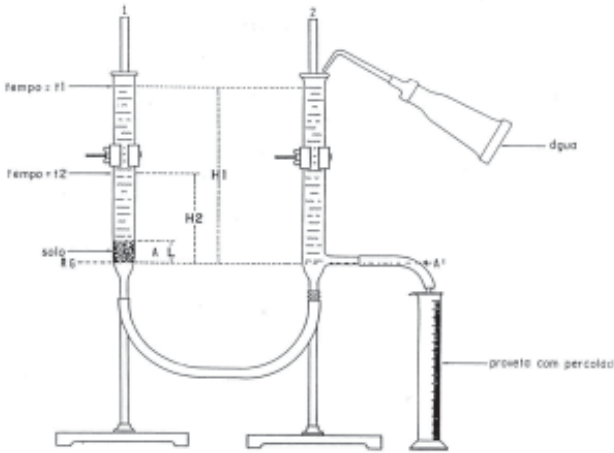


Figura 1. Esquema del permeámetro de carga decreciente para determinación de Ko.

hidráulico disminuya de H_1 para H_2 .

A = área de la sección transversal de la columna de suelo,

a = área de la sección transversal del tubo de vidrio,

L = altura de la muestra de suelo.

En el presente caso $A=a$, por tanto, la ecuación se simplifica como aparece a continuación.

$$K_o = \frac{L}{\Delta t} \times \ln \left[\frac{H_1}{H_2} \right] \quad (2)$$

En una etapa inicial fue hecha la evaluación del contenido de sodio adicionado y la correspondiente variación del P.S.I de los tres suelos. En esa etapa el sodio fue adicionado en forma de acetato de sodio pH 7 en las concentraciones de 100 mg/kg de Na (4,35 meq Na / lt), 400 mg/kg de Na (17,39 meq Na / lt) y 800 mg/kg de Na (34,79 meq Na / lt).

2.- Metodología: a las muestras de 5 gr de cada uno de los suelos

fueron adicionados 50 ml (2 x 25 ml) de acetato de sodio pH 7, después de eso el exceso fue lavado con 50 ml (5 x 10 ml) de solución hidroalcohólica 80% y posteriormente 75 ml de solución de acetato de amonio 1 N pH 7. El extracto obtenido fue analizado para Na en fotómetro de llama Micronal B262. Las determinaciones fueron hechas con tres repeticiones.

La conductividad hidráulica del suelo saturado fue determinada de acuerdo a lo descrito en el método modificado por Chirinos (2).

Los valores de concentración de sodio fueron relacionados con la C.I.C y multiplicados por 100 para determinar el P.S.I. Estos valores fueron correlacionados con los de conductividad hidráulica (K_o) obtenidos para cada tratamiento y los modelos matemáticos fueron usados para interpolar los valores de P.S.I obtenidos posteriormente.

La adición de la muestra de residuo líquido de industria de papel y celulosa cuya composición aparece en el cuadro 2, se realizó en dosis crecientes equivalentes a la aplicación de 50, 100, y 200 m³ de residuo / ha, siguiendo la misma metodología descrita en (2). Fueron determinados el P.S.I, la concentración de calcio (Ca) en la C.I.C y Ko.

En este caso también fueron interpolados los valores de P.S.I para determinar la Ko a través de los modelos. Fueron correlacionados los valores de concentración de Na y Ca en la C.I.C. Las mediciones de Ko en el laboratorio, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, fueron hechas para ser comparadas a las obtenidas con los modelos.

Cuadro 2. Composición química de la muestra de residuo de industria de papel y celulosa tomando en cuenta las diferentes etapas de fabricación.

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na	Ca	Mg	M.O	C.O	pH
Material	Total	%	%	mg/kg			%	%	
Efluente de cloración	<0,01	<0,01	0,01	564	60	trazas	0,10	0,09	2,4
Efluente de entrada	<0,01	<0,01	0,01	502	361	24	0,07	0,06	6,5
Efluente de la Extracc.	<0,01	<0,01	0,01	1004	20	trazas	0,27	0,09	9,7
Efluente de salida ¹	<0,01	<0,01	0,01	564	140	12	0,05	0,03	7,1
Licor Negro	0,01	<0,01	0,50	29205	187	56	8,13	4,98	12,3

¹Usado en el experimento. El valor de relación de R.A.S del residuo calculado por la expresión

$$R.A.S = \frac{Na}{((Ca^{2+} + Mg^{2+})/2)^{1/2}}$$

Siendo la concentración de los cationes expresada en meq/lit; por cuanto la R.A.S del residuo utilizado es igual a 12,25.

Resultados y discusión

Los cuadros 3, 4, y 5 muestran los resultados de Na retenido, P.S.I y Ko obtenidos para los tres diferentes tipos de suelos a saber: alfisol, oxisol y entisol, cuyos modelos matemáticos que

correlacionan P.S.I con Ko son los siguientes: para el alfisol $y = 14,377389 - 1,0849053X + 0,02173606X^2$ y $R^2 = 0,9321$; para el oxisol $y = 6,260318 - 0,164566X + 0,00174618X^2$ y $R^2 =$

0,9974; y para el entisol $Y = 12,653430 - 0,7260458X + 0,01373379X^2$ y $R^2 = 0,9972$. Los valores de P.S.I son proporcionalmente mayores en oxisol y entisol. En ninguno de los suelos se consiguió un valor de P.S.I de 100%. Estos resultados concuerdan por los obtenidos por Kinjo y Marcos (8). Si por un lado los valores de P.S.I son menores en suelos de C.I.C efectiva mayor, por otro lado la cantidad de sodio adsorbido es mayor en esos suelos. Se puede observar también que a partir de adiciones de Na superiores a 1,74 meq / 5 gr de suelo, lo que corresponde a 3,48 meq Na / 100 gr de suelo, no se consigue obtener correspondientes aumentos de P.S.I, esto es debido posiblemente a la existencia de sitios preferenciales de intercambio en los suelos. En lo que respecta a la K_o , esta disminuye con el aumento del P.S.I, lo que confirma los resultados obtenidos en trabajos que relacionan esos dos parámetros (10, 14). Sólo en el caso del entisol se consiguió un incremento en el valor de K_o con adición de 0,87 meq Na / 5 gr de suelo,

lo que corresponde a 17,4 meq de Na / 100 gr de suelo, esto puede tener su explicación en el hecho de que la elevada cantidad de Na aplicado, en este tipo de suelo, tuvo efecto floculante de las arcillas y no dispersante. De hecho todos los cationes pueden provocar floculación pero ese efecto depende de la concentración del catión, para cationes monovalentes el valor de floculación es significativamente mayor que para cationes de mayor carga (10).

Comparando los valores de K_o observados en los tres suelos y P.S.I, se puede verificar que los efectos en el alfisol y en el entisol fueron más severos que en el oxisol, lo que muestra la correlación existente entre el valor de floculación para los tres suelos que aparecen en el cuadro 1 y la sensibilidad al efecto del Na en esos suelos.

Por los datos del cuadro 6 que permitieron obtener la figura 2, se puede observar el aumento del P.S.I con el aumento de la dosis de residuo aplicado (cuyo valor de R.A.S = 12,25). Esto indica que cuando el residuo

Cuadro 3. Cantidades de Na aplicado (meq/5g de suelo), porcentaje de Na intercambiable (P.S.I) y conductividad hidráulica de suelo saturado (K_o) para alfisol (C.I.C = 16,08 meq/100g de suelo).

	Na aplicado ² (meq/5g)	Na retenido ¹ (meq/100g)	P.S.I ¹ %	K_o ¹ (cm/día)
	0	0,27	1,68	13,30
	0,22	1,71	10,63	3,66
	0,87	3,73	23,22	2,48
	1,74	5,50	32,87	1,59
C.V (%)=			11,39	11,11

¹Media de tres repeticiones

²Corresponden a una adición de: 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq/100 g de suelo respectivamente.

Cuadro 4. Cantidades de Na aplicado (meq/5g de suelo), porcentaje de Na intercambiable (P.S.I) y conductividad hidráulica de suelo saturado (Ko) para oxisol (C.I.C = 7,62 meq / 100g de suelo).

Na aplicado ² (meq/5g)	Na retenido ¹ (meq/100g)	P.S.I ¹ %	Ko ¹ (cm/día)
0	0,12	1,62	5,99
0,22	1,16	15,27	4,29
0,87	1,96	25,68	3,20
1,74	2,61	34,25	2,85
C.V (%) =		7,61	

¹Media de tres repeticiones²Corresponden a una adición de: 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq / 100 g de suelo respectivamente.

adicionado contiene sodio, cuanto mayor es la cantidad aplicada, mayor es la posibilidad de proporcionar Na causando una mayor retención del mismo por los coloides del suelo.

Considerando en el alfisol del equivalente a 50 m³ de residuo / ha, se verificó una reducción de 11% en Ko. Esa reducción fue de 19% para aplicaciones equivalentes a 100 m³ de residuo / ha y 39,70% para 200 m³ /

ha, por lo tanto el “límite crítico de concentración” (concentración de sodio intercambiable en la cual la Ko disminuye en 15% o más) en el alfisol estudiado está próximo a la adición en dosis de 50 m³ de residuo / ha.

Para el oxisol dosis de 50, 100 y 200 m³ de residuo/ha provocaron reducciones de Ko de 4, 7, y 10% respectivamente. Esto indica que el “límite crítico de concentración” para el oxisol estudiado

Cuadro 5. Cantidades de Na aplicado (meq/5g de suelo), porcentaje de Na intercambiable (P.S.I) y conductividad hidráulica de suelo saturado (Ko) para entisol (C.I.C = 4,55 meq / 100g de suelo).

Na aplicado ² (meq/5g)	Na retenido ¹ (meq/100g)	P.S.I ¹ %	Ko ¹ (cm/día)
0	0,10	3,27	11,00
0,22	0,60	13,19	5,60
0,87	1,19	26,22	2,74
1,74	1,63	35,89	4,34
C.V (%) =		4,13	

¹Media de tres repeticiones²Corresponden a una adición de: 0; 4,35; 17,40; y 34,80 meq/100 g de suelo respectivamente.

Cuadro 6. Dosis de residuo (m³/ha), P.S.I, Ca adsorbido y Ko para los tres diferentes tipos de suelos.

Suelo	Dosis (m ³ /ha)	P.S.I ¹ %	Ca adsorbido ¹ (meq/100g)	Ko (cm/dia) ¹ Calculada	Medida
Alfisol	50	2,47	6,60	11,83	12,36
	100	3,63	7,11	10,73	11,25
	200	6,78	6,95	8,02	9,68
Oxisol	50	3,73	4,28	5,74	6,45
	100	4,63	4,72	5,55	6,31
	200	5,77	4,85	5,39	5,02
Entisol	50	3,15	1,56	10,50	11,48
	100	4,03	1,58	9,95	10,62
	200	5,42	1,73	9,12	9,87
C.V =		2,40			

¹Media de tres repeticiones

corresponde a una aplicación mayor de 200 m³ de residuo / ha.

En el caso del entisol dosis equivalentes a 50, 100, y 200 m³ de residuo / ha causaron disminución en

Ko de 4,5; 9,55 y 17,09 % respectivamente, lo que indica que el “límite crítico de concentración” para el entisol corresponde a una dosis entre 100 – 200 m³ de residuo / ha.

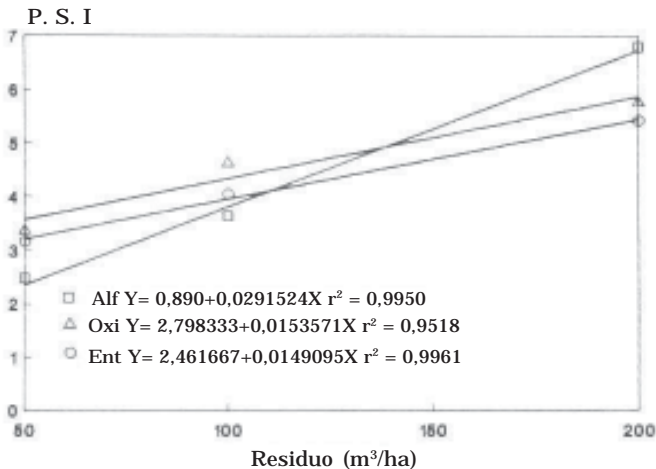


Figura 2. Variación del P. S. I en función de la dosis de residuo de industria de papel y celulosa adicionado

La figura 3 (cuyos datos para su construcción aparecen en el cuadro 6) muestra que los contenidos de Ca presente en los coloides del suelo no son significativamente afectados por el Ca suministrado por el residuo adicionado. De hecho la concentración de Ca en el residuo es baja comparada

con el Na aún aumentando las dosis aplicadas, lo que indica que el calcio adicionado en el residuo fue suficiente para restablecer el contenido de Ca intercambiable sustituido por el Na adicionado con el residuo, por eso esa tendencia a un bajo incremento de la participación del Ca en la C.I.C.

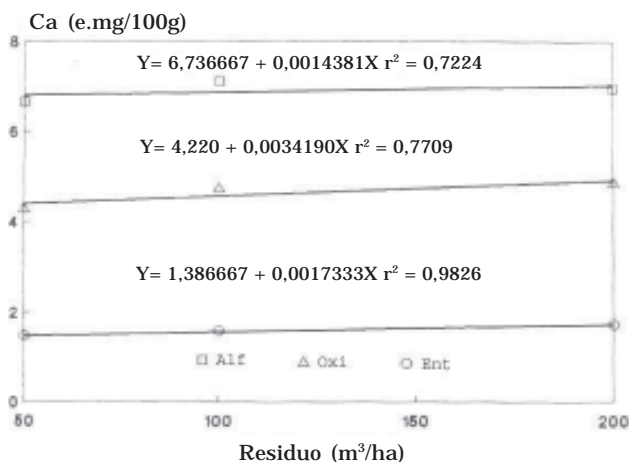


Figura 3. Variación de la concentración de Ca²⁺ adsorbido en función de la dosis de residuo adicionado.

Conclusiones

Cuando se considera el uso del suelo para la disposición de residuos que contienen Na, se debe tomar en cuenta los efectos del mismo sobre el incremento de P.S.I y consecuentemente en la disminución de Ko del suelo.

El “límite crítico de concentración” es un parámetro que varía en función de la textura del suelo, de la C.I.C, y del P.S.I del mismo. En las condiciones del presente experimento, para el suelo arcilloso la dosis crítica de residuo resultó la equivalente a 50 m³ / ha, en el

de textura media fue mayor de 200 m³ / ha y para el suelo arenoso la dosis crítica estuvo entre 100 – 200 m³ / ha.

De acuerdo con los límites críticos encontrados es posible establecer como premisa que cuando se usa el suelo como de descarte y depuración de residuos líquidos que contienen sodio debe considerarse estos límites críticos para no obtener valores de P.S.I que provoquen disminución drástica de las propiedades hidráulicas de los suelos.

Literatura citada

1. Cadima, Z., P.L. Libardi, e K. Reichardt, 1980. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica em um Latossolo Vermelho-amarelo textura média, no campo. R Bras. Ci. do Solo, 4:6-3.
2. Chirinos, I. J. 1999. Variación de la conductividad hidráulica en suelos saturados, en relación a la concentración de sodio presente en soluciones. Rev. Fac. Agron. (LUZ). 16:433-442.
3. Felhendler, R., I. Shainberg., and H.Frenkel. 1974. Dispersion and hydraulic conductivity of soils mixed solution. Trans 10th Int. Cong. Soil Scie, Moscow, vol. I. Nauka, Moscow, pp 103-112.
4. Frenkel, H., J.O Goertzen, and J.D. Rhoades. 1978. Effect of clay type and content, ESP and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., Madison, 42:32-39.
5. Gardner, W. R., M.S Mayhugh, J.O Goertzen, and C.A Bower. 1989. Effect of electrolyte concentration and exchangeable sodium percentage on diffusivity of water of soils. Soil Sci. Baltimore, 147(1):28-33.
6. Herrera, J. 1991. Resíduos sólidos ou bens de produção. Novas tecnologias na industria de celulosa e papel. 1º Seminário Agronômico de Resíduos. Piracicaba-SP. Pp 101-126.
7. Kannan, K., and G. Oblisami. 1990. Effect of pulp and paper mill effluent irrigation on carbon dioxide evolution in soil. Journal of Agronomy and Crop Sci. Coimbatore, 164(2):116-9.
8. Kinjo, T., y Z.Z Marcos. 1982. Adsorção de sodio em solos do Estado de São Paulo I. Isotherma de Adsorção de sodio. R. Bras. Ci. Solo, 6:73-7.
9. Libardi, P. L. Dinâmica da água no solo. Piracicaba, SP. Em edição, 1992. 580p.
10. Mc Neal, B. L. and N.T Coleman. 1966. Effects of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Am. Proc. Madison, 20:308-12.
11. Ohno, T., and M.S Erich. 1991. Effect of wood ash application on soil pH and soil test nutrient levels. Agric. Ecosystems and Environment, Maine, 32(3/4):223-9.
12. Oster, J. D. and G. Sposito. 1980. The Gapon coefficient and the exchangeable sodium percentage sodium adsorption ratio relation. Soil Sci. Am. J, Madison, 44:258-260.
13. Pauletto, E. A., P.L. Libardi., P.A. Manfron, e S.O. Morales. 1988. Determinação da condutividade hidráulica de solos a partir da curva de retenção de água. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 12: 189-95.
14. Quirk, J. P., and R.K. Schofield. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. Soil Sci. J. 6: 163-178.
15. Reichardt, K. 1985. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4 ed. Piracicaba. Fundação Cargill. 445p.
16. Saunders, L. C. U., P.L. Libardi, e K. Reichardt. 1978. Condutividade hidráulica da Terra Roxa Estruturada em condições de campo. R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 2: 164-7.
17. Shainberg, I. 1984. The effect of electrolyte concentration on the hydraulic property of sodic soils. In: Shainberg, I and Shalhevet, J. Ed. Soil salinity under irrigation. Bet Dagan Israel. (3): 49-64.
18. Simon, Z. 1991. Aspectos agronômicos e químicos da utilização de resíduos líquidos e semilíquidos. In: 1º Seminário Agronômico de resíduos. Piracicaba-SP. Pp 49-53.
19. Yaron, A., and G.B. Thomas. 1968. Soil hydraulic conductivity as effected by sodic water. Water Resour. (4): 545-52.