

TARCILA NEVES GENEROSO

**EFEITO DA MAGNETIZAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA E NOS
PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE FÓSFORO NO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

G326e
2016 Generoso, Tarcila Neves, 1988-
Efeito da magnetização nas características da água e nos
parâmetros de transporte de fósforo no solo / Tarcila Neves
Generoso. – Viçosa, MG, 2016.
xi, 57f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mauro Aparecido Martinez.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 50-57.

1. Física do solo. 2. Água - Propriedades magnéticas.
3. Água - Transporte de íons. 4. Solos - Efeito do fósforo.
5. Plantas e solo. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de
Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.43

TARCILA NEVES GENEROSO

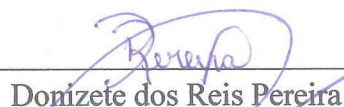
EFEITO DA MAGNETIZAÇÃO NAS CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA E NOS
PARÂMETROS DE TRANSPORTE DE FÓSFORO NO SOLO

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola, para obtenção
do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de fevereiro de 2016



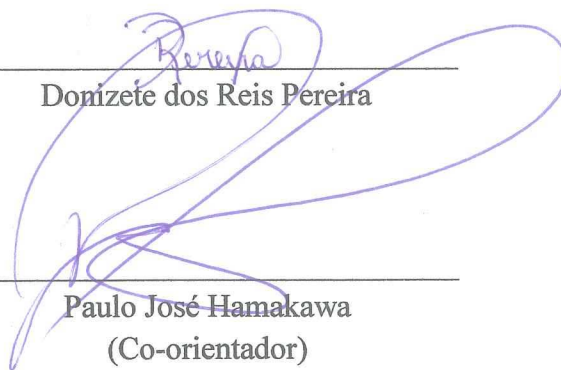
Catariny Cabral Aleman



Donizete dos Reis Pereira



Genelício Crusoé Rocha
(Co-orientador)



Paulo José Hamakawa
(Co-orientador)



Mauro Aparecido Martínez
(Orientador)

A Deus,

AGRADEÇO

Aos meus pais e minha irmã,

DEDICO

À comunidade Técnico-Científica,

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Agradeço sobre todas as coisas, a Deus, Pai misericordioso, por estar sempre ao meu lado, guiando o meu caminho para o bem, proporcionando saúde, paz e muita fé na busca pelos meus objetivos. Ao Senhor devo toda a glória.

Aos meus pais, Tarcísio e Socorro, pilares da minha existência, forças do meu coração, por jamais medirem esforços para realização dos meus sonhos, transmitindo toda a força, segurança e amor, muito obrigada!

À minha irmã, Melissa, pelo companheirismo e cumplicidade de toda uma vida.

A meu irmão de coração Micael pelo cuidado e apoio de sempre. Aos amigos Camila, Rayssa, Laura, Nayara, David, e Felipe pelas palavras de conforto em momentos difíceis, pela valorosa contribuição para o meu crescimento como pessoa e profissional, pela ajuda diária e por deixar bons momentos guardados na minha memória. Aos demais amigos da pós-graduação que me acompanharam nessa jornada, auxiliando e compartilhando momentos de alegria e descontração, também deixo aqui meu agradecimento.

As companheiras de República Marcella e Priscila pela amizade e ótima convivência.

Ao professor Mauro Aparecido Martinez, meu orientador, que sempre me ajudou com boa vontade e atenção, contribuindo para minha formação acadêmica e pessoal, transmitindo-me sempre muita calma e confiança.

Aos professores Paulo José Hamakawa e Genelício Crusoé Rocha, pelo apoio e contribuição no processo de produção do trabalho.

Aos membros da banca examinadora desta dissertação, que estiveram presentes com boa vontade contribuindo com sugestões importantes e valiosas.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Agrícola pelos conselhos e ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola e do Departamento de Solos em especial a Chicão, Policarpo, Simão, Délio, Claudio, Luiz, Beto e Sr. Cardoso, pela atenção e disposição de sempre em ajudar.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro, essencial durante esse processo de produção.

À Universidade Federal de Viçosa e o Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do mestrado.

BIOGRAFIA

TARCILA NEVES GENEROSO, filha de Tarcísio Generoso Neto e Maria do Socorro Neves Generoso, nasceu dia 15 de outubro de 1988, na cidade de São Francisco, Minas Gerais.

Em setembro de 2007, iniciou o curso de Engenharia Ambiental na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, concluindo-o em outubro de 2012.

Em fevereiro de 2013, iniciou o curso de especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho na Faculdade de Tecnologia e Ciências, concluindo-o em setembro de 2014.

Em março de 2014, ingressou no programa de Pós-graduação em nível de mestrado, em Engenharia Agrícola, na área de Recursos Hídricos e Ambientais, submetendo-se à defesa de tese em fevereiro de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.Água Magnetizada	3
2.1.1- Estrutura e Modelos da água líquida.....	3
2.1.2- Água submetida a campo magnético	5
2.1.3- Água magnetizada na agricultura.....	7
2.2.Transporte de Solute no Solo.....	8
2.3. Fósforo	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1. Experimento 1: Teste de magnetização da água	19
3.2. Experimento 2: Determinação dos parâmetros de transporte	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Teste de Magnetização da água	27
4.2. Parâmetros de transporte.....	38
4.2.1. Latossolo Vermelho (LV)	38
4.2.2 Neossolo Quartzarênico (NQ).....	43
5. CONCLUSÕES.....	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Dimensão
A	- Área da seção transversal da coluna	L^2
C/C_0	- Concentração Relativa	
C_L	- Concentração de soluto dissolvido	$M L^{-3}$
C_S	- Concentração do soluto adsorvido	$M M^{-1}$
D	- Coeficiente dispersivo-difusivo	$L^2 T^{-1}$
D_0	- Coeficiente de difusão do soluto em água	$L^2 T^{-1}$
dC/dx	- Gradiente de concentração	ML^{-4}
l	- Carga de pressão no topo da coluna	L
K_0	- Condutividade hidráulica do solo em meio saturado	$L^2 T^{-1}$
K_d	- Coeficiente de distribuição	$L^3 M^{-1}$
L	- Comprimento da coluna de solo	$L^2 L^{-2} T^{-1}$
n	- Parâmetro empírico que depende da geometria do meio	
N	- Parâmetro empírico	
n_p	- Número de volume de poros	
Q	- Vazão	$L^3 T$
Pe	- Número de Peclet	
q	- Fluxo da solução percolada	
R	- Fator de retardamento	
t	- Intervalo de tempo para coletar o volume V_a	T
K	- Parâmetro empírico	
v	- Velocidade média de escoamento da solução no solo	$L T^{-1}$
V_0	- Volume de poros na coluna	L^3
V_T	- Volume total de solo na coluna	L^3
V_P	- Volume coletado na extremidade inferior da coluna	L^3
θ	- Teor de água no solo	$L^3 L^{-3}$
ε	- Porosidade do solo	$L^3 L^{-3}$
ξ	- Fator de tortuosidade do solo	
r	- Raio interno da coluna	L
S_{max}	- Adsorção máxima de soluto no solo	$M M^{-1}$

ρ_p	- Massa específica de partícula	$M L^{-3}$
ρ_s	- Massa específica do solo	$M L^{-3}$
λ	- Dispersividade	L

RESUMO

GENEROSO, Tarcila Neves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2016. **Efeito da magnetização nas características da água e nos parâmetros de transporte de fósforo no solo.** Orientador: Mauro Aparecido Martinez. Coorientadores: Genelício Crusoé Rocha e Paulo José Hamakawa.

A aplicação de um campo magnético na água para o uso em irrigação tem sido tratada com certa frequência na comunidade científica. Essa prática causaria alterações nas propriedades da água podendo favorecer a disponibilidade de alguns nutrientes e/ou reduzir perdas na agricultura. O estudo do transporte de nutrientes disponíveis na solução do solo, como o fósforo, está também relacionado a preocupação ambiental quanto a poluição que pode vir a ocorrer no solo e nas águas subterrâneas. Assim, objetivou-se neste trabalho, estudar os efeitos provocados no pH e na condutividade elétrica de águas com características diferentes ao serem submetidas a um campo magnético e avaliar a influência nos parâmetros de transporte, tais como fator de retardamento (R), coeficiente de distribuição (K_d), número de Peclet (Pe), coeficiente dispersivo-difusivo (D) e dispersividade (λ) do íon fosfato em um Latossolo Vermelho (LV) e um Neossolo Quartzarênico (NQ). O estudo foi conduzido no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV, sendo dividido em dois experimentos. O primeiro, que envolve a análise das alterações da água com relação ao pH e a condutividade elétrica, quando submetida a um campo magnético. Foram utilizadas: água destilada, deionizada, tratada convencionalmente (torneira), mineral e em solução de fósforo em três diferentes concentrações. Para a produção do campo magnético foi utilizado um magnetizador Sylocimol Doméstico, da empresa Timol Produtos Magnéticos. No segundo experimento foram utilizados o Neossolo Quartzarênico (NQ), proveniente de Mocambinho, no município de Jaíba, situada no estado de Minas Gerais e Latossolo Vermelho (LV) da cidade de Sete Lagoas, também em Minas Gerais. O solo foi acondicionado em colunas de lixiviação que foram confeccionadas em tubos de PVC. Os ensaios com soluções de fósforo foram realizados para três concentrações iniciais diferentes usando o Neossolo Quartzarênico e três usando o Latossolo Vermelho, tanto em condições naturais quanto submetidos a campo magnético. Estas soluções foram aplicadas até que o volume percolado correspondesse a treze volumes de poros para LV

e sete volumes de poros para NQ. Os parâmetros de transporte P_e , R , D foram obtidos utilizando-se o programa computacional Disp. Não foi observado diferença significativa para os valores de pH da água deionizada, destilada, tratada convencionalmente (torneira), mineral e nem para as soluções de fósforo em nenhuma das três concentrações adotadas quando as amostras foram comparadas aos tratamentos com e sem a influencia do campo magnético. Comportamento diferente foi verificado para a condutividade elétrica, em que notou-se um aumento nos seus valores para todos os tratamentos com campo magnético, em todos os tipos de águas e soluções de fósforo analisadas quando comparadas ao tratamento sem a interferência do campo magnético. Foram encontradas diferenças estatísticas no R e K_d ao analisar comparativamente o uso de água não magnetizada ao da água magnetizada, quando se aplicou a maior concentração de fósforo no Latossolo Vermelho. Para os demais parâmetros, P_e , D e λ não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos em nenhuma das concentrações usadas. Para o Neossolo Quartzarênico ao analisar comparativamente o uso de água comum ao da água magnetizada, para as três concentrações, encontrou-se diferenças no R e K_d apenas na solução de menor concentração de fósforo. Os demais parâmetros P_e , D e λ não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos em nenhuma das concentrações testadas.

ABSTRACT

GENEROSO, Tarcila Neves, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2016. **Magnetisation effect the characteristics of water and on transport parameters in soil phosphorus.** Adviser: Mauro Aparecido Martinez. Co-advisers: Genelício Crusóé Rocha and Paulo José Hamakawa.

The application of a magnetic field in the water for use in irrigation have been treated with certain frequency in the scientific community. This practice would cause changes in the properties of water can promote the availability of certain nutrients and / or reduce losses in agriculture. The nutrient transport of study available in the soil solution, such as phosphorus, is also related to environmental concerns about pollution that may occur in soil and groundwater. Thus, the aim of this work was to study the effects of pH and electrical conductivity of water with different characteristics to be subjected to a magnetic field and to evaluate the influence on the transport parameters such as retardation factor (R), coefficient distribution (K_d), Peclet number (Pe), dispersive-diffusion coefficient (D) and dispersivity (λ) of phosphate ion in an Latossolo Vermelho (LV) and Neossolo Quartzarênico (NQ). The study was conducted at the Soil Physics Laboratory of the Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Viçosa - UFV, divided into two experiments. The first, involves the analysis of water changes with respect to pH and electrical conductivity when subjected to a magnetic field. They were used: distilled, deionized water, treated conventionally (tap), and phosphorus mineral solution at three different concentrations. For the production of the magnetic field we used a hypnotist Sylocimol domestic, the company thymol Magnetic Products. The second experiment used the Neossolo Quartzarênico (NQ), from Mocambinho in the town of Jaíba, located in the state of Minas Gerais and Latossolo Vermelho (LV) of the city of Sete Lagoas, also in United States. The soil was packed in columns that were made of PVC pipes. The tests with phosphorus solutions were made for three different initial concentrations using Quartzipsamment and three using the Rhodic both in natural conditions as subjected to magnetic field. These solutions were applied until the percolated volume corresponded to thirteen pore volume to LV and seven volumes of pores to NQ. The transport parameters, R, D were obtained using the computer program Disp. There was no significant difference in pH values of deionized, distilled water, conventionally treated (tap) and mineral nor phosphorus solutions at all three concentrations adopted when samples were compared to treatments with and

without the influence of the magnetic field. Different behavior was checked for electrical conductivity, wherein noted an increase in their values for all the treatments with magnetic fields in all types of waters and phosphorus solutions analyzed. Statistical differences were found in R and K_d to comparatively analyze the use of water not magnetized to the magnetized water, when applied to higher phosphorus concentration in Latossolo Vermelho. For other parameters, P_e , D and λ were not observed statistical differences between treatments in any of the concentrations used. For Neossolo Quartzarênico to comparatively analyze the use of tap water to the magnetized water, for the three concentrations, we found differences in R and K_d only in lower phosphorus concentration solution. The other parameters P_e , D and λ no statistical differences between treatments in any of the tested concentrations.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de água pela agricultura representa cerca de 70% do consumo mundial sendo fundamental para o bom desenvolvimento das culturas. A maior parte dos nutrientes necessários ao metabolismo das plantas é absorvida da solução do solo, predominantemente por fluxo de massa, interceptação da raiz e difusão. No entanto, as raízes das plantas não são capazes de extrair de forma eficiente a maioria dos nutrientes que se encontram no solo. Alguns deles estão fortemente retidos às partículas da fração sólida do solo ou apresentam-se em formas que não são prontamente assimiláveis pelas plantas.

Existem pesquisas que envolvem a utilização de um tipo diferenciado de água, conhecida como água “tratada” magneticamente para o uso em irrigação. Maheshwari e Grewal (2009), em seus estudos sobre os efeitos do tratamento magnético da água de irrigação em culturas hortícolas concluíram que, em algumas circunstâncias, quando comparado com o tratamento controle, a água magnetizada de irrigação tendeu a alterar o pH do solo, a condutividade elétrica, o fósforo (P) disponível e o potássio (K) extraíveis pela cultura. Resultados como esses, sugerem uma maior disponibilização dos nutrientes do solo para as culturas, promovendo melhora no rendimento e na qualidade dos produtos, quando comparadas a irrigação feita com água convencional. Segundo Duarte et al. (2004), os efeitos da irrigação utilizando água magnetizada em uma variedade de tomate, bioestimulou a planta, acelerando o seu crescimento e produção.

Várias propriedades da água são, apesar de apresentar uma estrutura simples e bem conhecida no meio científico, pouco compreendidas, principalmente na fase líquida. Na tentativa de esclarecer esta questão, o *Modelo de Misturas*, proposto por Némethy e Scheraga (1962), propõem que a cada momento a água é composta por uma mistura de aglomerados (*clusters*) de tamanhos diferentes, formados por pontes de hidrogênio e de moléculas livres de água. Estes *clusters* são grandes grupos de moléculas de água que ficariam circulando pela estrutura das plantas, carregados de toxinas, radicais livres (átomos isolados de oxigênio-resíduos) e nutrientes.

Tai et al. (2008) observaram que a água, quando sujeita a um campo magnético, apresenta modificação das suas propriedades, incluindo por exemplo, pH e força iônica, tornando-se mais energética e com maior capacidade de movimentação. Eles também apontaram que a água magnetizada impediria que metais nocivos como chumbo e níquel

fossem absorvidos pela raízes. Por outro lado, aumentou a concentração de elementos nutrientes disponíveis na solução do solo como fósforo, potássio e zinco.

Outro aspecto é a preocupação ambiental quanto a poluição que pode vir a ocorrer no solo e nas águas subterrâneas, influenciadas pelo transporte de nutrientes disponíveis na solução do solo. O estudo do movimento do fósforo no solo, por exemplo, constitui tema importante na proposição de um manejo adequado da fertirrigação a fim de disponibilizar os nutrientes na profundidade de máxima densidade do sistema radicular, associado à busca pela preservação do solo e da água subterrânea.

Já existem estudos que buscaram compreender o movimento de solutos adsorvidos e não adsorvidos ao solo. Muitos desses trabalhos analisaram o movimento de nutrientes e de metais pesados no solo utilizando soluções uni ou multi-elementos (MATOS et al., 1999; MARTINEZ et al., 2001; ALCÂNTARA e CAMARGO, 2010). Porém, estudos dessa natureza, envolvendo a aplicação de água tratada magneticamente no solo e os fenômenos que expliquem as alterações químicas e físicas de suas propriedades ainda possuem pouca ou nenhuma evidência, tornando efetivamente desconhecidas características importantes para compreensão dos princípios que sugerissem o melhoramento e a economia para agricultura.

Dentro dessa perspectiva, portanto, surgem dúvidas quanto aos benefícios do uso da água tratada magneticamente e sua influência quanto à disponibilidade de nutrientes no solo, de forma a interferir nos parâmetros de transporte durante o movimento dos solutos, podendo ocorrer ou não prejuízos ao meio ambiente.

Alterações nas propriedades da água também poderiam favorecer a disponibilidade de alguns nutrientes e/ou reduzir perdas, tornando este trabalho importante ferramenta por visar contribuir com o entendimento e possível desenvolvimento de métodos que tendem a potencializar a eficiência e a economia no âmbito da agricultura.

Objetivou-se neste trabalho, estudar os efeitos provocados no pH e na condutividade elétrica de águas com características diferentes ao serem submetidas a um campo magnético e avaliar sua influência nos parâmetros de transporte do íon fosfato em um Latossolo Vermelho (LV) e em um Neossolo Quartzarênico (NQ).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Água Magnetizada

2.1.1- Estrutura e Modelos da água líquida

A água é considerada como o solvente universal, cobrindo cerca de 70% da superfície da Terra. Devido as fortes interações intermoleculares (ligações de hidrogênio entre as moléculas) presentes na sua estrutura, a água apresenta valores elevados de calor específico e calor de vaporização. Além disso, apresenta um valor de densidade máxima a aproximadamente 4°C, o que permite a vida em corpos aquáticos com superfícies congeladas. Essas superfícies criam um isolante térmico natural, possibilitando que a água abaixo dela se mantenha na fase líquida. Essas propriedades são muito maiores quando comparadas a outras substâncias, cujas moléculas têm massas moleculares maiores que a água, como os ácidos sulfúrico, fluorídrico e clorídrico, que, aliás, são gases a temperatura ambiente.

As interações responsáveis pela interconexão das moléculas de água quando esta se encontra no estado líquido são as ligações de hidrogênio e a força de *van der Waals*. A molécula de água não é linear, o oxigênio forma com os dois hidrogênios um ângulo de 104,5°. Formada por um átomo de Oxigênio (O) e dois átomos de Hidrogênio (H), as moléculas são mantidas juntas por ligações covalentes polares. Cada hidrogênio exibe carga positiva parcial (δ^+) enquanto o átomo de oxigênio exibe carga negativa parcial (δ^-). A atração entre a região negativa, relacionada ao átomo de oxigênio e a região positiva, relacionada ao átomo de hidrogênio de outra molécula, origina uma associação de várias moléculas de água, formando-se um retículo irregular constituído de vários tetraedros entrelaçados.

Uma única molécula de água participa de no máximo quatro ligações de hidrogênio com outras moléculas de água, de forma que cada um dos dois átomos de hidrogênio (prótons) presentes podem ser “doados” e os dois pares de elétrons não compartilhados no átomo de oxigênio podem atuar como “receptores”. Uma molécula se comporta como doadora de prótons em relação a outras duas: os prótons são, portanto, partilhados entre dois átomos de oxigênio e, por consequência, estão em contínuo “movimento”, em contínuas oscilações entre os dois átomos. Esse tipo de interação que unem as moléculas de água vizinhas é descrito como pontes ou ligações de hidrogênio. Apesar da energia de uma ligação de hidrogênio, de modo isolado ($\sim 20 \text{ kJ mol}^{-1}$), ser

relativamente pequena, o grande número de ligações de hidrogênio em uma amostra de água é a chave para as suas propriedades notáveis (VOET et al., 2014).

Conforme afirma Bellavite (2002), o líquido deve ser definido como um conjunto homogêneo e irregular de moléculas. A estrutura do líquido não é cristalina como acontece na fase sólida e não se levantam hipóteses de que no líquido possam existir regiões cristalinas. No entanto, alguns pesquisadores propõem uma estrutura quase cristalina. Ainda segundo o mesmo autor, afirmar que a disposição das moléculas seja irregular não significa que as moléculas de água estejam numa total desordem; a desordem está restrita a geometria particular das moléculas, que tendem a formar ligações em forma de tetraedros ou agregados ainda maiores.

Quando um sólido se encontra solto ou imerso na água, o edifício cristalino é destruído. Nessa transformação ocorre a ruptura de ligações existentes entre as partículas (do sólido e da água), formando novas ligações que desencadearão modificações na estrutura físico-química da água, provocando, por consequência, alterações nas propriedades da nova molécula. Na interface entre macromoléculas e o solvente verifica-se enormes reorganizações da estrutura da água, que assume configurações totalmente novas, mesmo a distâncias consideráveis da molécula de soluto. Nesse caso, obviamente, os efeitos de cooperação são muito importantes. Com esse propósito, vários autores denominam de “água vizinha” a água que se encontra próxima (vizinha) a superfícies sólidas ou macromoléculas, e que acaba sendo influenciada por estas.

Diante das características incomuns da água e da necessidade de se entender melhor o comportamento e as suas propriedades, o ser humano vem desde tempos remotos criando modelos e teorias que possibilitem esclarecer essa questão. Os dois principais modelos existentes na literatura que fazem menção a estrutura da água líquida são: *Modelo Contínuo*, proposto por Pople (1951), que assume a existência de uma rede flexível formada por ligações de hidrogênio entre as moléculas de água, podendo sofrer distorções locais quando perturbada, e *Modelo de Misturas*, proposto por Némethy e Scheraga (1962), que pressupõe que a cada momento uma amostra de água é composta por uma mistura de clusters de tamanhos diferentes, formados por ligações de hidrogênio e de moléculas livres de água que não estão conectadas por ligações de hidrogênio.

Gonzalez et al. (1994) calcularam as energias relativas às formações de clusters de 8 a 26 moléculas de água e demonstraram que clusters maiores são favorecidos do ponto

de vista de energia livre, e que quanto maior o número de moléculas participantes destes clusters, menor o seu estado energético.

Uma previsão também feita por Harvey et al. (1998) mostrou como seriam os espectros eletrônicos de cada cluster de água (de 1 a 6 moléculas) se pudessem ser obtidos separadamente. Os resultados obtidos por esses autores indicaram uma tendência de que quanto maior for o tamanho dos clusters, maior será a energia necessária para promover a excitação eletrônica nas moléculas de água constituintes dessas espécies.

2.1.2- Água submetida a campo magnético

O magnetismo está associado ao conjunto de fenômenos relacionados à atração ou repulsão observada em determinados materiais. O próprio planeta gera um campo elétrico e magnético que atua sobre toda e qualquer matéria nela presente. O campo magnético da terra é de baixíssima intensidade, da ordem de $50\mu\text{T}$ ($1\text{Tesla} = 10^4\text{Gauss}$).

Apesar da água ser uma substância diamagnética (resposta magnética mais fraca de um sistema), a literatura apresenta as diversas alterações, muito embora de efeito reduzido (AMIRI e DADKHAH, 2006; CHANG e WENG, 2006; JI et al., 2007; XIAOFENG e BO, 2008) de suas propriedades, quando submetidas a campos magnéticos intensos. Os efeitos dessas alterações podem ser observados em áreas abrangentes como a medicina, química, física, biologia, engenharias, agronomia – incluindo agricultura e pecuária – e processos industriais.

O primeiro estudo relatado sobre a influência do campo magnético em água, segundo Porto (1998), foi realizado por Vermeiren, na Bélgica, em 1945, sendo este último, reconhecido como descobridor do fato de que campos magnéticos afetam as propriedades da água. Desde então, alterações de propriedades biológicas e físico-químicas da água induzidas por campos magnéticos foram e tem sido largamente estudadas nos séculos XX e XXI (PORTO, 1998 e 2004; VYSOTSKII et al., 2005; PANG, 2006).

Os trabalhos de Berezin et al. (1991) e Zhou et al. (2000) propõem o enfraquecimento e a quebra de ligações de hidrogênio da água quando submetida à ação de campos magnéticos. Kochmarshy (1996) e Zhou et al. (2000), sustentaram que quando a água é exposta a campos magnéticos ocorreriam um enfraquecimento ou quebra das ligações de hidrogênio intermoleculares e, conseqüentemente, se adotarmos o modelo de misturas, torna-se-ia possível um novo arranjo de *clusters* com tamanhos

menores que os originais. Em princípio, podemos imaginar que *clusters* de tamanhos menores teriam maior facilidade de permear algumas barreiras e poderiam apresentar comportamentos diferentes daqueles com tamanhos maiores. Ou seja, se adotarmos o modelo de *clusters* para a água líquida, não poderemos mais generalizar o comportamento e propriedades da água como sendo constituída simplesmente de moléculas H₂O, mas devemos levar em consideração a média da distribuição de tamanho de *clusters* (H₂O)_n. Entretanto, ainda segundo Zhou et al. (2000), até aquele momento ainda não existia nenhuma medida experimental capaz de prever a distribuição de tamanho de clusters em líquidos.

As mudanças provocadas pela influência magnética dependem de muitos fatores, tais como, a força do campo magnético, da direção do campo, duração da exposição magnética aplicada, taxa de fluxo da solução, aditivos presentes no sistema e o pH (PARSONS et al., 1997; GABRIELLI et al., 2001; CHIBOWSKI et al., 2005).

Faigle e Porto (2000) em seus estudos verificaram que a água exposta ao campo magnético levou à diminuição da tensão superficial e ao aumento da condutividade elétrica da água deionizada. Também constataram alterações na atividade biológica dessa água.

Porto (1998), ao estudar as alterações de propriedades biológicas e físico-químicas da água induzidas por campo magnético, observou variações na tensão superficial e em outras propriedades físico-químicas como a condutividade elétrica, pressão de vapor, temperaturas de ebulição e de congelamento e absorção na região de infravermelho (ATR). Porém, pesquisas como as desenvolvidas por Landgraf et al. (2014), que procuraram identificar os efeitos do campo magnético em soluções aquosas, obtiveram resultados inconclusivos quanto ao pH, a condutividade elétrica e a tensão superficial da água.

Joshi e Kamat (1966) submeteram a água tri-distilada a campos magnéticos de 0,19 a 0,57 Tesla. Seus resultados mostraram que o pH aumentou progressivamente de 0,35 a 0,62 unidades, a tensão superficial diminuiu de $1,6 \times 10^{-7}$ a $5,3 \times 10^{-7}$ N m⁻¹, e a constante dielétrica aumentou em 1,5 unidades. Contudo, Quickenden et al. (1971) contrapuseram os resultados obtidos por Joshi e Kamat (1966) ao observarem que não ocorreram alterações no pH depois que água bidestilada foi passada através de campos magnéticos 0 a 24000 G (2,4 T). Eles observaram que as alterações da presente magnitude seria energeticamente improváveis.

Porto (2007) avalia que, de maneira geral, a água exposta ao campo magnético possui valores mais elevados de condutividade elétrica do que a água não tratada. Como exemplo, o autor cita valores médios de oito medidas de condutividade elétrica (k) da água exposta ao campo magnético e do controle, obtidos a temperaturas entre 22°C e 24°C, preparadas em experimentos distintos: controle, $k = 1,50 \pm 0,18 \mu\text{S cm}^{-1}$ e água tratada, $k = 2,60 \pm 0,30 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Gomes (2011) afirma que, segundo a eletrodinâmica quântica, a matéria não representa um aglomerado inerte de moléculas e sim um meio dinâmico, capaz de selecionar e catalisar as reações moleculares de acordo com os diversos campos eletromagnéticos que ocorrem no seu interior.

Teixeira (2006) explica que, através de modelos matemáticos, os autores especulam que o campo eletromagnético de uma substância em solução pode gerar certos “domínios de coerência” específicos e estáveis no solvente, como uma “assinatura eletromagnética da substância na água” (“teoria da memória da água”). Desta maneira, a organização da água seria um processo dinâmico e coerente, associado a interações eletromagnéticas. Resultados experimentais de Lo, Li e Huang (2000), demonstram que o campo eletromagnético do soluto induz à formação de regiões de coerência estável no solvente, com estrutura e vibração específica, produzindo aglomerados de moléculas de água, de tamanho e geometria próprios. Cada conformação espacial desses aglomerados corresponderia a um campo eletromagnético específico, influenciando as propriedades físico-químicas da solução em questão (pH, densidade, capacidade calorífica, viscosidade, acidez, constante dielétrica etc.). Os aglomerados de moléculas de água também se estruturam a partir de substâncias não-iônicas (proteínas, moléculas orgânicas, etc.).

2.1.3- Água magnetizada na agricultura

A irrigação é uma prática agrícola, que se propõe proporcionar garantia de produção e possibilidade de índices superiores de produtividade, tanto nas safras como nas entressafras. A irrigação convencional representa a aplicação de água, em quantidade e momentos pré-determinados, ao solo ou outro substrato no qual se desenvolve a agricultura. A submissão dessa água ao tratamento magnético está sendo difundido e utilizado com bons resultados, apesar da pouca compreensão do mecanismo que rege o fenômeno (PORTO, 2004).

Na agricultura há relatos de que o uso de água tratada com magnetismo age sobre as sementes, fazendo com que elas germinem mais rapidamente, além de melhorar o desenvolvimento dos brotos. Seu uso também permite a diminuição da quantidade de nitrogênio necessária na fertilização e leva ao aumento no tamanho das plantas devido a maior quantidade de potássio nas mesmas. Estudos conduzidos por Harari e Lin (1989) no crescimento de melões, mostram que o tamanho, o número de frutos e o conteúdo de açúcar nos melões irrigados com água tratada magneticamente foram significativamente maiores do que aqueles irrigados com água normal (sem tratamento magnético).

De acordo com estudos feitos por Khoshraives et al. (2011), a água magnetizada utilizada na irrigação localizada, resultou em maior umidade do solo quando comparada com a água convencional, podendo a irrigação com água tratada magneticamente ser utilizada para reduzir intervalos de irrigação que resultaria em uma irrigação mais eficiente.

Reina e Pascual (2001a; 2001b) em seus estudos sobre o efeito do campo magnético na água para a irrigação de sementes de alface, propõem o mecanismo de ação do campo magnético sobre a dinâmica de regulação fisiológica das sementes. Os resultados apontaram que houve um aumento da taxa de crescimento da cultura e da quantidade de água absorvida pelas plantas. Os autores concluíram que o fato seria explicado pela interação do campo magnético com as correntes iônicas das membranas celulares, as quais alterariam as concentrações iônicas e a pressão osmótica em ambos os lados da membrana e, conseqüentemente, modificariam o mecanismo de permeação da água através desta.

A falta de um mecanismo mensurável, aceito pela comunidade científica, que explique as teorias que se desenvolvem a respeito do tratamento magnético, aliado as diferenças encontradas quando se busca a reprodutibilidade de fenômenos observados, levando uma forte dependência das condições experimentais utilizadas, causam ceticismo, implicando em uma baixa previsibilidade de respostas da água tratada magneticamente.

2.2. Transporte de Solute no Solo

A modernização da agricultura insere quantidades significativas de fertilizantes, pesticidas e outros produtos químicos no solo, sendo benéficos quando retidos na superfície do solo e na região radicular. Entretanto, a movimentação desses produtos para o subsolo torna-os, além de indisponíveis para as culturas, uma ameaça à qualidade

das águas subterrâneas e às camadas subsuperficiais. Para evitar a poluição do solo e da água e para estimar a magnitude dos danos causados por estes produtos químicos é necessário conhecer os processos que controlam o seu movimento a partir da superfície até a profundidade de máxima densidade radicular, e eventualmente, para o lençol freático (COSTA e PRUNTY, 2006).

O transporte simultâneo de água e solutos no solo ocorre por convecção ou fluxo de massa, difusão e por dispersão. A compreensão dos processos de transferência de soluto no solo e das interações iônicas entre as fases (sólida e líquida) é de fundamental importância ao estabelecer práticas de manejo solo-água-plantas (RUIZ et al, 2010). Os solutos estão presentes no solo de forma associada, formando compostos e dissociados, na forma de íons positivos ou negativos.

A mobilidade dos íons e moléculas no solo pode ser avaliada por meio do deslocamento de fluidos miscíveis em colunas de solo e de modelos matemáticos. Os dados experimentais, oriundos de ensaios de lixiviação de íons em colunas de solo em laboratório ou no campo, quando usados em modelos físico-matemáticos, resultantes de soluções de equações diferenciais de transporte de soluto no solo, possibilitam a caracterização da mobilidade dos solutos no solo com base nos processos de dispersão-difusão e no retardamento do avanço dos solutos em relação ao avanço da interface entre o líquido deslocador e o deslocado (FERREIRA, 2007).

O deslocamento de fluidos miscíveis é um processo que ocorre quando um fluido mistura-se com outro fluido e o desloca. A lixiviação de sais no solo é um exemplo de deslocamento miscível. A água de irrigação ou de chuva mistura-se com a solução do solo e desloca-a no perfil (BORGES JÚNIOR e FERREIRA, 2006).

Quando uma solução é deslocada para baixo em uma coluna de solo, a interface entre a solução deslocadora e a deslocada perde nitidez ou definição à medida que o tempo transcorre. Isso ocorre porque há uma mistura entre as duas soluções junto à interface. Esta mistura é decorrente da difusão de solutos de uma solução para dentro da outra e da diferença de velocidade da solução dentro de um mesmo poro e de poros de diferentes tamanhos (BORGES JÚNIOR e FERREIRA, 2006). Dessa forma, para um completo entendimento, tanto da modelagem quanto do transporte de soluto no solo, os fenômenos de transporte por fluxo de massa, difusão e dispersão devem ser estudados individualmente para melhor compreensão dos processos quando estes são considerados simultaneamente.

O movimento por fluxo de massa, também chamado de convectivo, refere-se ao movimento passivo do soluto com a água, isto é, o movimento do soluto se dá na mesma velocidade do escoamento linear médio da água. A difusão molecular é um processo espontâneo e ocorre, geralmente, na fase líquida, resultante do movimento errático, chamado movimento Browniano. O movimento Browniano está, portanto, relacionado ao deslocamento aleatório de partículas na solução do solo como consequência dos choques das moléculas do meio nas partículas. A dispersão resulta da não uniformidade microscópica da velocidade da solução nos poros condutores do solo. Em escala microscópica, a velocidade varia em magnitude e direção ao longo de um poro.

A aplicação de uma solução deslocadora e a ação conjunta desses processos faz com que a concentração de solutos ao longo da coluna e no efluente varie temporalmente. Essas mudanças na concentração dos solutos no efluente de uma coluna de solo são apresentadas em uma forma padrão, denominada curva de efluente (Figura 1). A curva de efluente é obtida plotando-se no eixo das ordenadas os valores da relação C/C_0 e no eixo das abscissas o volume de solução percolada, expresso em termos de número de volume de poros. Na relação C/C_0 , C é a concentração do soluto no efluente e C_0 é a concentração de soluto na solução deslocadora.

O número de volume de poros (n_p) é dado pela expressão:

$$n_p = \frac{Qt}{V_0} \quad (1)$$

em que:

Q – Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

t – Tempo de coleta (s) e

V_0 – Volume de poros do solo efetivamente ocupado pela fase líquida, considerado igual ao volume de poros da coluna de solo quando o meio for saturado (m^3).

Em um meio poroso, como por exemplo, o solo, os solutos podem reagir com a fase sólida do solo afetando o deslocamento dos mesmos. Nos meios porosos não reativos o ponto de inflexão da curva experimental de efluente ocorre a $n_p = 1$, de maneira semelhante ao que acontece no escoamento laminar. No entanto, nos meios porosos reativos há uma tendência natural da curva experimental de efluente deslocar-se para a

direita, isto é, sua inflexão ocorre a $n_p > 1$, indicando um retardamento na velocidade de avanço do soluto em relação à velocidade média de avanço da solução deslocadora. Este retardamento é representado pelo fator de retardamento (R), o qual depende da capacidade do meio poroso em reter ou adsorver determinado soluto existente na solução deslocadora (MATOS et al., 1998). No entanto, em alguns casos, o valor de R pode tornar-se menor que a unidade, indicando exclusão iônica e/ou ocorrência de regiões onde o líquido está relativamente imobilizado como dentro de agregados e, portanto, não contribuindo com o fluxo de massa (RUIZ et al., 2010).

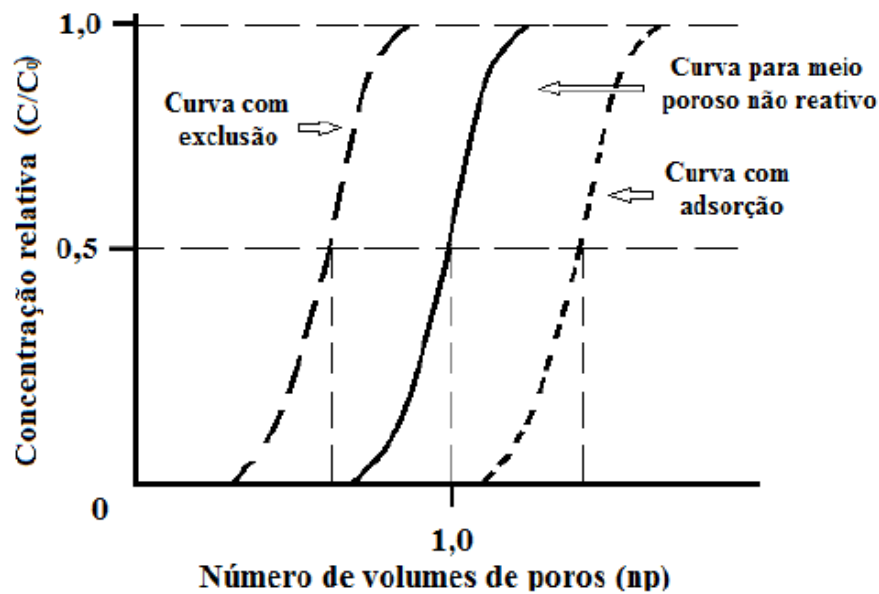


Figura 1- Curvas de efluentes, com dispersão longitudinal, para diferentes condições de deslocamento miscível (Adaptado de BRESLER et al., 1982).

No que diz respeito à dispersão, quando as curvas de efluentes se apresentam mais verticalizadas, com maior declividade, há um indicativo de baixa dispersão-difusão do soluto no meio. No entanto, quando as curvas se apresentam mais horizontalizadas, com menor declividade, há uma maior dispersão-difusão do soluto no meio, como ilustrado na Figura 2.

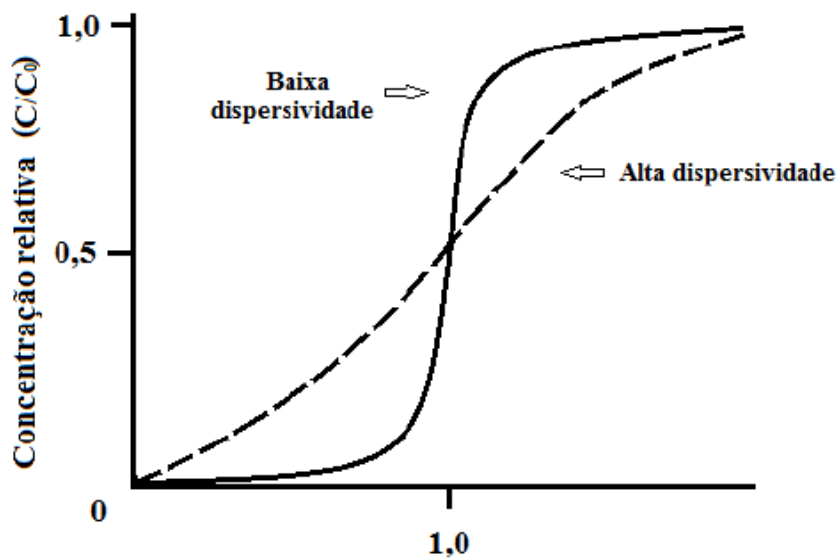


Figura 2- Curvas de efluente para um soluto com baixa e alta dispersão-difusão em um determinado solo (RIBEIRO, 2011).

Segundo Drever (1997), para um bom entendimento da mobilidade dos solutos nos solos é preciso ser capaz de modelar quantitativamente o processo de adsorção. A equação (ou representação gráfica) que relaciona a quantidade de solutos adsorvidos na superfície dos sólidos e a quantidade dissolvida na solução, a uma dada temperatura, é referida como isoterma de adsorção (JURY e GARDNER, 1991).

As isotermas podem ter as formas mais variadas dependendo das características do adsorbato (soluto) e da superfície adsorvente (fração sólida do solo) e algumas vezes são influenciadas por outros constituintes da solução. As isotermas mais comumente utilizadas são as de Langmuir, de Freundlich e Linear (JURY e GARDNER, 1991).

A isoterma de Langmuir é um tipo de isoterma na qual a concentração de soluto adsorvida (C_s) aumenta linearmente com a concentração de soluto dissolvido (C_L), quando em baixas concentrações de C_L , e aproxima-se de um valor constante em altas concentrações de C_L . Esta isoterma é mais apropriada para solos que possuem finita capacidade de adsorção (JURY e GARDNER, 1991).

Matematicamente, a isoterma de Langmuir é descrita pela equação 2:

$$C_S = \frac{KS_{max}C_L}{1 + KC_L} \quad (2)$$

em que:

- C_S – Concentração de soluto adsorvido ($g\ g^{-1}$);
- K – Parâmetro empírico (adimensional);
- S_{max} – Adsorção máxima de soluto no solo ($g\ g^{-1}$) e
- C_L – Concentração de soluto dissolvido ($g\ cm^{-3}$).

Muitos solutos não adsorvem ao solo de acordo com a isoterma de Langmuir, mas, ao invés, reagem como se o solo possuísse diferentes tipos de sítios com capacidade ilimitada de adsorção (Jury e Gardner, 1991). Para estes solutos, a forma da isoterma pode, frequentemente, ser descrita pela isoterma de Freundlich:

$$C_S = K_d C_L^N \quad (3)$$

em que:

- K_d – Coeficiente de distribuição ($cm^3\ g^{-1}$) e
- N – Parâmetro empírico (adimensional).

Na isoterma de Freundlich, o parâmetro N é normalmente menor do que 1. No caso especial em que $N=1$, a isoterma de Freundlich torna-se uma equação linear e é denominada de isoterma linear:

$$C_S = K_d C_L \quad (4)$$

Na figura 3 estão ilustradas as isotermas de Langmuir, de Freundlich e Linear.

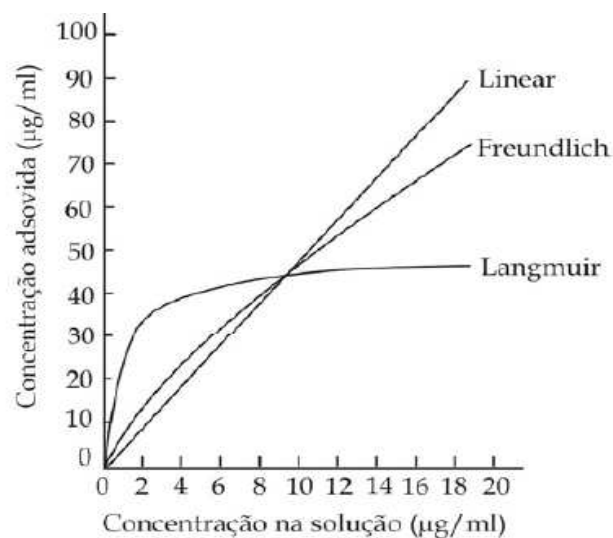


Figura 3- Modelos de isoterma de adsorção linear, de Freundlich e Langmuir (JURY e GARDNER, 1991).

A maneira mais comum de quantificar o processo de adsorção é dada pela relação linear, da qual se obtém o coeficiente de distribuição K_d (DEMUELENAERE, 2004). O uso do coeficiente de distribuição é conveniente, porque além de ser facilmente medido e matematicamente simples, fornece uma avaliação das propriedades de adsorção que permite comparar diferentes solos e ou elementos, o que o torna imprescindível em modelos de previsão de risco ambiental (STAUNTON, 2001). Baixos valores do coeficiente de distribuição indicam que a maior parte do soluto presente no sistema permanece em solução e, portanto, disponível para o transporte ou para outros processos químicos ou, ainda, para absorção pelas raízes das plantas. Por outro lado, altos valores refletem grande afinidade dos componentes sólidos do solo pelo elemento (SOARES, 2004).

O valor do coeficiente de distribuição é função das propriedades do substrato do solo e da composição da solução; logo, cada soluto tem seu coeficiente de distribuição característico para um solo específico (DEMUELENAERE, 2004).

Quando a isoterma for linear, o fator de retardamento pode ser estimado pela equação (5):

$$R = 1 + \frac{\rho_s K_d}{\theta} \quad (5)$$

em que:

ρ_s – Massa específica do solo (g cm^{-3});

K_d – Coeficiente de distribuição ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$) e

θ – Teor de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Quando se utilizar a isoterma de Freundlich, o fator de retardamento pode ser estimado pela equação (6):

$$R = 1 + \frac{\rho_s N K_d C_L^{N-1}}{\theta} \quad (6)$$

em que:

C_L – Concentração de soluto dissolvido (g cm^{-3}) e

N – Parâmetro empírico (adimensional).

Os processos de difusão e dispersão são macroscopicamente semelhantes e por isso os coeficientes de dispersão e difusão são constantemente considerados aditivos, originando o coeficiente dispersivo-difusivo, também chamado de coeficiente de difusão aparente ou coeficiente de dispersão hidrodinâmica, matematicamente representado pela equação (7):

$$D = D_0 \xi + \lambda v^n \quad (7)$$

em que:

D – Coeficiente dispersivo-difusivo ($\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$);

D_0 – Coeficiente de difusão do soluto em água ($\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$);

ξ – Fator de tortuosidade (adimensional);

λ – Dispersividade (cm);

v – velocidade média do escoamento da solução no solo (cm h^{-1}) e

n – Parâmetro que depende da geometria do meio (adimensional).

Em condições de solo saturado, o valor de n é geralmente igual a 1 (COSTA e PRUNTY, 2006). Para que os cálculos sejam facilitados geralmente é adotado o valor de ξ igual a 1.

A análise do mecanismo de transporte predominante no processo de deslocamento de solutos pode ser feita por meio do número de Peclet (P_e) um adimensional que relaciona o fluxo convectivo com a dispersão do soluto no meio, dado pela equação (8):

$$P_e = \frac{vL}{D} \quad (8)$$

em que:

P_e – Número de Peclet (ads);

v – Velocidade de escoamento da solução (cm h^{-1});

L – Comprimento da coluna de solo (cm) e

D – Coeficiente dispersivo-difusivo ($\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$).

Se o número de Peclet for muito pequeno, o transporte difusivo pode ser o mecanismo predominante do movimento do soluto no meio. Número de Peclet entre 0,4 e 5 significa que os mecanismos de dispersão e difusão apresentam importância comparável, devendo os dois efeitos serem considerados no processo de transporte. À medida que P_e aumenta, o efeito da difusão passa a ser menos importante e até desprezível e o mecanismo de dispersão torna-se proporcional a velocidade de escoamento da solução (SUN, 1996).

O número de Peclet é mais uma característica do meio poroso do que do soluto utilizado, desde que o coeficiente de difusão deste seja insignificante. Caso o P_e se mantenha constante com a variação da velocidade do escoamento da solução, há indicativo de relação linear entre a velocidade e o coeficiente dispersivo-difusivo (SCHULIN et al., 1987).

O sucesso dos modelos matemáticos, desenvolvidos para descrever o transporte de solutos no solo, depende do grau de confiabilidade das variáveis de transporte envolvidas. Assim, variáveis importantes, como o fator de retardamento (R) e o coeficiente dispersivo-difusivo (D), as quais expressam a capacidade de um soluto em se mover no solo, devem ser determinadas com exatidão (VAN GENUCHTEN e WIERENGA, 1986).

2.3. Fósforo

A fertirrigação consiste na aplicação dos adubos juntamente com a água de irrigação. Tal operação, além de ser de grande utilidade para as plantas, pois o nutriente é fornecido juntamente com a água (essencial para a sua absorção), apresenta ainda muitas outras vantagens, entre as quais, a de melhor distribuição do fertilizante no solo e a possibilidade de maior parcelamento das adubações, aumentando a eficiência na utilização dos adubos pelas plantas (DUENHAS et al., 2002). Os nutrientes são elementos químicos essenciais à produção vegetal, uma vez que, sem qualquer um deles as plantas não conseguiriam completar o seu ciclo de vida. Contudo, a agricultura ainda apresenta deficiências quanto à inserção de doses, concentrações e parcelamentos de fertilizantes ideais para cada cultura, associadas ainda a capacidade do solo em suprir as plantas de nutrientes.

O uso indiscriminado de fertilizantes e outros produtos químicos pode levar a poluição significativa do ar, água e solos, pondo em risco os ecossistemas terrestres e marinhos como também a saúde humana. Por exemplo, a agricultura é a principal fonte de poluição por nitratos e amônia em águas subterrâneas e de superfície, e é um dos principais contribuintes para a poluição dos cursos hídricos por fosfato.

O fósforo desempenha importante papel na respiração vegetal, no armazenamento, transporte e utilização de energia no processo fotossintético, agindo também na síntese das proteínas e no metabolismo de enzimas, sendo um elemento essencial na fase reprodutiva (RAIJ, 1991). A mobilidade de fósforo no solo é muito pequena, razão por que as perdas por percolação em solos agricultáveis são consideradas insignificantes (BASSO et al., 2005). A baixa mobilidade é resultado da sua adsorção aos colóides de forma não trocável, ou seja, não disponível às plantas, e mesmo na forma trocável, a sua liberação ocorre lentamente (TOMÉ JÚNIOR, 1997). O movimento do fósforo difere conforme a textura do solo (GUSTAFSON, 1974). Devido a essa característica, o fósforo é considerado como o nutriente mais limitante para produção de biomassa nos solos tropicais (NOVAIS e SMYTH, 1999).

Raven (2007) afirma que a maior parte do fósforo existente no solo é proveniente do intemperismo das rochas e dos minerais e, provavelmente, é o que mais limita o crescimento vegetal. O fósforo é parte integrante de diversas moléculas químicas, como açúcares fosfatados, nucleotídios, coenzimas, fosfolipídios, ácido fítico, além de ser parte estrutural do difosfato de adenosina (ADP) e do trifosfato de adenosina (ATP).

Está relacionado com o crescimento das raízes, maturação de frutos, formação de grãos, frutos e fibras e com o vigor das plantas. (VITTI et al., 2004).

Segundo Raij (1991), a ausência de fósforo nas plantas causa enrugamento (encarquilhamento) nas extremidades das folhas mais velhas e clorose leve.

O fósforo está presente na forma de ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta e outros polifosfatos) e fosfatos organicamente ligados ao solo. Essas formas químicas são encontradas na água do solo; adsorvidas às argilas, principalmente óxidos, hidróxidos e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio; ligadas ao material orgânico do solo ou como constituintes de minerais primários (SILVA, 1999). Considera-se que o fósforo total do solo seja dividido, analiticamente, em três frações: solúvel ou reativa; hidrolisável com ácido e fração orgânica. As plantas absorvem o fósforo na forma de ortofosfatos que se encontram na solução do solo, sendo a taxa de absorção relacionada com a concentração do fósforo em solução. Como esta concentração depende da capacidade de reabastecimento do solo (fator capacidade), o teor de fósforo nas plantas também depende do fator capacidade de fósforo do solo (FERNANDES et al., 2000). Em outras palavras, o fator capacidade de fósforo é definido pela razão de equilíbrio entre a quantidade de fósforo total e o fósforo na solução do solo e representa uma medida da capacidade do solo em manter um nível determinado de fósforo em solução.

O fósforo constituído basicamente de ortofosfatos pode ser quantificado sem que a amostra tenha passado por prévia hidrólise ácida ou digestão sendo denominado “fósforo reativo”. Na faixa normal de pH dos solos as formas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} são as mais comuns (MATOS, 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Foram realizados dois experimentos. No primeiro, desenvolveram-se as análises das propriedades da água na ausência e presença de campo magnético. Para isso foram utilizadas amostras de água destilada, deionizada, tratada convencionalmente (torneira), mineral e em solução de fósforo em três diferentes concentrações. No segundo, cujo objetivo foi observar os efeitos da água magnetizada sobre os parâmetros de transporte do fósforo no solo, foram usados o Neossolo Quartzarênico (NQ), ocorrente em Mocambinho, no município de Jaíba, situado no estado de Minas Gerais, e o Latossolo Vermelho (LV) proveniente da cidade de Sete Lagoas, também em Minas Gerais.

3.1. Experimento 1: Teste de magnetização da água

Para a obtenção da água magnetizada foi utilizado um magnetizador Sylocimol Doméstico, da empresa Timol Produtos Magnéticos. Segundo a empresa (TIMOL, 2015), o magnetizador é desenvolvido com ímãs permanentes orientados e aço inoxidável que submete a água a um campo magnético de 3860 gauss ou 0,386 T, que muda de polaridade 60 vezes por segundo, com constante emissão de fluxo ionizante de elétrons direcionados, quebrando assim os clusters de água. Segundo o fabricante, o Sylocimol Doméstico (Figura 4) é capaz de magnetizar 20 litros de água em 20 minutos.



Figura 4 - Magnetizador Sylocimol Doméstico

O magnetizador foi imerso em sentido horizontal, de forma paralela ao campo magnético da Terra, alinhado com o auxílio de uma bússola, nas amostras de águas com

as diferentes características. Foram analisadas amostras de um litro para águas do tipo: destilada, deionizada, tratada convencionalmente (torneira), mineral e água em solução de fósforo sob diferentes concentrações. Para cada tipo de amostra utilizou-se uma amostra de referência, isto é, sem a influência do campo magnético.

O tempo total adotado para repouso do imã nas amostras foi de 120 minutos de forma que o magnetizador era retirado do recipiente a cada 20 minutos para realização de medidas. Com o auxílio de um bastão de vidro, o líquido era agitado para a determinação dos parâmetros de condutividade elétrica e o pH da água. Finalizada a medição, o imã era reintroduzido na amostra até que os próximos 20 minutos de repouso do magnetizador fossem atingidos. Atingido os 120 minutos, o magnetizador era retirado da amostra de água procedendo-se assim uma nova leitura. Foram realizadas um total de sete leituras para cada amostra, tanto na amostra de referência quanto para a amostra sob influência do campo magnético, para cada um dos parâmetros estudados. Nas soluções de fósforo preparadas para três concentrações diferentes (40, 80 e 160 mg L⁻¹) adotou-se, além da metodologia anteriormente descrita, uma última leitura no momento em que se atingira 15 horas de retirada do magnetizador, objetivando analisar possíveis interferências mesmo após cessar a presença do magnetizador. Para cada tipo de amostra procedeu-se o experimento adotando três repetições.

Os valores de pH foram medidos com o auxílio de um pHmetro de bancada e os valores de condutividade elétrica, com a utilização de um condutivímetro portátil.

A comparação dos efeitos nas características dos diferentes tipos de águas foi realizada por meio de análise estatística, elaborando gráficos de dispersão com o intuito de observar o comportamento do pH e da condutividade elétrica quando submetidas a variados tempos de exposição ao campo magnético, submetendo seus resultados ao teste Tukey a 5% de significância para avaliar se houve ou não diferença significativa entre os tratamentos.

3.2. Experimento 2: Determinação dos parâmetros de transporte

As amostras de Neossolo Quartzarênico utilizados para o enchimento das colunas foram coletadas em Mocambinho, no município de Jaíba, MG, e as de Latossolo Vermelho no município de Sete Lagoas, MG. As análises físicas foram feitas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos da UFV, utilizando a

metodologia da EMBRAPA (1997), adaptada por Ruiz (2005) para a análise granulométrica e os métodos relacionados pela EMBRAPA para as demais determinações físicas (massa específica do solo, massa específica das partículas, porosidade total, condutividade hidráulica). As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Rotina de Análises Químicas do Departamento de Solos da UFV, de acordo com os métodos apresentados por Defelipo e Ribeiro (1997).

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneira de 2 mm. Suas características físicas e químicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização física e química do Neossolo Quartzarênico (NQ) e do Latossolo Vermelho (LV).

Característica	NQ	LV
Areia grossa ¹ (dag kg ⁻¹)	53,00	8,00
Areia fina ¹ (dag kg ⁻¹)	37,00	3,00
Silte ² (dag kg ⁻¹)	5,00	8,00
Argila ² (dag kg ⁻¹)	5,00	81,00
Massa específica do solo ³ (g cm ⁻³)	1,52	1,00
Massa específica das partículas ⁴ (g cm ⁻³)	2,67	2,19
Porosidade Total ⁵ (cm ³ cm ⁻³)	0,43	0,54
Condutividade Hidráulica ⁶ (cm h ⁻¹)	15,01	9,50
pH em água (1: 2,5)	6,17	4,76
P (mg dm ⁻³)	31,00	3,20
K (mg dm ⁻³)	63,00	31,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,60	1,80
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,32	0,12
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,00	1,40
H + Al (cmol _c dm ⁻³)	2,80	10,60
SB (cmol _c dm ⁻³)	2,08	2,00
CTC (t) (cmol _c dm ⁻³)	2,08	3,50
CTC (T) (cmol _c dm ⁻³)	4,88	12,60
V (%)	42,60	15,90
m (%)	0,00	41,20
Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹)	0,79	6,08
N (dag kg ⁻¹)	0,08	0,24

¹Por peneiramento

²Método da Pipeta

³Método da Proveta

⁴Método do balão

⁵Calculada: $PT = 1 - ps/\rho p$

⁶Em meio saturado, permeâmetro de carga constante

P-Na-K – Extrator Mehlich 1

Ca-Mg-Al- Extrator: KCl-1mol. L⁻¹

H+Al – Extrator Acetato de Cálcio 0,5mol.L⁻¹-pH 7,0

SB = Soma de bases

CTC (t) – Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org. = C. Org x 1,724 – Walkley-Black

P-rem = Fósforo Remanescente

N – N total – Digestão Sulfúrica – Destilação Kjeldhal

Fonte: Laboratório de Rotina do Departamento de Solo - UFV

As colunas de lixiviação foram confeccionadas em tubos de PVC, com diâmetro interno de 47 mm e comprimento de 20 cm. Areia foi colada com parafina em toda a parte interna do tubo para evitar o escoamento preferencial pelas paredes. Na extremidade inferior foram fixadas telas de malha fina (≤ 2 mm).

Os volumes internos das colunas foram determinados e a quantidade de solo adicionada em cada coluna foi aquela que proporcionou massa específica próxima ao valor real (Tabela 1) para todas as colunas que apresentaram o mesmo tipo de solo. Essas quantidades foram colocadas nas colunas em camadas de, aproximadamente, 2,0 cm misturando sempre a camada anterior com a subsequente. A acomodação do solo foi feita, periodicamente, com o toque dos dedos em torno do tubo, de forma que se obtivesse um comprimento final de 15 cm de solo.

O volume de poros para cada coluna foi estimado utilizando-se a relação:

$$V_0 = V_T \varepsilon = \pi r^2 L \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right) \quad (9)$$

em que:

V_0 = volume de poros na coluna (cm^3);

V_T = volume total de solo na coluna (cm^3);

ε = porosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

r = raio interno da coluna (cm);

L = altura de solo da coluna (cm);

ρ_s = massa específica do solo (g cm^{-3}) e

ρ_p = massa específica das partículas (g cm^{-3}).

As colunas foram saturadas de modo ascendente por um período mínimo de 24 horas em uma solução de CaCl_2 $0,005 \text{ mol L}^{-1}$, utilizada com o intuito de minimizar a dispersão da argila.

A condutividade hidráulica do solo saturado foi mensurada, nas próprias colunas de lixiviação, utilizando o método do permeâmetro de carga constante (EMBRAPA, 1997), no qual:

$$K_0 = \frac{V_P}{At \left(\frac{L+l}{L} \right)} \quad (10)$$

em que:

K_0 = condutividade hidráulica do solo saturado (cm h^{-1});

V_P = volume de água coletada na extremidade inferior da coluna (cm^3);

A = área da seção transversal da coluna (cm^2);

t = tempo para a coleta do volume de água (h);

L = altura da coluna (cm) e

l = carga de pressão no topo da coluna (cm).

Os testes de condutividade hidráulica do solo saturado foram realizados em 6 colunas de solo, 3 contendo solo arenoso e 3 com solo argiloso. As médias dos valores de K_0 obtidos nas colunas foram usadas para se estabelecer os diferentes fluxos nas colunas de lixiviação. Com base nos valores dos fluxos foram determinados os valores dos gradientes hidráulicos a serem aplicados nas colunas.

Após a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, as cargas de pressão nas superfícies do solo das colunas foram estabelecidas de modo a ser obter os fluxos.

Após a saturação, as colunas foram conectadas a frascos de Mariotte contendo solução de CaCl_2 até que o escoamento atingisse a condição de equilíbrio permanente. Atingido o equilíbrio, foram então desconectados os frascos com solução de CaCl_2 e conectados a frascos contendo soluções com diferentes concentrações de KH_2PO_4 .

Soluções de mesma concentração de soluto foram preparadas adotando dois tratamentos, um com água destilada comum e outro com água destilada magnetizada. Ambas tiveram seus valores de condutividade elétrica e pH mensurados, de forma que as possíveis alterações nessas propriedades foi o que garantiu a diferença nos tratamentos.

O processo de magnetização da água se deu introduzindo o imã Sylocimol doméstico na solução preparada com água destilada comum. O imã então era retirado em intervalos sucessivos de 20 minutos, a solução agitada com o auxílio de um bastão de vidro e novamente reintroduzido no recipiente até que se completassem três horas de tratamento.

Os ensaios com solução de fósforo foram realizados para três concentrações iniciais diferentes usando Neossolo Quartzarênico ($C_1 = 20 \text{ mg L}^{-1}$, $C_2 = 72 \text{ mg L}^{-1}$ e $C_3 = 115 \text{ mg L}^{-1}$ de P) estabelecidos com base nas recomendações da EMBRAPA (2004) para fertirrigações em hortaliças, e três usando Latossolo Vermelho ($C_1 = 230 \text{ mg L}^{-1}$, $C_2 = 326 \text{ mg L}^{-1}$ e $C_3 = 405 \text{ mg L}^{-1}$ de P), baseados nos valores adotados por Valeri et al. (2001), para Latossolo Vermelho, tanto em condições normais quanto submetidos a campo magnético. Estas soluções foram aplicadas até que o volume infiltrado correspondesse a treze volumes de poros para LV e sete volumes de poros para NQ.

Na extremidade inferior da coluna (Figura 5) foram coletadas amostras da solução a intervalos de volumes de poros variados. Foram divididos em 14 intervalos (quatro de 0,5; quatro de 0,75; quatro de 1,25 e dois de 1,5), totalizando 13 volumes de poros para o LV e 12 intervalos (quatro de 0,25; quatro de 0,5 e quatro de 1,0) totalizando 7 volumes de poros para o NQ. Quando o efluente atingia o volume pré-estabelecido no recipiente de coleta (proveta), uma alíquota era retirada, acondicionada em recipiente de vidro fechado hermeticamente e mantida sob refrigeração para posterior análise da quantificação da concentração do soluto efluente (C) e a concentração relativa (C/C_0). Com o mesmo objetivo, foram coletadas amostras da solução no frasco de Mariotte no momento em que se iniciou o experimento e ao final do mesmo.



Figura 5 – Disposição do experimento

As amostras da solução efluente de fósforo foram analisadas por colorimetria de absorção molecular, obtendo-se assim a concentração de P efluente (C) e a concentração relativa (C/C₀). As concentrações relativas e os respectivos volumes de poros foram utilizados para elaborar as curvas experimentais de efluente de cada tratamento.

O fluxo médio, durante o ensaio de lixiviação foi calculado utilizando a equação:

$$q = \frac{V_p}{At} \quad (11)$$

em que:

q = fluxo de solução percolada (cm h⁻¹);

V_p = volume da solução percolada na extremidade inferior da coluna (cm³);

t = tempo para a coleta do volume percolado (h);

Obtido o fluxo calculou-se a velocidade média da solução por meio de:

$$v = \frac{q}{\varepsilon} \quad (12)$$

em que:

q = fluxo de solução percolada (cm h⁻¹);

v = velocidade média do escoamento no meio poroso (cm h⁻¹);

ε = porosidade do solo (cm³ cm⁻³).

Os parâmetros de transporte número de Peclet (Pe) (adimensional), fator de retardamento (R) (adimensional) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) (cm² h⁻¹) foram obtidos utilizando-se o programa computacional Disp (BORGES JÚNIOR e FERREIRA, 2006), o qual ajusta os parâmetros de transporte por meio da comparação dos valores experimentais da concentração de soluto com aqueles simulados usando a solução da equação diferencial de transporte de solutos no solo:

$$R \frac{dC}{dt} = D \frac{d^2C}{dx^2} - v \frac{dC}{dx} \quad (13)$$

A solução matemática usada corresponde ao modelo A-1 do Disp, que considera a concentração no fluxo da solução. Além disso, o programa considera isoterma de sorção linear.

A dispersividade (λ) foi calculada usando a equação (7), considerando n igual 1 devido as condições de solo saturado e ξ igual a 1 com o objetivo de facilitar os cálculos. O valor de D_0 para a difusão do fósforo em água pura é de $0,03204 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. O coeficiente de distribuição (K_d) foi calculado utilizando a equação (5), considerando o teor de água no solo (θ) como a porosidade total do solo, uma vez que o solo se encontrava totalmente saturado.

Foram utilizadas 36 colunas correspondente a dois tipos de solos (NQ e LV), três concentrações de fósforo ($C_1 = 20 \text{ mg L}^{-1}$, $C_2 = 72 \text{ mg L}^{-1}$ e $C_3 = 115 \text{ mg L}^{-1}$ de P para NQ e $C_1 = 230 \text{ mg L}^{-1}$, $C_2 = 326 \text{ mg L}^{-1}$ e $C_3 = 405 \text{ mg L}^{-1}$ de P para LV), dois tipos de água (magnetizada e não magnetizada), com três repetições. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 3×2 (três concentrações combinadas com 2 tipos de água), com três repetições.

As velocidades médias da solução, determinadas em cada coluna, foram submetidas ao teste Tukey a 5% de significância para conferir se houve ou não diferença entre os tratamentos. Os valores de P_e , R , K_d , D e λ , correspondentes a cada tipo de solo, conferindo aos mesmos três concentrações diferentes de soluto, submetidos a dois tratamentos de água, foram submetidos à análise de variância e teste de média utilizando-se para isso o software ASSISTAT 7.7.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teste de Magnetização da água

Os resultados para o comportamento do pH e da condutividade elétrica para as águas deionizada, destilada, mineral, da torneira e em solução de fósforo, preparadas em três concentrações distintas, estão apresentados nas Figuras 6 a 9.

Avaliando o comportamento do pH, notou-se que para a água deionizada e destilada houve uma tendência de redução dos valores associados ao aumento do tempo de observação para as amostras de referência, isto é, sem a aplicação do campo magnético. Observou-se ainda, uma tendência de redução ainda maior após a aplicação do campo magnético. Maheshwari e Grewal (2009) aplicando campo magnético em diferentes tipos de água de irrigação observaram uma tendência de redução no valor do pH quando comparadas à águas não submetidas a aplicação do campo. Ellingsen and Kristiansen (1979) mostraram que o pH diminuiu de 9,2 para 8,5 após o tratamento magnético, num sistema que continha Ca(OH)_2 . Este grau de alteração foi mostrado ser dependente da intensidade do campo magnético.

Para os valores das amostras de água tratada convencionalmente (torneira), observou-se um comportamento linear dos valores de pH com o avanço do tempo de observação.

Ao analisar a água mineral, evidencia-se um comportamento aleatório do pH, ocorrendo alternância nos valores, ora para mais ora para menos, após a aplicação do campo. Resultado semelhante foi encontrado por Parson et al (1997) em um estudo envolvendo solução de carbonato de cálcio, em que o pH do sistema tratado magneticamente caiu 0,5 unidades de pH a partir de pH 8, isto é, alcançou um pH de 7,5. Ao final lentamente retornou ao seu valor original de pH 8. Além disso, nesse mesmo estudo, o pH do sistema de referência mostrou pequeno desvio em relação ao valor inicial de 7,9-8,0 ao longo da experiência.

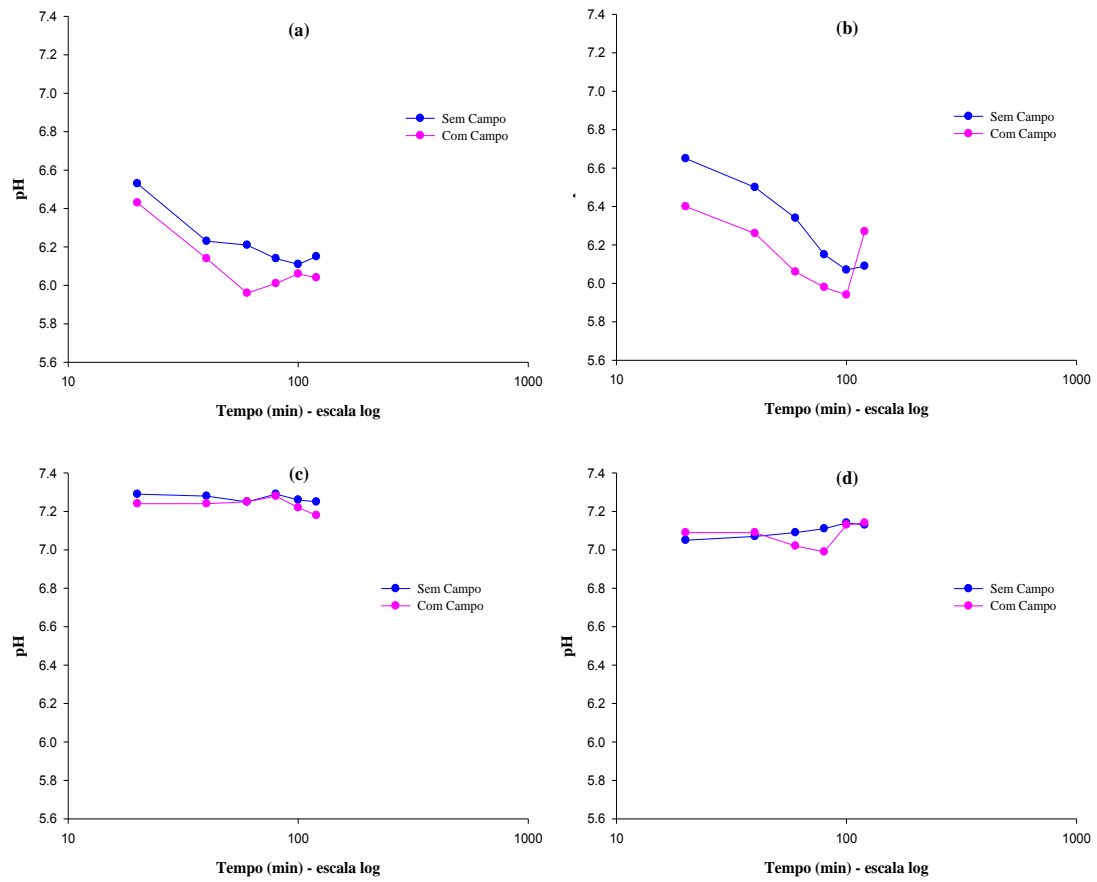


Figura 6 – Comportamento do pH em águas (a) deionizada, (b) destilada, (c) tratada convencionalmente (torneira) e (d) mineral, obtidas em um período de 2 horas quando submetidas a presença e ausência de campo magnético.

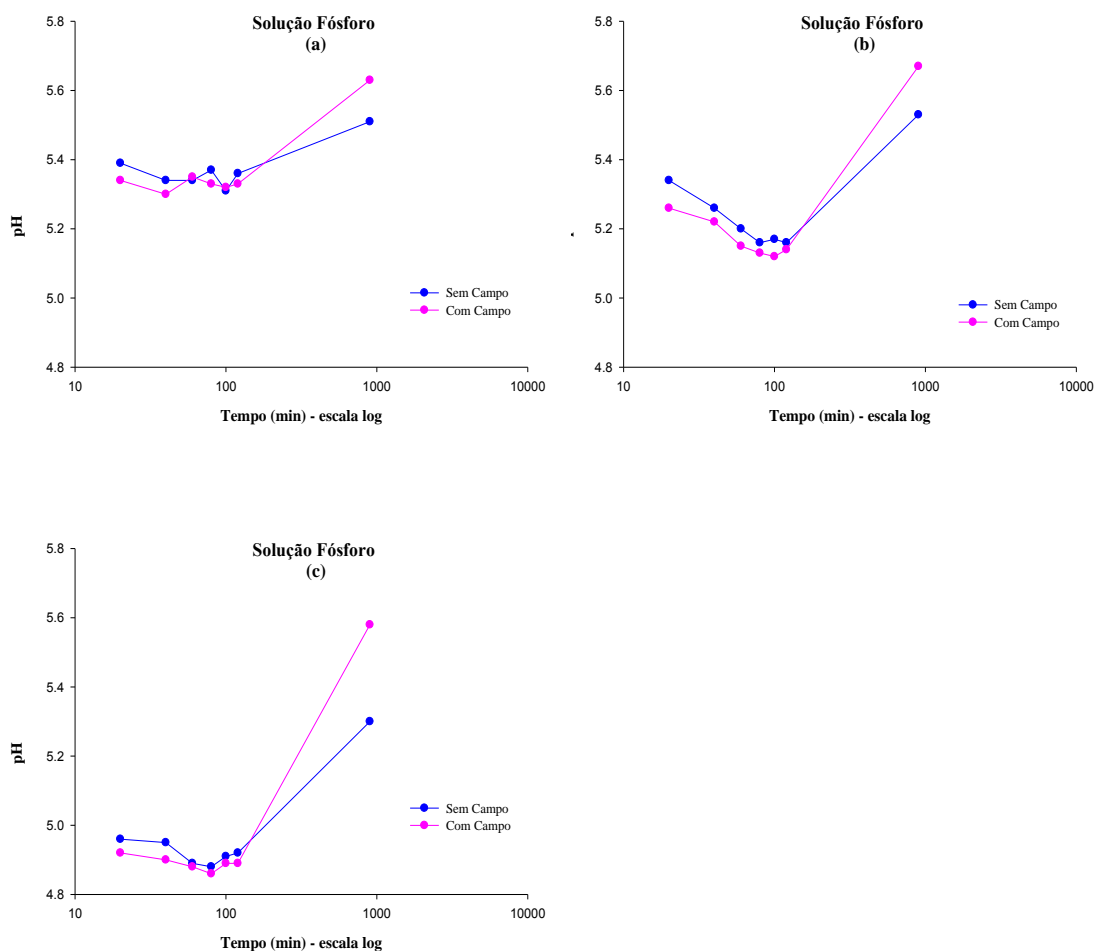


Figura 7 – Comportamento do pH, em soluções de fósforo, analisadas para três concentrações distintas de (a) 40 mg L⁻¹, (b) 80 mg L⁻¹ e (c) 160 mg L⁻¹, por um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Para as soluções de fósforo em todas as três concentrações, observou-se uma tendência de redução dos valores de pH durante o período de aplicação do campo magnético quando comparado a água ausente de campo magnético. Durante as 15 horas após o cessamento da aplicação do campo magnético notou-se uma tendência de aumento do valor de pH com relação a amostra de água ausente de campo magnético.

As alterações no pH do sistema, durante a exposição a campos magnéticos têm sido relatadas por muitos autores, confirmando e contrariando as tendências relatadas aqui. A ideia de que ocorreria a dissociação da molécula de água pelo magnetizador,

contribuindo para a liberação de hidroxilas na solução, com uma correspondente elevação do pH, foi contrariada na maioria dos testes correspondentes ao monitoramento desta variável. Esses resultados corroboram aos encontrados por Mendonça et al. (2008) ao avaliar a eficácia do uso da água magnetizada no crescimento vegetal, utilizando para essa finalidade o imã “Sylocimol”, demonstraram que as médias das leituras diárias de pH antes da adição de sais na solução nutritiva (pH inicial) foram semelhantes em ambos os tratamentos, sendo até mesmo ligeiramente superior na ausência do magneto. O mesmo ocorreu com o pH após a adição de sais (pH final), indicando não ter havido efeito do magneto sobre o pH da solução ou sobre seu poder tamponante.

Kotb e Abd El Aziz (2013) buscaram verificar se as alterações mensuradas no pH, em uma quantidade de água anteriormente submetida a campo magnético durante 820 minutos, se mantinham após um intervalo posterior de tempo sem a influencia do equipamento magnético. Para isto armazenou e isolou a amostra de água por 24 horas para então ser realizada uma nova medição. De acordo com os resultados, a água continuou a sofrer o impacto gerado pelo campo magnético, com tendência a voltar para o seu valor inicial após tempo relativamente longo.

Os resultados dos testes de média do pH (Tabelas 2 a 5) indicam que não houve diferença estatística entre as médias para cada uma das águas observadas, salvo para a solução de fósforo com concentração de 80 mg L^{-1} no tempo de 100 minutos em que se verificou uma diferença estatística entre os tratamentos. O condicionamento magnético não alterou de forma significativa o pH da água destilada, deionizada, tratada convencionalmente (torneira), mineral e em solução de fósforo. Esses resultados se assemelham aos encontrados por Souza (2006), ao monitorar o pH de uma solução de fertirrigação com e sem campo magnético, no período de um ano, sem diferenças estatísticas entre os tratamentos, assumindo que o condicionamento magnético não alterou as condições de pH da solução de fertirrigação.

Tabela 2 - Valores de pH das águas utilizadas na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas.

Tratamento	Tempo* (min)						
	0	20	40	60	80	100	120
Deionizada sem campo	6,66a	6,53a	6,23a	6,21a	6,14a	6,11a	6,15a
Deionizada com campo	6,66a	6,43a	6,14a	5,96a	6,01a	6,06a	6,04a
Destilada sem campo	6,78a	6,65a	6,50a	6,34a	6,15a	6,07a	6,09a
Destilada com campo	6,78a	6,40a	6,26a	6,06a	5,98a	5,94a	6,27a
Torneira sem campo	7,24a	7,29a	7,28a	7,25a	7,29a	7,26a	7,25a
Torneira com campo	7,24a	7,24a	7,24a	7,25a	7,28a	7,22a	7,18a
Mineral sem campo	7,06a	7,05a	7,07a	7,09a	7,11a	7,14a	7,13a
Mineral com campo	7,06a	7,08a	7,09a	7,02a	6,99a	7,13a	7,14a

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

Tabela 3 - Valores de pH da água em solução de fósforo para concentração de 40 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	5,41a	5,39a	5,34a	5,34a	5,37a	5,31a	5,36a	5,51a
Sol. Fósforo com campo	5,41a	5,34a	5,30a	5,35a	5,33a	5,32a	5,33a	5,63a

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

Tabela 4 - Valores de pH da água em solução de fósforo para concentração de 80 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	5,33a	5,34a	5,26a	5,20a	5,16a	5,17a	5,16a	5,53a
Sol. Fósforo com campo	5,33a	5,26a	5,22a	5,15a	5,13a	5,12b	5,14a	5,67a

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

Tabela 5 - Valores de pH da água em solução de fósforo para concentração de 160 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	5,03a	4,96a	4,95a	4,89a	4,88a	4,91a	4,92a	5,30a
Sol. Fósforo com campo	5,03a	4,92a	4,90a	4,88a	4,86a	4,89a	4,89a	5,58a

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

Analisando o comportamento da condutividade elétrica (Figuras 8 e 9), evidenciou-se um aumento nos seus valores em todos os tratamentos submetidos ao campo magnético. Segundo a teoria de magnetização da água proposta por Zhou et al. (2000) a água exposta a campo magnético, possivelmente, modificou a distribuição de tamanho de clusters, o que implicaria em uma menor interferência na trajetória dos íons transportadores de carga, fazendo com que a condutividade elétrica aumentasse.

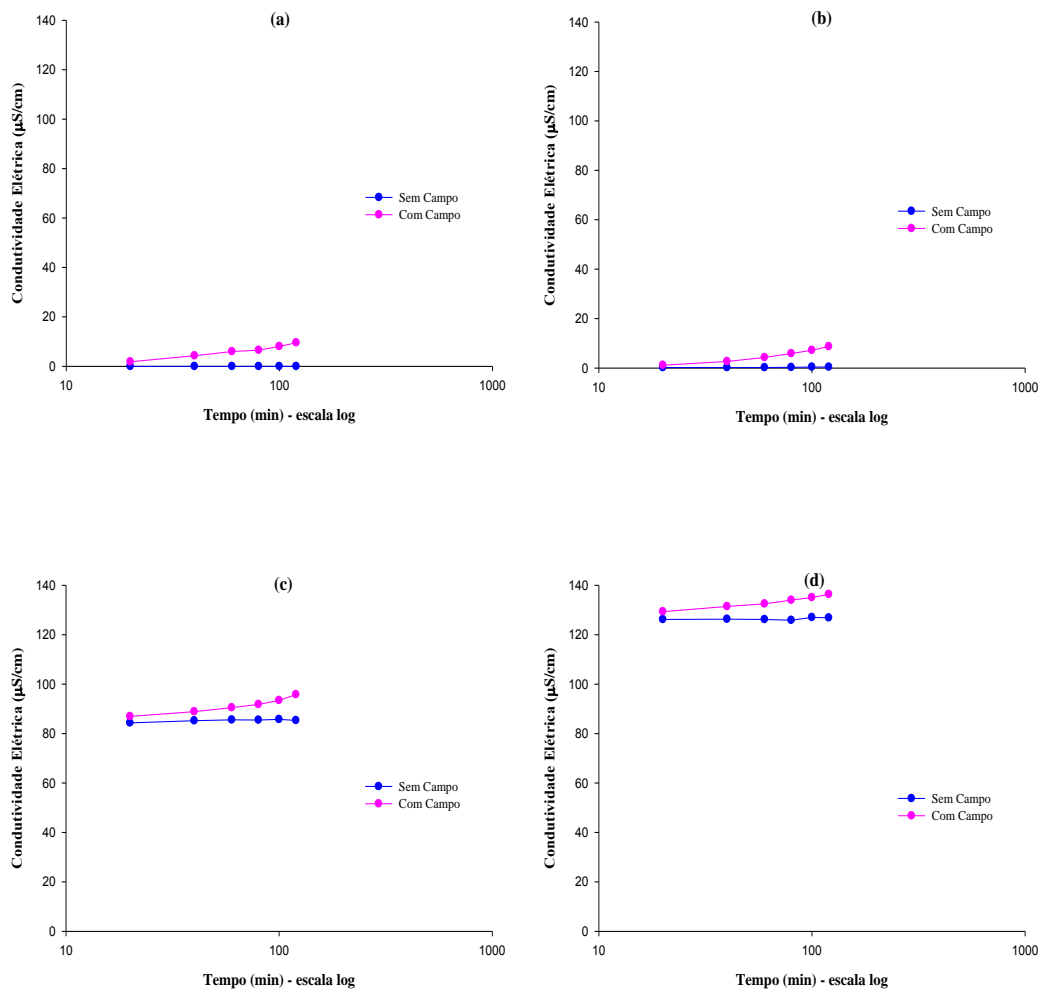


Figura 8- Comportamento da condutividade elétrica em águas (a) deionizada, (b) destilada, (c) de torneira e (d) mineral, obtidas em um período de 2 horas quando submetidas à presença e ausência de campo magnético.

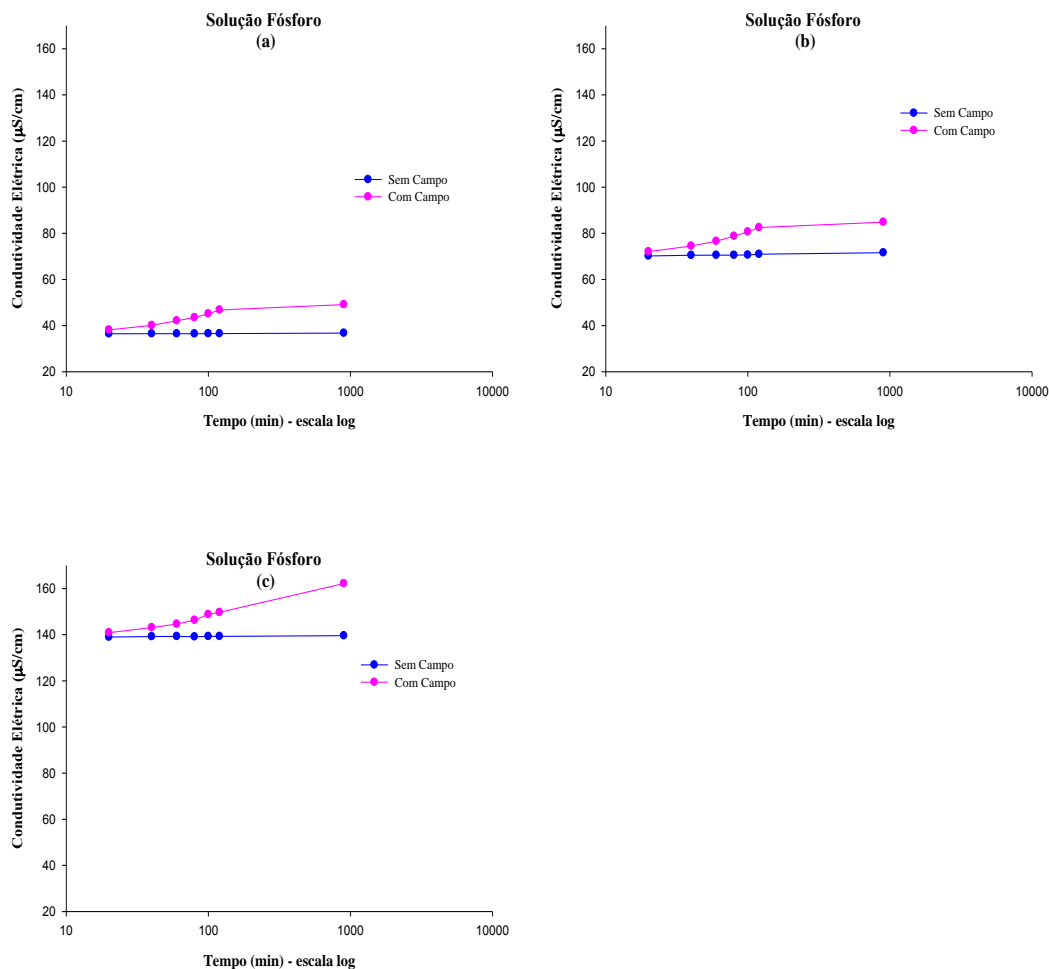


Figura 9 – Comportamento da condutividade elétrica, em soluções de fósforo, analisadas para três concentrações distintas de (a) 40 mg L^{-1} , (b) 80 mg L^{-1} e (c) 160 mg L^{-1} , por um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Pang e Shein (2013), em seus estudos, ao obterem água magnetizada a partir de água pura exposta ao campo magnético estático de 1500 G (0,15T), verificaram que a condutividade elétrica da água magnetizada é maior que a da água pura, sendo esses valores crescentes com o aumento do tempo e frequência de magnetização. Resultados semelhantes foram encontrados nesse estudo, porém, para uma intensidade do campo magnético maior, com valor adotado de 3860 G (0,386T).

Santos et al. (2012), também, confirmaram o aumento da condutividade elétrica influenciada pela aplicação de campo magnético gerado por um ímã permanente, em forma de anel, em volumes distintos de amostras de água potável utilizada para irrigar

plantação de vegetais comestíveis. Esses resultados reafirmam, portanto, a hipótese de que o campo magnético pode modificar as cargas elétricas da água, no processo de quebra de pontes de hidrogênio, fazendo dessa água com íons livres, um meio com maior condutividade elétrica.

Ao estudar o comportamento das amostras de solução de fósforo que sofreram a influência do campo magnético (Figura 9), notou-se que após 15 horas de retirada do magnetizador das amostras, em todas as três concentrações, a condutividade elétrica continuou a aumentar. Porto (1998) também encontrou comportamento semelhante, notadamente na condutividade elétrica, ao observar que as soluções tratadas magneticamente continuavam a exibir alterações progressivas, mesmo depois de retirada do campo magnético, atribuindo esse fato ao tipo de recipiente utilizado, uma vez que algumas superfícies promovem um aumento da condutividade elétrica da água. A superfície do tipo microesferas de vidro foi selecionada por não contaminarem ou reagirem com o meio. A utilização de recipientes de plástico do tipo PVC nesse trabalho poderia, dessa forma, ter sofrido alguma influência do campo magnético, provocando valores crescentes de condutividade elétrica mesmo após a retirada do campo magnético, conforme observamos na Figura 9.

Observou-se, de acordo com as tabelas 6 a 9, que para todas as amostras houve diferenças estatísticas entre os tratamentos para a condutividade elétrica. Para a água deionizada, destilada (Tabela 6), e para as soluções de fósforo (Tabelas 7 a 9), as diferenças aconteceram para tempos de magnetização iguais ou superiores a 40 minutos. Já para a água tratada convencionalmente (torneira) (Tabela 6), fez-se necessário um tempo de 120 minutos de aplicação do campo magnético para que se notasse diferença de condutividade elétrica entre os tratamentos. Situação oposta verificou-se para a água mineral (Tabela 6), que nos primeiros 20 minutos já se verificou diferença significativa nessa propriedade.

Tabela 6 - Condutividade Elétrica das águas utilizadas na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas.

Tratamento	Tempo* (min)						
	0	20	40	60	80	100	120
Deionizada sem campo	0,0a	0,0a	0,0a	0,0a	0,0a	0,0a	0,0a
Deionizada com campo	0,0a	1,83a	4,27b	6,0b	6,53b	8,03b	9,53b
Destilada sem campo	0,23a	0,23a	0,23a	0,23a	0,3a	0,4a	0,4 ^a
Destilada com campo	0,23a	1,17a	2,67b	4,27b	5,87b	7,23b	8,73b
Torneira sem campo	84,63a	84,33a	85,2a	85,57a	85,5a	85,77a	85,33 ^a
Torneira com campo	84,63a	86,97a	88,9a	90,5a	91,8a	93,43a	95,8b
Mineral sem campo	125,87a	126,2a	126,3a	126,2a	125,87a	127,03a	126,87 ^a
Mineral com campo	125,87a	129,37b	131,43b	132,5b	134,03b	135,07b	136,33b

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

Tabela 7- Condutividade Elétrica da água em solução de fósforo para concentração de 40 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	35,97a	36,43a	36,5a	36,5 ^a	36,43a	36,53a	36,53a	36,73a
Sol. Fósforo com campo	35,97a	38,13a	40,07b	42,13b	43,47b	45,13b	46,77b	49,1b

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

Tabela 8- Condutividade Elétrica da água em solução de fósforo para concentração de 80 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	69,97a	70,17a	70,47a	70,53 ^a	70,53a	70,63a	70,97a	71,60a
Sol. Fósforo com campo	69,97a	72,07a	74,53b	76,6b	78,77b	80,63b	82,53b	84,83b

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

Tabela 9- Condutividade Elétrica da água em solução de fósforo para concentração de 160 mg L⁻¹ na ausência e presença de campo magnético, durante um período de 2 horas de aplicação do campo magnético, seguida de análise posterior após um período de 15 horas sem interferência do magnetizador.

Tratamento	Tempo* (min)							
	0	20	40	60	80	100	120	900 ¹
Sol. Fósforo sem campo	138,4a	139,0a	139,2a	139,3 ^a	139,1a	139,3a	139,3a	139,6a
Sol. Fósforo com campo	138,4a	140,9a	143,1b	144,6b	146,3b	148,8b	149,7b	162,2b

Para cada tratamento, as médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna, não diferem entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

*Tempo após o início da aplicação do campo magnético.

¹Tempo após o cessamento da aplicação do campo magnético.

De acordo com os dois modelos existentes que descrevem a estrutura da água líquida, o que parece mais adequado para explicar as mudanças no comportamento da água quando submetida a tratamento magnético é o modelo de misturas que sugere alterações no arranjo das moléculas de água, ou seja, nos clusters, proposto por Pople (1951). É através da estrutura dessas moléculas que se explica grande parte das propriedades da água.

A partir da condutividade elétrica foi possível acompanhar as variações dessas propriedades físico-químicas da água quando se aplicou um campo magnético, servindo de referência para o acompanhamento de outras variáveis no processo de obtenção de águas magnetizadas.

4.2. Parâmetros de transporte

4.2.1. Latossolo Vermelho (LV)

Na Tabela 10 foram apresentadas as médias dos parâmetros de transporte do fósforo avaliados sob três concentrações diferentes ao serem tratados apenas com água comum e apenas com água magnetizada, avaliados separadamente para o Latossolo Vermelho.

Ao analisar os resultados para o tratamento com água comum, observou-se a diminuição do fator de retardamento e do coeficiente de distribuição da concentração de 230 mg L⁻¹ para as de 326 e 405 mg L⁻¹. Para estas últimas (326 e 405 mg L⁻¹) não houve diferença estatisticamente significativa. O acúmulo de íons ou moléculas no solo é consequência dos fenômenos físico-químicos de interação solo-soluto originados pelo transporte de substâncias. Esse processo de migração e retenção é influenciado por diversos fatores relacionados ao fluido percolante, como a concentração das substâncias e a presença de outras na solução, e ao próprio solo; o tipo de solo, a mineralogia, a capacidade de troca catiônica, as espécies de cátions adsorvidos, a velocidade de percolação e o teor de matéria orgânica. Além disso, as condições hidrogeológicas, a temperatura e o pH do meio, também, são fatores intervenientes (COSTA, 2002). Essa afirmação permitiu evidenciar que o fator responsável pela alteração no parâmetro foi a quantidade do íon dissolvido na solução, visto que todas as outras características que poderiam influenciar nesse comportamento se mantiveram inalteradas. Situação semelhante ocorreu ao analisar o R e o K_d da água magnetizada, para as três concentrações de fósforo.

Prevedello (1996) destaca que essa capacidade de reter nutrientes é particularmente acentuada nos solos argilosos, principalmente, os originários do basalto e altamente intemperizados, como os Latossolos, os quais, por possuírem uma mineralogia que desenvolve tanto cargas positivas como cargas negativas, têm a capacidade de reter os principais ânions e cátions presentes em solução que possam vir a percolar no perfil do solo.

Tabela 10 – Parâmetros de transporte do fósforo avaliados sob três concentrações diferentes ao serem tratados com água comum e com água magnetizada, avaliados separadamente para o Latossolo Vermelho (LV).

Parâmetros	Água Comum			Água Magnetizada		
	C ₁ [*]	C ₂ ^{**}	C ₃ ^{***}	C ₁ [*]	C ₂ ^{**}	C ₃ ^{***}
Fluxo (cm h ⁻¹)	¹ 14,95a	13,40a	13,15a	² 15,25A	14,61A	12,28A
Nº de Peclet - Pe	3,84a	7,29a	6,69a	5,65A	7,40A	4,08A
Fator de Retardamento – R	13,36b	8,32a	7,57a	11,70B	8,64A	8,69A
Coefficiente de distribuição - K _d (cm ³ g ⁻¹)	6,67b	3,95a	3,55a	5,78B	4,13A	4,15A
Coefficiente Dispersivo-Difusivo-D	146,71a	52,96a	57,10a	107,51	55,97A	93,59A
Dispersividade (cm)	5,13a	2,20a	2,40a	3,78A	2,13A	4,74A

¹Médias seguidas de uma mesma letra minúscula para um mesmo parâmetro e concentrações diferentes, na mesma linha não diferem estatisticamente.

²Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula para um mesmo parâmetro e concentrações diferentes, na mesma linha não diferem estatisticamente

* Concentração igual a 230 mg L⁻¹; ** Concentração igual a 326 mg L⁻¹; *** Concentração igual a 405 mg L⁻¹.

O valor do fator de retardamento (R) encontrado para este solo quando se aplicou a água comum na concentração C₁ de P foi de 13,36 conforme mostra a Tabela 10, decrescendo até o valor de 8,32 quando em concentração C₂ e 7,57 para a concentração C₃, evidenciando uma diferença estatisticamente comprovada entre C₁ e C₂ e entre C₁ e C₃. Essa mesma análise pode ser feita para a água magnetizada, em que os valores de R diferiram estatisticamente entre as concentrações C₁ e C₂ e C₁ e C₃. Oliveira et al. (2004) verificaram maiores valores do fator retardamento em menor concentração do soluto, em virtude da maior interação do fosfato com os sítios de adsorção. Quanto maior a concentração de fosfato no fluido deslocador, mais rapidamente os sítios de adsorção serão saturados e mais rapidamente se dará a sua movimentação no solo. Os mesmos autores aplicando soluções de fosfato, com concentração de 15 e 60 mg L⁻¹ em diferentes tipos de Latossolo Vermelho encontraram fatores de retardamento que variaram entre 15,20 e 17,70. Santos (2008) ao aplicar uma solução, cuja concentração estabelecida foi de 1055,10 mg L⁻¹ de P em Latossolo Vermelho, determinou um fator de retardamento de 9,50.

A mobilidade de solutos no solo está inversamente relacionada à sorção dos mesmos à fração sólida ou às condições do meio que favoreçam a precipitação dos íons. A sorção iônica ao complexo de troca do solo faz com que os íons mantenham intercâmbio com a solução do solo, proporcionando ora sua retenção junto à fração sólida, ora sua disponibilização no meio aquoso (TAGLIAFERRO et al., 2011). Conforme se observa por meio da Figura 3, quando a concentração de solutos na

solução é baixa, a relação concentração adsorvida por concentração de soluto é linear, tanto na isoterma de Langmuir quanto na de Freundlich, indicando que a isoterma linear, ajustada para baixos valores de concentração de soluto produzirá resultados próximos aos daquelas isotermas. Dessa forma, ao analisar solutos com baixas concentrações, a isoterma linear pode gerar bons resultados. Por outro lado, em soluções com altas concentrações, como efluentes líquidos, o ajuste linear pode não ser o mais adequado, já que esse modelo prevê a sorção de soluto em concentrações infinitamente crescentes, o que é uma limitação desse modelo visto que o solo normalmente possui capacidade limitada de sorção.

Observa-se que concentrações em torno de 230 mg L^{-1} de P, possuem maior potencial de adsorção à matriz desse tipo de solo, não sendo, portanto, suficiente para atingir a capacidade de saturação do mesmo, tendo em vista o alto valor do fator de retardamento. Por outro lado, concentrações em torno de 326 a 405 mg L^{-1} podem corresponder a valores menores de adsorção do fósforo as partículas de solos com essas características, possivelmente, por se encontrar próximo do seu nível de saturação.

Os valores dos coeficientes de distribuição (K_d) permite descrever a distribuição dos íons entre as fases sólida e líquida do solo. Nota-se valor menor de K_d quando aplicada a solução de maior concentração, indicando menor afinidade dos componentes sólidos do solo ao fósforo e valores maiores quando em menores concentrações de soluto. Comparativamente, deduz-se a existência de maior quantidade de íons em solução quando foram aplicadas concentrações maiores de fósforo e, portanto, maior disponibilidade para o transporte ou para outros processos. Essa mesma análise pode ser feita para o K_d da água magnetizada, obtidos para as três concentrações.

Os valores de P_e não diferiram para as três concentrações de água comum e, também, não diferiram para as três concentrações de água magnetizada. Apesar disso, conforme já abordado anteriormente (Equação 8), números pequenos de P_e significa que os mecanismos de dispersão e difusão apresentam importância semelhante, devendo os dois efeitos serem considerados no processo de transporte.

Os valores do coeficiente dispersivo-difusivo, tanto para água comum, quanto para a água magnetizada, não apresentaram diferenças significativas, de acordo com a Tabela 10. Oliveira et al. (2004) encontraram para o coeficiente dispersivo-difusivo do fosfato, em diversos tipos de Latossolos, valores que podem ser considerados altos,

com uma média de $70,2 \text{ cm}^2 \text{ min}^{-1}$, o que corresponde a $4213 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$. Silva et al. (2008) relataram coeficiente dispersivo-difusivo do fósforo para Latossolo de $257,11 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$. Os valores encontrados no presente trabalho foram de $146,7 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ na concentração de 230 mg L^{-1} , $52,96 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ na concentração de 326 mg L^{-1} e $57,10$ para a concentração de 405 mg L^{-1} quando tratada com água comum. Já para água magnetizada, os valores registrados foram de $107,5 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ na concentração de 230 mg L^{-1} , $55,97 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ na concentração de 326 mg L^{-1} e $93,59$ para a concentração de 405 mg L^{-1} . Contudo, conforme a análise de variância aplicada, esses valores não diferem estatisticamente entre si.

A dispersividade é obtida em função do coeficiente dispersivo-difusivo, da velocidade de escoamento e do coeficiente de difusão do soluto em água. A ocorrência de velocidade constante e a manutenção do mesmo tipo soluto durante o experimento explica o fato de seus valores não diferirem estatisticamente, nem para o tratamento com água comum, nem para o tratamento com água magnetizada. Valores superiores de dispersividade refletem uma maior heterogeneidade dos poros presentes no solo (SANTOS, 2008).

A Tabela 11 apresenta os parâmetros de transporte do fósforo obtidos comparativamente para o Latossolo Vermelho quando as soluções foram tratadas com água comum e magnetizada, avaliadas para três concentrações diferentes do soluto.

Tabela 11. Parâmetros de transporte do fósforo em Latossolo Vermelho

Parâmetros	C_1^*		C_2^{**}		C_3^{***}	
	² AC	³ AM	AC	AM	AC	AM
Fluxo (cm h^{-1})	¹ 14,95a	15,25a	13,40a	14,61a	13,15a	12,28a
Nº de Peclet - Pe	3,84a	5,65a	7,29a	7,40a	6,69a	4,08a
Fator de Retardamento - R	13,35a	11,70a	8,32a	8,64a	7,57b	8,69a
Coeficiente de distribuição - K_d ($\text{cm}^3 \text{ g}^{-1}$)	6,67a	5,78a	3,95a	4,13a	3,55b	4,15a
Coeficiente Dispersivo-Difusivo-D ($\text{cm}^2 \text{ h}^{-1}$)	146,71a	107,5a	52,96a	55,97a	57,10a	93,59a
Dispersividade (cm)	5,13a	3,78a	2,20a	2,13a	2,40a	4,74a
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S/cm}$)	692,9	719,5	1013	1025	1430	1447

¹Médias seguidas de uma mesma letra para um mesmo parâmetro e uma mesma concentração, na mesma linha não diferem estatisticamente.

²AC = água comum

³AM = água magnetizada

* Concentração igual a 230 mg L^{-1} ; ** Concentração igual a 326 mg L^{-1} ; *** Concentração igual a 405 mg L^{-1} .

Por meio da Tabela 11, observa-se que não houve diferenças estatísticas entre os parâmetros de transporte do fósforo para o Latossolo Vermelho quando comparamos o

tratamento com água comum ao da água magnetizada para as concentrações de 230 mg L⁻¹ e 326 mg L⁻¹. Entretanto para a concentração de 405 mg L⁻¹ constatou-se diferenças significativas para o fator de retardamento (R) e para o coeficiente de distribuição (K_d). Os valores de condutividade elétrica obtidos para os dois tratamentos, permite deduzir uma maior presença de íons na água quando submetido ao campo magnético, de forma que a sua disponibilização ocorreria mais acentuadamente no solo.

Contudo, ao comparar os valores do fator de retardamento (R) do fósforo para a concentração C₃ observa-se uma tendência de aumento quando a água se apresentou magnetizada, indicando uma menor disponibilização do soluto presente na solução do solo. Baseado nisso, o efeito da magnetização para a solução de fósforo aplicada ao Latossolo Vermelho em concentração mais elevada parece ter provocado uma maior retenção desse íon às partículas do solo.

Lopes et al (2007) afirmam que a água magnetizada afeta o fenômeno de troca iônica como decorrência da redistribuição de cargas espaciais nas micelas coloidais do solo e também das mudanças espaciais das cargas nas argilas. Dessa forma, possivelmente o alto teor de argila presente nesse solo pode ter sofrido mudanças na distribuição de suas cargas devido à presença do campo magnético e influenciado no processo de adsorção do soluto a sua matriz. Valores maiores de concentração do soluto parecem favorecer esse fenômeno.

Na análise do coeficiente de distribuição (K_d), semelhante ao fator de retardamento, observou-se diferença estatística entre os tratamentos com água comum e a magnetizada, para a maior concentração de fósforo aplicada. Esse resultado demonstra maior valor quando a água sofreu a ação do campo magnético, o que sugere menores concentrações de soluto presente na fase líquida do solo.

Costa (2006), considerando o cultivo irrigado com solução magneticamente condicionada sob intensidade de 0,5T e com solução usual, em iguais condições de clima, substrato e de fertirrigação, encontrou desempenhos estatisticamente diferentes, aceitando a hipótese de que a magnetização da solução de fertirrigação de cultivares de rosas leva a uma maior produtividade e melhoria da qualidade das flores colhidas. Resultados semelhantes foram encontrados por Putti (2014) ao relatar valores mais favoráveis nas variáveis de produção da cultura da alface quando as mesmas foram irrigadas com água tratada magneticamente.

Contudo, apoiados na análise do fator de retardamento e do coeficiente de distribuição (K_d), a ideia que o campo magnético deixaria os nutrientes mais disponíveis no solo e, conseqüentemente, mais suscetíveis ao transporte, não foi verificada para o fósforo no Latossolo Vermelho, em nenhuma das concentrações testadas. Observou-se, inclusive, que os resultados apresentaram um comportamento contraditório a essa ideia, indicando, que em condições maiores de concentração de soluto para esse solo, a água magnetizada influenciou na redução da mobilidade do íon no perfil.

Para os demais parâmetros analisados não foram verificadas diferenças estatísticas entre os tratamentos, em nenhuma das concentrações estudadas.

4.2.2 Neossolo Quartzarênico (NQ)

Na Tabela 12 foram apresentadas as médias estatísticas dos parâmetros de transporte do fósforo utilizando tanto água comum quanto magnetizada, a fim de observar seus efeitos, avaliando-os separadamente, em função das concentrações para o Neossolo Quartzarênico (NQ).

De acordo com os parâmetros de transporte do fósforo no solo com características arenosas, observou-se a redução do fator de retardamento com o aumento da concentração de C_1 para C_3 , semelhante aos resultados encontrados para o Latossolo Vermelho, porém em menor valor de grandeza, o que é justificado pelo menor teor de argila e capacidade de troca catiônica e aniônica deste solo.

O fator de retardamento nas três diferentes concentrações aplicando água magnetizada apresentaram comportamento diferente ao da água comum.

Tabela 12 – Parâmetros de transporte do fósforo avaliados sob três concentrações diferentes ao serem tratados com água comum e com água magnetizada, avaliados separadamente para o Neossolo Quartzarênico.

Parâmetros	Água Comum			Água Magnetizada		
	C ₁ [*]	C ₂ ^{**}	C ₃ ^{***}	C ₁ [*]	C ₂ ^{**}	C ₃ ^{***}
Fluxo (cm h ⁻¹)	¹ 44,03a	35,36a	43,63a	² 39,94A	31,24B	31,3B
Nº de Peclet - Pe	5,15a	14,24a	24,51a	7,81A	10,79 ^a	20,60B
Fator de Retardamento – R	1,95a	1,74ab	1,62b	1,72A	2,03B	1,52A
Coefficiente de distribuição - K _d (cm ³ g ⁻¹)	0,27a	0,21ab	0,17b	0,20A	0,30B	0,15A
Coefficiente Dispersivo-Difusivo-D	329,53a	96,74ab	70,83b	178,8A	101,3B	53,48C
Dispersividade (cm)	3,14a	1,33ab	0,71b	1,93A	1,40B	0,74C

¹Médias seguidas de uma mesma letra minúscula para um mesmo parâmetro e concentrações diferentes, na mesma linha não diferem estatisticamente.

²Médias seguidas de uma mesma letra maiúscula para um mesmo parâmetro e concentrações diferentes, na mesma linha não diferem estatisticamente

* Concentração igual a 20 mg L⁻¹; ** Concentração igual a 72 mg L⁻¹; *** Concentração igual a 115 mg L⁻¹.

Os valores obtidos para R em função da concentração para água comum diminuíram de 1,95 quando na concentração de 20 mg L⁻¹, para 1,62 na concentração de 115 mg L⁻¹, corroborando com os encontrados por Silva et al. (2005) que em seu estudo, usando solo com características semelhantes, o qual determinou o fator de retardamento para fósforo equivalente a 1,67, cultivado com videiras irrigadas por gotejamento. Já para a água magnetizada os valores variaram de 1,72 na concentração de 20 mg L⁻¹, aumentando para 2,03 mg L⁻¹ na concentração de 72 mg L⁻¹ e reduzindo até 1,52 na concentração de 115 mg L⁻¹.

Para o Latossolo Vermelho, o aumento da concentração também favoreceu o aumento da adsorção do fósforo à matriz do solo para o Neossolo Quartzarênico, deixando-o mais disponível para movimentação no perfil, quando essa análise é feita para água comum. Contudo, para água magnetizada percebe-se um comportamento variável da adsorção com relação à concentração aplicada.

Apesar das colunas apresentarem a mesma massa específica do solo, a uniformidade no tamanho dos poros é muito difícil de ser alcançada, apesar de todos os cuidados tomados no processo de montagem, podendo ter ocorrido formação de poros de tamanhos diferenciados de uma coluna para outra. Situações como essas favorecem o aumento ou diminuição do fluxo de escoamento nesses poros e interfere no tempo de interação entre o solo e o soluto. Ribeiro (2011) afirma que o menor tempo de interação solo-soluto e a diminuição da quantidade de solo capaz de adsorver o soluto pelos mecanismos de dispersão e fluxo de massa, favorecem a diminuição do

fator de retardamento. Essas heterogeneidades que poderiam existir nas colunas de solo confeccionadas, poderiam explicar as diferenças encontradas entre os fluxos para as três concentrações aplicadas quando foi adotado o uso de água magnetizada.

O número de Peclet – Pe apresentaram diferenças estatísticas apenas quando avaliasse o uso de água magnetizada. As diferenças observadas ocorreram nas concentrações C_1 e C_3 e C_2 e C_3 . Valores como os da ordem de grandeza encontrados sugerem a redução do efeito da difusão e predominância do mecanismo da dispersão, tornando-se proporcional a velocidade de escoamento. Resultados como esses podem ser usados para explicar as diferenças encontradas em D. Para a condição de solo arenoso (88% de areia e 7% de argila), Álvarez-Benedi et al. (1999), avaliando o efeito do fluxo (0,6 a 6,0 cm min^{-1}) no parâmetro D, utilizando um soluto não reativo (PantaFluorobenzoato), observaram relação linear do D com a velocidade da solução.

Os valores de D estimados para água comum variaram de 329,53 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ para a concentração de 20 mg L^{-1} e fluxo médio de 44,03 cm h^{-1} a 70,83 $\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$ para a concentração de 115 mg L^{-1} cujo fluxo médio foi de 43,63 cm h^{-1} . Embora os fluxos não tenham diferido estatisticamente, encontrou-se variações nos valores de D, da mesma forma que se encontrou para a λ . Na água magnetizada verificou-se diferenças tanto para o fluxo médio, quanto para os valores de D, que foram semelhantes às diferenças encontradas nos valores da λ . Entretanto, a dificuldade em se esclarecer o comportamento de alguns parâmetros poderia ser reduzida com a adoção de uma maior repetibilidade do experimento. A adoção de medidas como essas minimizam erros no processo de coleta, determinação dos dados e interferências de efeitos externos.

A Tabela 13 apresenta os parâmetros de transporte do fósforo obtidos comparativamente para o Neossolo Quartzarênico quando as soluções foram tratadas com água comum e magnetizada, avaliadas para três concentrações diferentes do soluto.

Tabela 13. Parâmetros de transporte do fósforo em Neossolo Quartzarênico

Parâmetros	C ₁ [*]		C ₂ ^{**}		C ₃ ^{***}	
	² AC	³ AM	AC	AM	AC	AM
Fluxo (cm h ⁻¹)	¹ 44,03a	39,94a	35,36a	31,24 ^a	43,63a	31,24a
Nº de Peclet - Pe	5,15a	7,81a	14,84a	10,79 ^a	24,51a	20,60a
Fator de Retardamento – R	1,95a	1,72b	1,74a	2,03 ^a	1,62a	1,52a
Coefficiente de distribuição - K _d (cm ³ g ⁻¹)	0,27a	0,20b	0,21a	0,3 ^a	0,17a	0,15a
Coefficiente Dispersivo-Difusivo-D (cm ² h ⁻¹)	329,5a	178,8a	96,74a	101,3a	70,83a	53,48a
Dispersividade (cm)	3,14a	1,93a	1,33a	1,40a	0,71a	0,74a
Condutividade Elétrica (µS/cm)	81,7	90	235	242	381	390

¹Médias seguidas de uma mesma letra para um mesmo parâmetro e uma mesma concentração, na mesma linha não diferem estatisticamente.

²AC = água comum

³AM = água magnetizada

* Concentração igual a 20 mg L⁻¹; ** Concentração igual a 72 mg L⁻¹; *** Concentração igual a 115 mg L⁻¹

A análise dos resultados para os parâmetros de transporte do fósforo obtidos na ausência e presença de campo magnético para as três concentrações testadas quando aplicadas em solo com características predominantemente arenosas não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, à exceção dos valores encontrados para o fator de retardamento e coeficiente de distribuição para a menor concentração adotada.

A diferença encontrada para o fator R entre os tratamentos, para a menor concentração de 20 mg/L revela valores menores para a água tratada magneticamente, evidenciando uma maior movimentação do soluto no perfil do solo. Ao considerar-se que a única distinção entre os tratamentos foi a adoção do campo magnético na solução de fósforo, percebe-se que para esta situação a magnetização causou mudanças no comportamento e na estrutura da água. A condutividade elétrica mensurada para a água comum e que posteriormente sofreu ação do campo magnético, aplicadas às colunas de solos arenosos, mostra uma elevação dos seus valores, de forma que a disponibilização dos íons no solo seria mais evidente, acarretando em maior movimentação no perfil do solo. Aliado a isso, solos arenosos possuem uma tendência de maior disponibilidade de fósforo uma vez que a adsorção é menor em função da baixa concentração de argila, porém doses excessivas podem implicar em perdas do nutriente (MACHADO et al., 2011).

Porto (1998) observa que a quantidade de água adsorvida nas diferentes superfícies sofre alterações que dependem da intensidade do campo e da superfície propriamente dita. O campo magnético parece afetar a adsorção quando a força magnética adquirida através do campo magnético externo é suficientemente grande para ultrapassar as

interações e ligações de hidrogênio que constituem a estrutura da água. Ainda, segundo os estudos do autor, a água submetida a campos de 0,005 e 0,045T, utilizadas para a germinação e irrigação de sementes de trigo, é mais absorvida pelas sementes, aumentando a quantidade de sementes germinadas e o crescimento das plantas em relação ao lote padrão. Entretanto, as condições experimentais relacionadas à intensidade do campo e tempo de exposição do mesmo parecem ser muito críticas, podendo obter tanto excelentes resultados quanto diminuí-los drasticamente em relação ao lote padrão.

Essa afirmação pode servir de base para a explicação do efeito magnético ter sido notado apenas para a solução de menor concentração, uma vez que as demais foram influenciadas pelo mesmo tempo de exposição e intensidade do campo.

Para os valores do coeficiente de distribuição (K_d), observa-se variação também apenas para solução com menor aplicação de fósforo. Nota-se menor K_d no tratamento submetido ao campo magnético, refletindo maiores valores do soluto presente na fase líquida do solo, indicando maior disponibilidade do mesmo a movimentação no perfil, tornando-o mais propenso ao processo de lixiviação.

Não foram verificadas diferenças estatísticas para os números de Peclet e nem para coeficientes dispersivos-difusivos entre os tratamentos em nenhuma das concentrações aplicadas. Essa análise leva a deduzir que o campo magnético não influenciou na velocidade de escoamento e nem no grau de movimentação do fósforo para este tipo de solo. Análise semelhante pode ser observada para a dispersividade. Para esses parâmetros, o Latossolo Vermelho apresentou o mesmo comportamento.

Segundo a Embrapa (2004), a quantidade total de P a ser aplicada, em pre-plantio e fertirrigação por gotejamento, no cultivo de algumas hortaliças como pepino e alface, para a formação do dossel vegetativo (NDP), para solo com textura arenosa variam de 50 a 62 kg ha⁻¹, o que equivaleria a doses de aproximadamente 25 mg L⁻¹ e 31 mg L⁻¹. Dessa forma, ao levar em consideração essas culturas e esse tipo de solo diferenças poderiam ser verificadas nos parâmetros de transporte ao compararmos a água comum com a magnetizada.

Ocorreram alterações de comportamento dos parâmetros de transporte de soluto no solo quando se aplicou doses reduzidas de fósforo no solo arenoso, verificando para o tempo de exposição e intensidade do campo magnético aplicado, mudanças no comportamento da solução. A sensibilidade dos efeitos do campo magnético em baixas concentrações leva a acreditar que a influência de campos magnéticos com

intensidades superiores ou mesmo tempo de exposição maior, provocaria mudanças mais apreciáveis no comportamento da água magnética em solos arenosos. Soluções com maiores concentrações de solutos apresentam ligações mais fortes com as moléculas de água o que, por consequência, levaria a necessidade de forças mais intensas para compensar o rompimento das forças de atração entre as moléculas.

Em contrapartida, alterações de comportamento dos parâmetros de transporte de soluto no solo também foram notadas, porém, de maneira inversa ao solo arenoso, quando se aplicou uma concentração maior de fósforo ao solo argiloso. Dessa forma os íons apresentaram-se menos disponíveis na solução sob a influência do campo magnético. A esse fato podemos associar possíveis alterações nos sítios de troca da argila, presente em maior abundância nesse solo, que só puderam ser notadas quando foram aplicadas doses mais elevadas de fósforo.

Por apresentar forças de adsorção de soluto menores que o solo argiloso, o solo com características arenosas sofre a influência de processos dessa natureza devido ao maior tamanho de suas partículas e baixa CTC, o que associado a doses reduzidas de fósforo favorece a ação do campo magnético, contribuindo para o aumento da movimentação do soluto. Já os solos argilosos apresentam essas partículas em tamanhos menores associados a sua alta CTC, podendo ter essas características intensificadas no processo de adsorção do soluto ao solo quando influenciados pela ação do campo magnético e doses mais concentradas do soluto. Esse fenômeno resulta em maior retenção dos íons as partículas sólidas e menor disponibilização e mobilidade do mesmo no perfil de solo.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Não foi observado diferenças estatísticas para o parâmetro do pH quando comparados os tratamentos entre as amostras de água de referência (sem aplicação do campo) e as amostras submetidas ao campo magnético. Em contrapartida os resultados encontrados para a condutividade elétrica apresentaram diferenças estatísticas para todas as amostras de água testadas (destilada, deionizada, tratada convencionalmente, mineral e para três soluções distintas de fósforo) quando comparado os tratamentos com água magnetizada e não magnetizada.

Ao analisar separadamente o comportamento das soluções de fosfóro com água magnetizada e não magnetizada em Latossolo Vermelho, observou-se para os dois tratamentos, uma menor movimentação do soluto no solo nas menores concentrações aplicadas, resultando em menor quantidade de íons na solução do solo. Ao comparar os tratamentos no Latossolo Vermelho, a água magnetizada apresentou para a solução de fósforo aplicada, maior retenção desse íon às partículas do solo na maior dose do soluto adotada em relação a água não magnetizada. Para as doses menores de fósforo não foram encontradas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

O aumento da concentração de fósforo para água sem aplicação do campo magnético favoreceu o aumento da adsorção do soluto à matriz do solo no Neossolo Quartzarênico, deixando-o mais disponível para movimentação no perfil. Entretanto ao analisar o aumento da concentração do fósforo na água magnetizada observou-se comportamento variável da adsorção em relação à dose aplicada. Comparando os tratamentos entre si para o Neossolo Quartzarênico, observou-se maior disponibilização do fósforo no perfil de solo quando a solução foi submetida ao campo magnético, para doses reduzidas do soluto. Para as demais doses adotadas não se verificaram diferenças estatísticas entre os tratamentos com água magnetizada e não magnetizada.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. de. Movimentação de nitrato em horizonte superficial e subsuperficial de latossolo e nitossolo com cargas variáveis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 45, n.1, p.81-88, 2010.

ÁLVAREZ-BENDÍ, J.; ISLA, T.; CARTÓN, A; BOLADO, S. Efecto de la velocidad de flujo en los parámetros de transporte de solutos. Em: *Estudios de La Zona No Saturada Del Suelo*. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. (Eds.) ICIA: La Laguna. p.157-161, 1999.

AMIRI, M.C.; DADKHAH, A. A. On reduction in the surface tension of water due to magnetic treatment. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*. v.278, p.252-255, 2006.

BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; POLETO, R. D. N.; GIROTTO, E. Dejeito líquido de suínos: II – Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, v.35, p.1305-1312, 2005.

BELLAVITE, P. *Medicina Biodinâmica a Força Vital, Suas Patologias e Suas Terapias*. Tradução de Dra. Graciela Alicia Martínez Carrizo. Papyrus, 2002. 408p.

BEREZIN, M.V.; LEVSHIN, L.V.; SALETSKY, A.M. Effect of alternating magnetic fields on the properties of water systems", *Proc. SPIE 1403, Laser Applications in Life Sciences*, 335, 1991.

BORGES JR, J. C. F.; FERREIRA, P. A. Equações e programa computacional para cálculo do transporte de solutos do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.3, p.604–611, 2006.

BRESLER, E.; McNEAL, B. L.; CARTER, D. L. *Saline and sodic soils. Principles-dynamics-modeling*. Berlin, Springer-Verlag, 1982. 236p.

CHANG, KT.; WENG, CI. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. *Journal of Applied Physics*, 100, 43917, 2006.

CHIBOWSKI, E., SZCZES, A.; HOYSZ, L. Influence of sodium dodecyl sulfate and static magnetic field on the properties of freshly precipitated calcium carbonate. *Lagmuir*, v.21, p.8114–8122, 2005.

COSTA, J. L.; PRUNTY, L. Solute transport in fine sandy loam soil under different flow rates. *Agricultural Water Management*, v. 83 p.111-118, 2006.

COSTA, P. Avaliação em laboratório de parâmetros de transporte do chorume no Aterro Sanitário de Sauípe/Ba. 190 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

CORRÊA, M. M.; MARTINEZ, M. A.; COSTA, L. C.; RUIZ, H. A.; CORRÊA, M. M.; SAMPAIO, S. C. Modelo numérico do transporte de água e soluto no solo: I -

simulação da distribuição de umidade. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.10, n.1, 2006.

DEFELIPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. Análise Química do Solo (Metodologia). Boletim de extensão. 2ª edição, n.29, 26p., 1997.

DEMUELENAERE, R. G. A. Caracterização das propriedades de transporte de metais pesados em solos residuais do Rio de Janeiro. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

DREVER, J. I. The geochemistry of natural waters. New Jersey: Prentice Hall, 1997. 436p.

DUENHAS, L. H.; BÔAS, L. R. V.; SOUZA, C. M. P.; RAGOZO, C. R. A.; BULL, L. T. Fertirrigação com diferentes doses de npk e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de Laranja (*Citrus sinensis* O.) ‘valência’. Revista Brasileira Fruticultura, Jaboticabal-SP, v.24, n., p.214-218, 2002.

DUARTE D., C. E.; GUEVARA, G.; MÉNDEZ, M. Uso del agua activada y com tratamiento magnético del tomate en condiciones de organopónico. Revista Ciencias Técnicas Agropecuárias, v.13, n.3, 2004.

ELLINGSEN, F.T.; KRISTIENSEN, H. Does magnetic treatment influence precipitation of calcium carbonate from supersaturated solutions? Vatten, v.35, p.309-315, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA–EMBRAPA. Manual de análises de solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212p. 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA–EMBRAPA. Circular Técnica – Fertirrigação de Hortaliças. Brasília, DF, 13p, 2004.

FAIGLE, J.F.G.; PORTO, M.E.G.; “Evidências de alterações de comportamentos da água quando submetida a campos magnéticos”; Anais do Congresso “A Homeopatia no Século XXI”, p.65-77, 2000.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. World food and agriculture. FAO Statistical Yearbook, 2013.

FERREIRA, P. A. Transporte de solutos no solo. Viçosa-MG: UFV, 2007. 30p. (Apostila)

FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solo de várzea. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Lavras, v.24, p.561-571, 2000.

GABRIELLI, C.; JAOUHARI, R.; MAURIN, G.; KEDDAM, M. Magnetic water treatment for scale prevention. Water Research, v.35, p.3249–3259, 2001.

- GOMES, M. A. D.; Propriedades físico-químicas da água ácida tratada com altas diluições de alumina e calcária carbônica e relações com homeopatia e hormese. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011, 62p.
- GONZALEZ, E. H.; POLTEV, V. I.; TEPLUKHIN, A. V.; MALENKOV, G. G. Structure and some properties of small water clusters. *Journal of structural chemistry*. v.35, p.851-858, 1994.
- GUSTAFSON, C. D. Drip irrigation in USA. *Proceedings technical*. Denver: Sprinkler Irrigation Association, p.111-115, 1974.
- HARARI, M.; LIN, I. Growing muskmelons with magnetically treated water. *Water Irrig.Rev.*, v.9, p.4-7, 1989.
- HARVEY, J. N.; JUNG, J. O.; GERBER, R. B. Ultraviolet spectroscopy of water clusters: excited electronic states and absorption line shapes of (H₂O)_n, n=2-6. *Journal of Chemical Physics*, v.109, p.8747-8750, 1998.
- JI, A.C., XIE, X.C.; LIU, W. M. Quantum magnetic dynamics of polarized light in arrays of micro cavities. *Physical Review Letters*, v.99, p.183602–183605, 2007.
- JOSHI K.M.; P.V. KAMAT. Effect of magnetic field on the physical properties of water. *J. Ind. Chem. Soc.*, v.43, p.620-622, 1966.
- JURY, W. A.; GARDNER, W. R. *Soil physics*. 5 ed. New York: John Wiley e Sons, 1991. 328p.
- KHOSHRAVESH, M.; MOSTAFAZADEH-FARD, B.; MOUSAVI, S. F. KIANI, A. R. Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. *Soil Use and Management*, v.27, p.515–522, 2011.
- KOCHMARSHY, V. Magnetic treatment of water: possible mechanisms and conditions for applications. *Magnetic and Electrical Separation*, v.7, p.77-107, 1996.
- KOTB, A.; ABD EL AZIZ, A. M. Scientific investigations on the Claims of the magnetic water conditioners. *International Journal of Engineering*. p.147-157, 2013.
- LANDGRAF, F. J. G.; GARCIA, P. M. P.; POÇO, J. G.; GIULIETTI, M. Efeitos do campo magnético em soluções aquosas. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Trabalho adaptado do apresentado no Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), Porto Alegre –RS. 2004, 17p.
- LO, S.Y.; LI, W.C.; HUANG, S.H. Water clusters in life. *Med Hypotheses*. v.54, n.6, p.948-53, 2000.
- LOPES, G. N.; KROETZ, V. J.; ALVES, J. M. A.; SMIDERLE, O. J. Irrigação magnética. *Revista Agroambiente (on-line)*, Roraima, v.1, n.1, 2007.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. de.; ANDRADE, B. B. de.; LANA, R. M. Q.; KORNODORFER, G. H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v.27, n.1, p.70-76, 2011.

MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H.S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. *Agricultural Water Management* v.96, p.1229–1236, 2009.

MARTINEZ, M. A.; RAMOS, V. B.N.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A. de.; COSTA, S. N. da. Influência da competição catiônica nos valores de fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão de zinco e cobre no solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.2, p.211-215, 2001.

MATOS, A. T.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F.; MARTINEZ, M. A. Correlação entre os fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão do zinco, cádmio, cobre e chumbo e algumas propriedades físicas dos solos. *Engenharia na Agricultura*, v.6, n.4, p.235-246, 1998.

MATOS, A. T.; COSTA, L. M.; FONTES, M. P. F.; MARTINEZ, M. A. Retardation factors and the dispersion-diffusion coefficients of zinc, cadmium, copper and lead in soils from Viçosa MG, Brazil. *Transactions of ASAE, Madison-EUA*, v.42, p.903-910, 1999.

MATOS, A. T. *Qualidade do meio físico ambiental: práticas de laboratório*. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 150p.

MENDONÇA, R. M.; GARCIA, C. C.; AGUIAR, J. A. Uso de água imantada no cultivo de alface em sistema hidropônico NFT. *FAZU – Faculdades Associadas de Uberaba em Revista*, Uberaba, n.5, p.30-33, 2008.

NÉMETHY, G.; SCHERAGE, H. A. Structure of water and hydrophobic bonding in proteins. I. A model for the thermodynamic properties of liquid water. *Journal of Chemical Physics*, v.36, p.3382-3400, 1962.

NOGGLE, G.R.; FRITZ, G.J. *Introductory plant physiology*. 2 ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1983.

NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV-DPS, p.62-64, 1999.

OLIVEIRA, E. M; RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ALVAREZ, V.H.; BORGES JÚNIOR, J. C. F. Fatores de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.8, p.196-203, 2004.

PANG, X. F. The conductivity properties of protons in ice and mechanism of magnetization of liquid water. *Eur. Phys. J. B, Roma*, v. 49, p.5-23, 2006.

PANG, X. F.; SHEN, G. F. The changes of physical properties of water arising from the magnetic field and its mechanism. Institute of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Sichuan, China. *Modern Physics Letters B*, v.27, n.31, 2013.

PARSONS, S.A.; WANG, B.L.; JUDD, S.J.; STEPHENSON, T. Magnetic treatment of calcium carbonate scale-effect of pH control. *Water Research*, v.31, p.339–342, 1997.

POPLE JA. Molecular association in liquids. II. A theory of the structure of water. *Proc. R. Soc. London*, A205. p.163-178, 1951.

PORTO, M. E. G. Alterações de propriedades biológicas e físico-químicas da água induzidas por campo magnético. 112p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 1998.

PORTO, M. E. G. Alterações de propriedades da água por processos físicos e químicos. 175p. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2004.

PORTO, M. E. G. Novos conceitos sobre água e possibilidades de aplicação. Unipinhal - Centro Universitário de Espírito Santo do Pinhal, Cultura homeopática, n.21, p.19-23, 2007.

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, SAEAFS, 1996, 446p.

PUTTI, F. F. Produção da cultura de alface irrigada com água tratada magneticamente. 108p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu – SP, 2014.

QUICKENDEN, T. I.; BETTS, D. M.; COLE, B.; NOBLE, M. The effect of magnetic fields on the pH of water. Department of Chemistry, University of Queensland, St. Lucia. 4007, *The Journal of Physical Chemistry*, Brisbane, Australia, v.76, n.18, 1971.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991, 343p.

RAVEN, P.H. *Biologia vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007, 830p.

REINA F.G.; PASCUAL L.A. Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part I. Theoretical considerations. *BIOELECTROM*, v.22, n.8, p.589-595, 2001a.

REINA F.G.; PASCUAL L.A., Influence of a stationary magnetic field on water relations in lettuce seeds. Part II. Experimental results. *BIOELECTROM*, v.22, n.8, pp. 596-602, 2001b.

RIBEIRO, D. P. Efeito da velocidade de escoamento da solução e do comprimento da coluna de solo nos parâmetros de transporte de solutos em solos argiloso e arenoso.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2011.

RUIZ, H. A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, n.2, p. 297-300, 2005.

RUIZ, H. A.; FERREIRA, P. A.; ROCHA, G. C.; BORGES JR, J. C. F. Transporte de soluto no solo. In: van LIER, Q. de J. *Física do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, p.213-240, 2010.

SANTOS, M. R. Dos. Uso da reflectometria no domínio do tempo para avaliar a distribuição de nitrato e fósforo em colunas de solos fertirrigados. 73p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG, 2008.

SANTOS, L. G. dos.; FERREIRA, K. S.; SALES, F. H. S. Efeitos de Campo Magnético por ímã Permanente na Condutividade da água. *Anais “Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação”*. Palmas, TO. 2012.

SCHULIN, R.; WIERENGA, P. J.; FLUHLER H.; LEUENBERGER, J. Solute transport through a stony soil. *Soil Science Society of America Journal*. v.51, p.36-42, 1987.

SILVA, F. C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: EMBRAPA, 1999. 532p.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. S.; DAMASCENO, F. C.; ANJOS, J. B. dos. Fator de retardamento para fósforo em um solo arenoso determinado em condições de laboratório. Congresso nacional de irrigação e drenagem, 15.; Simpósio internacional de uso das águas subterrâneas na agricultura irrigada, Teresina, PI, 2005.

SILVA, D. J.; ARAÚJO, C. A. S.; DAMASCENO, F. C.; ANJOS, J. B. dos. Fator de retardamento para o fósforo em um solo arenoso determinado em condições de laboratório. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, 15.; Simpósio Internacional de Uso das Águas Subterrâneas na Agricultura Irrigada, Teresina, PI. Anais. Teresina: ABID; Governo do Estado do Piauí; Embrapa meio Norte; DNOCS; CODEVASF, 1 CD-ROM., 2008.

SOARES, M. R. Coeficiente de distribuição (K_d) de metais pesados e sua relação com atributos físico-químicos de solos do estado de São Paulo. 200p. Tese (Doutorado em Agronomia), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2004.

SOUZA, E. M. M. de. Contribuição ao conhecimento do comportamento da flora microbiana em resposta ao condicionamento magnético de água de irrigação de roseiras. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia – São Caetano do Sul, SP, 2006.

STAUNTON, S. Usefulness and limitations of the distribution coefficient, K_d , in understanding and predicting the fate and trace metals in soil. In: *Symposium of*

Environmental Biogeochemistry, 15., Wroclaw, Poland, 2001. Biogeochemical processes and cycling of elements in the environmental. Wroclaw, Poland: Polish Society of Humic Substances (PTSH), p.49-50. 2001.

SUN, N.-Z. Mathematical modeling of groundwater pollution. Springer-Verlag, New York, 1996, 377p.

TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. Adsorção de chumbo, cádmio e prata em óxido de nióbio hidratado preparado pelo método da precipitação em solução homogênea. Química Nova, v.34, n.1, p.101-105, 2011.

TAI, C.Y., WU, C.K.; CHANG, M.C. Effects of magnetic field on the crystallization of CaCO₃ using permanent magnets. Chem. Engin. Sci., v.63, p.5606-5612, 2008.

TEIXEIRA, M. Z. Homeopatia: ciência, filosofia e arte de curar. Rev. Med., São Paulo, v.85, p.30-43, 2006.

TIMOL PRODUTOS MAGNÉTICOS. Disponível em <<http://www.timol.com.br/proddesc.aspx?idProduto=1>>. Acesso em 12 de junho de 2015.

TOMÉ JUNIOR, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247p.

VALERI, S. V.; PUERTA, R.; CRUZ, M. C. P. da. Efeitos do fósforo do solo no desenvolvimento inicial de Genipa americana L. SCIENTIA FORESTALIS, n. 64, p.69-77, 2003.

VAN GENUTCHEN, M. Th.; WIERENGA, P. J. Solute dispersion: Coefficients and retardation factors. In: KLUTE, A., Ed. Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, p.1025-1054, 1986.

VITTI, G. C.; WIT, A.; FERNANDES, B. E. P. Eficiência agronômica dos termofosfatos e fosfatos reativos naturais. In: Simpósio sobre fósforo na agricultura brasileira. Anais. Piracicaba: POTAFOS, p.690-69, 2004.

VOET, D.; VOET, J. G.; PRATT, C. W. Fundamentos de bioquímica - 4.ed.: A Vida em Nível Molecular. Artmed, 2014. 1200p.

VYSOTSKII, V.; SMIRNOV, I; KORNILOVA, A. Introduction to the biophysics of activated water. Florida: Boca Raton, 2005. 154p.

XIAOFENG, P.; BO, D. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. Science in China Series G: Physics, Mechanics & Astronomy, v.51, p.1621–1632, 2008.

ZHOU, K.X.; LU, G.W.; ZHOU, Q.C.; SONG, J.H.; JIANG, S.T.; XIA, H.R. Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field. *J. Appl. Phys.*, v.88, p.1802-1805, 2000.