



TAFNES TAVARES FERNANDES

**EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA
CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DO SOLO EM
CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

LAVRAS-MG

2021

TAFNES TAVARES FERNANDES

**EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA DO SOLO EM CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS-MG

2021

TAFNES TAVARES FERNANDES

**EFEITO DA ÁGUA TRATADA MAGNETICAMENTE NA CONDUTIVIDADE
HIDRÁULICA DO SOLO EM CONDIÇÃO DE LABORATÓRIO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 08 de Janeiro de 2021.

Dr. Fábio Ponciano de Deus UFLA

Me. Rodrigo Cesar de Almeida UFLA

Ma. Lis Tavares Ordones Lemos UFLA

Prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus

Orientador

LAVRAS-MG

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por todas as oportunidades.

Agradeço a minha mãe, Elci Tavares de Faria Fernandes e ao meu pai, Daniel Evaristo Fernandes, por todo apoio e confiança que sempre me deram.

Agradeço ao meu irmão, Talison Tavares Fernandes, por todo apoio, companhia e paciência que teve comigo durante os anos da graduação.

Agradeço a minha esposa, Pâmela Santiago Leitão, que sempre me apoiou e acreditou em mim, estando ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço ao meu amigo, Me. Denizar de Almeida Alvarenga, pela companhia ao longo dos anos de faculdade e pelo auxílio na realização deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Lavras pelo excelente ensino proporcionado ao longo do curso de Agronomia.

Agradeço ao Departamento de Recursos Hídricos (UFLA), os servidores do departamento e ao prof. Dr. Fábio Ponciano de Deus por tornar possível este trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar influência da água submetida ao tratamento magnético na condutividade hidráulica saturada de um solo deformado. A determinação da condutividade hidráulica saturada do solo (K_0) foi realizada utilizando o método do Permeômetro de carga constante, onde foram utilizadas amostras deformadas em cilindros de PVC. O solo avaliado tratava-se de um Latossolo Vermelho. Foram utilizadas cinco amostras por tratamento, com massa específica padronizada em 1 g cm^{-3} em cada cilindro. Para a magnetização da água utilizou-se o magnetizador Timol, modelo residencial, com capacidade de magnetizar 1 m^3 de água em uma hora de exposição. Inicialmente as amostras foram saturadas com água normal e posteriormente com água submetida ao tratamento magnético por 24 horas. Uma vez colocadas no permeômetro de carga constante, é coletado e medido em proveta graduada o volume de água que passa através da amostra (volume percolado) e o intervalo de tempo desta passagem. Também foram aferidas a temperatura da água, e a altura da carga hidráulica. Os valores da condutividade obtidos foram analisados estatisticamente para verificação da normalidade dos dados e diferença entre as médias obtidas. De maneira geral, não houve diferença significativa entre as médias de K_0 para água normal e água tratada magneticamente. O valor médio de K_0 foi de $5,0370 \text{ cm h}^{-1}$ com água tratada magneticamente e $5,5921 \text{ cm h}^{-1}$ com água normal, com coeficiente de variação de 33,16 %.

Palavras-chave: Tratamento magnético da água. Fluxo de água no solo. Amostras de solo deformadas. Água submetida ao tratamento magnético. Água submetida ao campo magnético.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	9
3 REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 Condutividade Hidráulica do Solo	10
3.2 Água Tratada Magneticamente	12
3.3 Uso da Água Tratada Magneticamente na Agricultura	14
4 MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1 Local de Estudo	17
4.2 Montagens das amostras	18
4.3 Determinação da Condutividade Hidráulica do Solo	19
4.4 Tratamento dos Dados	26
4.5 Procedimentos Estatísticos	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5.1 Resultados	29
5.2 Análise dos dados	33
5.3 Discussão	36
6 CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

1 INTRODUÇÃO

Sempre que num sistema em consideração houver diferenças de potencial, haverá um movimento natural do maior potencial para o menor potencial. Sendo este sistema composto por solo e água, a movimentação da água dependerá da diferença de potencial existente, e da facilidade com que a água se movimenta num solo, sendo esta última variável uma propriedade intrínseca do solo (REICHARDT, 1990).

A facilidade com que a água flui pelo solo é uma propriedade denominada de condutividade hidráulica (K). Tal propriedade do solo tem muita importância para diversos propósitos que envolvem a utilização do solo, tais como a drenagem e a irrigação (CAPUTO, 1996; MESQUITA, 2001). Para um dado solo, quanto maior for a condutividade hidráulica, maior será a facilidade com que a água se movimenta pelo solo. O valor máximo da condutividade hidráulica ocorre quando o solo encontra-se saturado e é denominado como condutividade hidráulica saturada (K_0). Quando solo se encontra seco o valor K é praticamente nulo (REICHARDT, 1990).

A produção agrícola utiliza cerca de 70% de toda água consumida no mundo, e com uma demanda crescente por mais produção, aumenta a necessidade por um uso mais eficiente da água (PENA, 2020). Nesse sentido, existem várias pesquisas que buscam otimizar o uso da água nos sistemas de produção agrícolas. Uma linha de pesquisa que busca aumentar a eficiência no uso da água é o uso de água submetida ao tratamento magnético. Estudos têm demonstrado alterações significativas no comportamento das propriedades da água submetida ao campo magnético, bem como as implicações no uso desta na agricultura (MAHESHWARI; GREWAL, 2009; TOLEDO; RAMALHO; MAGRIOTIS, 2008).

Existem referências relatando significativas alterações na viscosidade da água, quando submetida ao campo magnético (GHAURI; ANSARI, 2006; TOLEDO; RAMALHO; MAGRIOTIS, 2008). Essa alteração pode interferir na condutividade hidráulica do solo, por esta propriedade também depender da viscosidade da água (CAPUTO, 1996). Contudo, poucos estudos avaliam os efeitos e as implicações no uso que a água tratada magneticamente pode causar na condutividade hidráulica de um solo sob este tratamento.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da água submetida ao tratamento magnético na condutividade hidráulica saturada de um solo deformado.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência da água submetida ao tratamento magnético na condutividade hidráulica saturada de um solo deformado.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Condutividade Hidráulica do Solo

Uma das variáveis que afeta o movimento de água no solo é a condutividade hidráulica (K) do solo. É um parâmetro que quantifica a facilidade no qual a água flui através do solo. Quanto maior a condutividade hidráulica do solo maior será o volume de água transmitido suportado por este solo. Este parâmetro é medido em volume de água, que passa por uma área em um tempo resultando numa altura de água por unidade de tempo (REICHARDT, 1990).

A condutividade hidráulica do solo possui uma correlação direta com a umidade do solo. Quando o solo apresenta umidade máxima (solo saturado), o volume de água que este solo é capaz de conduzir, apresentará valores máximos. Estes valores de volume máximo de água transmitido são denominados de condutividade hidráulica saturada (K_0), que é o maior valor de K de um determinado solo. No entanto, quanto menor for a umidade do solo, menor será a condutividade hidráulica, chegando a ser praticamente nula quando o solo está seco (REICHARDT, 1990).

Em irrigação, o valor da condutividade hidráulica saturada é necessário para ser utilizado quando se deseja fornecer água a uma área, de forma que ocorra o escoamento superficial, pra isso, sendo necessário fornecer a uma taxa maior do que a da K_0 , método utilizado na irrigação por inundação e por sulcos por exemplo (REICHARDT, 1990). K_0 também é utilizado para quando se deseja fornecer água a uma área, de forma que não haja escoamento superficial como na irrigação por aspersão e gotejamento, sendo necessário fornecer a uma taxa menor ou igual a da K_0 do solo da área (REICHARDT, 1990).

São diversos fatores que podem afetar a determinação da condutividade hidráulica. Alguns desses fatores são textura, densidade do solo, matéria orgânica, macroporosidade, continuidade dos poros no solo, bolsões de ar no solo, viscosidade da água (MESQUITA, 2001).

Quando se analisa um mesmo solo, o coeficiente de condutividade hidráulica depende basicamente da temperatura da água e do índice de vazios do solo. A relação da viscosidade da água e a condutividade hidráulica do solo é inversa. Quanto maior a temperatura, menor será a viscosidade da água, e com isso, a água flui pelos vazios do solo mais facilmente, e, portanto, a condutividade hidráulica do solo será maior (CAPUTO, 1996). Devido a essa variação da condutividade hidráulica do solo depender da temperatura da água, Caputo (1996) afirma que devido a isso, os valores de K geralmente são referidos a uma temperatura padrão de 20 °C.

Os valores da condutividade hidráulica saturada obtidos em laboratório geralmente apresentam elevado coeficiente de variação. A fonte desta variação dos dados obtidos em laboratório pode ser decorrente do manuseio e do preparo das amostras, que podem acarretar na alteração da macroporosidade das amostras, do fluxo hidráulico causado pela carga hidráulica, e em decorrência da descontinuidade dos poros (MESQUITA, 2001).

A determinação da condutividade hidráulica saturada em laboratório pode ser realizada utilizando-se tanto amostras indeformadas quanto deformadas (BERNARDES, 2005). Lobato (1998) demonstrou ser possível utilizar amostras deformadas para realizar avaliações com diferentes tratamentos, devido à baixa variabilidade do K_0 entre as amostras deformadas avaliadas.

Estudos conduzidos por Tavares-Filho et al. (2006) em uma área de Latossolo Vermelho sob um manejo de 20 anos de plantio direto, com textura de 71

% de argila, 16% silte e 13 % de areia, observou um valor de 12,96 cm h⁻¹ para condutividade hidráulica saturada e densidade do solo de 0,99 g cm⁻³ após uma escarificação.

Reichardt (1990) adota um critério de classificação para condutividade hidráulica saturada, em que valores maiores do que 3 cm h⁻¹, como muito alto e menor do que 0,1 cm h⁻¹ como muito baixo. Valores entre 0,5 a 1,5 cm h⁻¹ como médio.

3.2 Água Tratada Magneticamente

Muitos experimentos demonstram que a água pode ser magnetizada por um campo magnético gerado por um ímã permanente ou eletro ímã e com isso ter suas propriedades alteradas (HIGASHITANI *et al.*, 1993), e esse mecanismo de magnetização da água tem sido investigado e explicado por autores de vários países.

De acordo com estudos feitos por Pang e Deng (2008) concluiu-se que o tempo em que a água fica exposta a um campo magnético e a intensidade deste campo magnético, tem relação direta no efeito de magnetização da água, e há um efeito de magnetismo máximo, no qual as propriedades da água magnetizada não mudam mais com o aumento do tempo de exposição ao campo e intensidade do campo magnético. Esse efeito de saturação magnética da água pode ser devido à quantidade do elemento a ser magnetizado presente na água ser finito. Esses elementos estruturais da água se tornam como pequenos ímãs quando são expostos a um campo magnético, assim a água é magnetizada. Esta propriedade da água ajuda entender um pouco o mecanismo de magnetização da água (PANG; DENG, 2008).

Outro trabalho explica de outra forma o mecanismo de magnetização da água. Toledo et al. (2008), em seu trabalho, examinou a influencia de um campo magnético estático nas propriedades da água, e observou o aumento da entalpia de vaporização, viscosidade e tensão superficial da água em seus resultados. O autor explica que o campo magnético enfraquece as ligações de hidrogênio intra cluster das moléculas de água, criando clusters menores e fortalecendo e aumentando as interações inter clusters. Esse aumento das interações inter clusters pode estar relacionado com o aumento das propriedades observadas no experimento.

Ghuri e Ansari (2006) também observaram aumento da viscosidade da água, para a faixa de temperatura do estudo (25 a 50 °C), sob efeito de um campo magnético.

A retirada do campo magnético determina a perda da intensidade do efeito magnetizado da água gradualmente com o aumento do tempo, até o retorno da água ao normal. Este fenômeno é chamado efeito memória da água magnetizada (PANG; DENG, 2008).

Khoshravesh et al. (2011) em sua investigação sobre distribuição de umidade do solo por gotejamento localizado, demonstra que houve, em geral, menor diferença na umidade do solo entre os dias avaliados para o solo irrigado com água submetida ao campo magnético em relação ao sem tratamento, e redução na perda de água em profundidade, concluindo que a água tratada magneticamente pode ser usada para reduzir os intervalos de irrigação. O autor explica que no processo de magnetização, as moléculas de água que foram influenciadas pelas ligações de hidrogênio e pelas forças de Van der Waals foram liberadas para tornar a água mais coesa, o que facilitou a ligação das moléculas de água às partículas do solo e as moléculas de água também penetravam nos microespaços das partículas do solo, o que impedia que água se movesse para as camadas mais profundas e aumentando a umidade do solo.

O trabalho de Al-Ogaidi (2017) também chegou a resultados semelhantes de Khoshravesh et al. (2011), ao encontrar um aumento do raio umedecido na superfície e diminuição da profundidade umedecida para dois tipos de solos estudados (arenoso e argiloso), com perfis homogêneos, irrigados com água submetida ao tratamento magnético. Ainda sugerem o uso de água tratada magneticamente especialmente em solos com perfis homogêneos.

Generoso (2016), em seus estudos não observou diferenças significativas para o parâmetro pH da água proveniente de amostras tratadas com água tratada magneticamente e água sem tratamento. Porém encontrou diferenças significativas entre água tratada magneticamente e água sem tratamento para os resultados de condutividade elétrica para todas as amostras de água avaliadas (água deionizada, destilada, tratada convencionalmente (torneira) e mineral).

Ashrafi et al. (2014) avaliando o efeito do campo magnético na condutividade hidráulica saturada do solo utilizando o método do permeâmetro de carga constante e água potável, encontrou redução significativa em todos os tratamentos. A condutividade hidráulica saturada apresentou redução com o incremento da intensidade do campo magnético. De acordo com os autores, a maior redução foi observada para o tratamento que aplicou um campo magnético de 1600 Gauss de intensidade, sendo esta a maior intensidade aplicada, encontrando um valor 51% menor do que o tratamento de referência (água potável). O experimento teve duração de 35 dias, aplicando uma coluna de 2 cm de água.

3.3 Uso da Água Tratada Magneticamente na Agricultura

As possíveis vantagens proporcionadas pelo uso da água tratada magneticamente na produção agrícola são objetos de alguns estudos, como a de Ali

et al. (2014), que avaliam que o tratamento magnético da água abriu novos caminhos de pesquisa na agricultura, cita benefícios e vantagens como melhor qualidade da água (propriedades físico-químicas), necessidade menor no uso água na irrigação, maior rendimento e qualidade na colheita, e melhor taxa de germinação de sementes.

Maheshwari e Grewal (2009) em seus estudos que avaliavam a produtividade de algumas cultivares, a produtividade da água (massa de produto por massa de água usada) e possíveis alterações nas propriedades do solo, concluíram que os efeitos do tratamento magnético da água variaram com o tipo de planta e o tipo de água de irrigação utilizada. Observou-se aumento significativo no rendimento e na produtividade da água para ervilha torta e aipo em alguns casos. O autor também observou uma tendência na redução do pH do solo, aumento da condutividade elétrica do solo e do fosforo disponível para Aipo e Ervilha irrigados com água potável (água de torneira) tratada magneticamente.

Selim (2011) em estudo avaliando sementes de tomates magnetizadas e não magnetizadas, irrigados com água tratada magneticamente e água de torneira, submetidas a diferentes níveis de déficit hídricos, constatou que o tratamento da semente magnetizada irrigada com água tratada magneticamente obteve o melhor desempenho frente aos níveis de déficit hídricos aplicados. O estudo sugere utilizar água submetida ao tratamento magnético pra proteger dos efeitos de déficit hídrico.

Lopes et al. (2007) observaram aumentos significativos da altura de planta, fitomassa fresca e seca da parte aérea e do sistema radicular avaliados das culturas mamona (*Ricinus communis L.*) e pinhão manso (*Jatropha curcas L.*), quando utilizou-se água submetida ao tratamento magnético.

Putti et al. (2013) avaliando o desenvolvimento inicial de alface (*Lactuca sativa L*) irrigada com água tratada magneticamente, observaram um aumento

significativo para os parâmetros crescimento, biomassa seca e biomassa verde da raiz, assim como Lopes et al. (2007), e biomassa seca da parte aérea. Já os valores de número de folhas e biomassa verde da parte aérea não foram significativos. Contudo, mesmo existindo exemplos da real efetividade do efeito do magnetismo sobre a água, há muito ainda a entender sobre seus efeitos, como avalia Generoso (2016). Isso significa que, antes de recomendar a utilização de água tratada magneticamente aos agricultores, será fundamental compreender claramente seus mecanismos e processos, as condições em que funcionará e a extensão de sua eficácia em situações de campo (MAHESHWARI; GREWAL, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de Estudo

O experimento foi realizado no laboratório de solos do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento (DRS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

O solo utilizado nas análises foi um Latossolo Vermelho, com textura muito argilosa (78% de argila, 13% de silte e 9% de areia), proveniente das dependências da UFLA (21° 23,9'S 44° 57,9'O). Este solo coletado foi peneirado, seco e homogeneizado. A Tabela 1 apresenta a análise química do solo utilizado.

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo.

Parâmetro	Resultado	Parâmetro	Resultado
pH	5,50	SB (cmolc dm ⁻³)	0,88
K (mg dm ⁻³)	73,47	t (cmolc dm ⁻³)	1,38
P (mg dm ⁻³)	0,01	T (cmolc dm ⁻³)	5,08
Ca (cmolc dm ⁻³)	0,49	V (%)	17,29
Mg (cmolc dm ⁻³)	0,20	m (%)	36,23
Al (cmolc dm ⁻³)	0,50	M.O. ¹ (dag kg ⁻¹)	2,87
H+Al (cmolc dm ⁻³)	4,20	P-Rem (mg L ⁻¹)	10,80

¹Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N+ H₂SO₄ 10N

pH em água, KCl e CaCl₂ - Relação 1:2,5

P- K- Extrator Mehlich 1

Ca - Mg- Al- Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al- Extrator: SMP

SB= Soma de Bases Trocáveis

t - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

T - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V= Índice de Saturação de Bases

m= Índice de Saturação de Alumínio

P-rem: Fósforo Remanescente

Fonte: Laboratório de Análises de Solo - UFLA (2020).

4.2 Montagens das amostras

Foram avaliadas cinco amostras deformadas com solo seco, alocados em cilindros de PVC (75 mm de diâmetro e 83 mm de altura).

As amostras de solo foram preparadas para atingir massa específica em torno de 1 g cm^{-3} , com solo preenchendo todo o volume do cilindro. O valor médio da massa específica das amostras foi de $1,000 \text{ g cm}^{-3}$ ($\pm 0,001 \text{ g cm}^{-3}$). Este valor adotado para a massa específica da amostra está condizente com as informações de Reichardt (1990), que afirma que solos argilosos possuem uma amplitude de variação de 1,0 a $1,4 \text{ g cm}^{-3}$.

Para manter o solo no interior do cilindro durante os testes, foi utilizado um tecido sintético afixado com elástico na face inferior do cilindro (FIGURA 1). Adicionalmente, com o intuito de possibilitar a formação de uma lâmina de água acima da superfície do solo durante o teste, instalou-se outro cilindro, vedado com borracha.

Figura 1: Amostra, com tecido sintético afixado com elástico na face inferior do cilindro.



Fonte: do Autor (2020).

4.3 Determinação da Condutividade Hidráulica do Solo

A condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante (SARKAR; HALDAR, 2005). O permeâmetro

(FIGURA 2) utilizado consistiu de um suporte de madeira com um tubo de PVC (tubo alimentador) de 100 mm na sua parte superior, com altura ajustável (o que possibilita o ajuste do nível da coluna d'água sobre a amostra), por onde circula a água livremente, sendo o excesso eliminado por um cano na parte oposta a entrada de água. Em sua base superior, existem 20 encaixes para as amostras cilíndricas com solo, onde são colocadas as amostras, os quais são alimentados com água por sifões colocados no tubo alimentador e nas amostras.

Figura 2 - Permeâmetro de carga constante, com detalhe das amostras utilizadas na avaliação da condutividade hidráulica saturada do solo.



Fonte: do Autor (2020).

Para eliminar o efeito do escoamento preferencial na parede do cilindro, coletou-se apenas água que passa por um anel de PVC concêntrico (FIGURA 3),

com diâmetro de 50 mm, existente dentro do local de encaixe da amostra. O volume de água proveniente do escoamento preferencial foi eliminado por uma calha coletora posicionada abaixo da base do suporte de madeira (FIGURA 4).

Figura 3 - Detalhe do local de encaixe da amostra, com o anel interno, com o intuito da eliminação do escoamento preferencial.



Fonte: do Autor (2020).

Figura 4 - Calha coletora da água proveniente do escoamento preferencial das amostras, abaixo da base principal onde se encontram as amostras.



Fonte: do Autor (2020).

Inicialmente as cinco amostras foram submetidas à saturação duas vezes, sendo a primeira vez utilizando água normal, e a segunda vez utilizando água tratada magneticamente. Para o processo de saturação as amostras foram alocadas em bandejas com água (água normal, e posteriormente com água submetida ao campo magnético), promovendo o umedecimento da amostra pelo processo de capilaridade. Para a saturação das amostras com água tratada magneticamente foi mantido um fluxo constante de água no interior da bandeja durante 24 horas.

Considerou-se atingido o ponto relativo à saturação quando observou-se uma película contínua e brilhante na superfície superior da amostra de solo.

Para o tratamento magnético da água utilizou-se o magnetizador modelo Sylocimol Residencial da empresa Grupo Timol (2020), com capacidade de magnetizar 1 m³ de água por hora de exposição, e 3860 Gauss de força magnética. O magnetizador foi alocado no interior de uma caixa d'água, em cota mais elevada (FIGURA 5), possibilitando o fornecimento da água submetida ao tratamento magnético durante todo o experimento. Tomou-se o cuidado para que o fluxo de água derivado da caixa d'água fosse sempre inferior a capacidade de magnetização do equipamento. Houve fornecimento de água para a caixa d'água para repor a água utilizada.

Figura 5 - Detalhe da caixa d'água utilizada para acondicionar o magnetizador.



Fonte: do Autor (2020).

Posteriormente ao preparo das amostras, estas foram colocadas no permeâmetro de carga, com a manutenção constante do nível da água nos cilindros reservatório das amostras saturadas mediante a utilização de sifões (FIGURA 6). Realizou se após uma hora de espera, medições consecutivas do volume drenado das amostras, em tempos fixos, para a aferição da variabilidade inicial, até que o fluxo drenado constante fosse verificado. A partir do momento que o fluxo constante foi alcançado, foram registradas as três últimas leituras iguais e

consecutivas de cada amostra. O valor do volume drenado utilizado na Equação 1 é resultante da média aritmética destas três medidas.

Figura 6 - Detalhe dos sifões, utilizados para manter o nível d'água constante nos cilindros, e com o termômetro utilizado ao fundo.



Fonte: do Autor (2020).

O volume drenado de cada amostra de solos foi coletado em provetas, sendo pesadas em balança de precisão. Assumindo-se massa específica da água equivalente à 1 g cm^{-3} , obtém-se o correspondente ao volume. O tempo foi registrado com cronômetro de precisão centesimal. Foi medida a altura da coluna de água na superfície do solo com a ajuda de uma régua de medição. A temperatura da água foi anotada no momento da medição para cada amostra.

O cálculo da condutividade hidráulica foi realizado utilizando-se a Equação 1 (SARKAR; HALDAR, 2005):

$$K = \frac{Q \times L}{A \times t \times (h + L)} \quad (1)$$

Em que:

K = Condutividade hidráulica do solo (cm h^{-1});

Q = Volume de água drenado da amostra no tempo t (cm^3);

h = Altura da carga hidráulica, constante durante o ensaio (cm);

A = Área da seção do corpo de prova (cm^2);

L = Altura do corpo de prova (cm);

t = Tempo para o volume drenado (h).

4.4 Tratamento dos Dados

A temperatura é uma das variáveis que interferem na condutividade hidráulica do solo, devendo-se corrigir os valores estimados para a temperatura de 20°C (CAPUTO, 1996) (Equação 2):

$$K_{20} = K_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} = K_T \times C_v \quad (2)$$

Em que:

K_{20} = condutividade hidráulica do solo a 20°C;

K_T = condutividade hidráulica do solo para a temperatura de ensaio;

η_{20} = é a viscosidade da água a 20°C;

η_T = é a viscosidade da água na temperatura do ensaio;

C_v = relação entre as viscosidades.

Estimou-se a viscosidade da água em função da temperatura pela Equação 3, sugerida por Helmholtz (CAPUTO, 1996):

$$\eta = 0,0178 \times \frac{1}{1 + 0,033T + 0,00022T^2} \quad (3)$$

T = temperatura da água durante o ensaio (°C).

Para a análise estatística realizada, foram utilizados estes dados padronizados a temperatura de 20°C, para melhor comparação dos resultados obtidos em temperaturas diferentes da água.

4.5 Procedimentos Estatísticos

Para testar a normalidade dos dados foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk, para os valores de condutividade hidráulica sob o fator magnetização, assumindo-se as hipóteses de que $p < 0,05$ corresponde à distribuição não normal dos dados e $p > 0,05$ corresponde à distribuição normal dos dados.

Considerando a dependência dos dois grupos analisados, água normal e água tratada magneticamente, e que guardam relação de dependência entre si, isso devido às medidas repetidas, foi utilizado o teste T-Pareado (Teste T para grupos dependentes) para a análise. O nível de significância adotado foi de 5 %. As diferenças são consideradas significativas quando $p < 0,05$ para este teste.

Utilizou-se o programa STATISTICA para auxiliar nas análises (STATSOFT INC, [s. d.]).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Resultados

Os valores de altura de coluna d'água medidos foram iguais para as mesmas amostras nos diferentes tratamentos (água normal e água tratada magneticamente). Os valores das amostras A1, A2, A3, A4 e A5 foram 7,1, 7,0, 7,0, 7,0, e 7,3 cm respectivamente.

A Tabela 2 e a Tabela 3 apresentam as medições registradas das três últimas leituras do volume de água drenada constantes e consecutivas de cada amostra e o tempo decorrente da leitura.

Tabela 2 - Volume drenado coletado das amostras tratadas com água normal e o tempo decorrente da coleta, apresentado na ordem de medição.

Amostras	Volume coletado (cm³)	Tempo (s)
A1 ¹	2,20	29,63
A1 ²	2,26	29,64
A1 ³	2,26	29,64
A2 ¹	8,24	30,14
A2 ²	8,43	30,16
A2 ³	8,43	30,24
A3 ¹	7,10	30,22
A3 ²	7,12	30,28
A3 ³	7,00	30,22
A4 ¹	6,01	30,15
A4 ²	5,98	30,25
A4 ³	5,96	30,22
A5 ¹	7,00	30,32
A5 ²	7,03	30,22
A5 ³	6,97	30,25

¹ Antepenúltima medição; ² Penúltima medição; ³ Última medição

Fonte: do Autor (2020)

Tabela 3 - Volume drenado coletado das amostras tratadas com água tratada magneticamente, e o tempo decorrente da coleta, apresentado na ordem de medição.

Amostras	Volume coletado (cm³)	Tempo (s)
A1 mag ¹	3,88	30,53
A1 mag ²	3,86	30,41
A1 mag ³	3,88	30,47
A2 mag ¹	5,92	30,34
A2 mag ²	5,88	30,37
A2 mag ³	5,88	30,69
A3 mag ¹	6,88	30,25
A3 mag ²	6,91	30,22
A3 mag ³	6,93	30,19
A4 mag ¹	3,35	31,72
A4 mag ²	3,33	31,79
A4 mag ³	3,34	31,72
A5 mag ¹	6,13	30,28
A5 mag ²	6,11	30,35
A5 mag ³	6,11	30,41

¹ Antepenúltima medição; ² Penúltima medição; ³ Última medição

Fonte: do Autor (2020)

A Tabela 4 apresenta os valores medidos de condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) para os diferentes tratamentos de tipo de água (água normal, e água tratada magneticamente) e com a temperatura da água apresentando diferenças. Estes valores são maiores do que os valores da Tabela 5, devido à diferença de temperatura da água utilizada no experimento. Logo, K_o da água

normal a 27°C ($\bar{X}=6,5627 \text{ cm h}^{-1}$) e da água tratada magneticamente a 24°C ($\bar{X}=5,5290 \text{ cm h}^{-1}$), apresentaram médias maiores em relação aos valores padronizados a 20 °C, devido a menor viscosidade da água decorrente de maiores temperaturas (CAPUTO, 1996), sendo importante a padronização dos valores medidos, para a mesma temperatura, para uma análise justa.

Tabela 4 - Valores de Condutividade Hidráulica Saturada medidos, sem padronização da temperatura.

Tratamento	Amostra	Condutividade Hidráulica (cm h⁻¹)	Temperatura da água (°C)
Água Normal	A1	2,4378	27
	A2	8,9699	27
	A3	7,5792	27
	A4	6,4516	27
	A5	7,3749	27
Água Tratada Magneticamente	A1	4,1092	24
	A2	6,2633	24
	A3	7,4114	24
	A4	3,4306	24
	A5	6,4303	24

Fonte: do Autor (2020).

A Tabela 5 apresenta os valores ajustados da condutividade hidráulica saturada para a temperatura de 20°C, sendo esses dados utilizados na análise estatística.

Tabela 5 - Valores de Condutividade Hidráulica Saturada, ajustados para a temperatura de 20 °C, para melhor efeito de comparação e utilizados nas análise estatística.

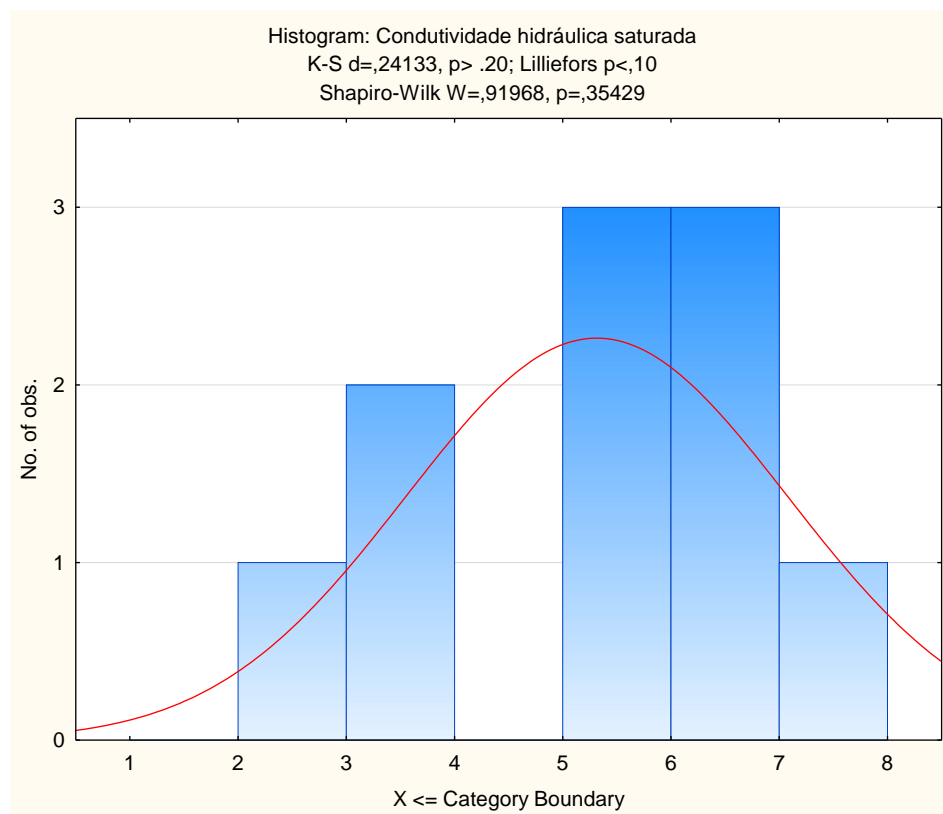
Tratamento	Amostra	Condutividade Hidráulica
		(cm h ⁻¹)
Água Normal	A1	2,0773
	A2	7,6433
	A3	6,4583
	A4	5,4975
	A5	6,2842
Água Tratada Magneticamente	A1	3,7436
	A2	5,7060
	A3	6,7520
	A4	3,1253
	A5	5,8582

Fonte: do Autor (2020).

5.2 Análise dos dados

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostrou que as distribuições dos valores de condutividade hidráulica saturada medidos obedecem a parâmetros normais de distribuição. O teste apresentou um valor de $p=0,35429$ (FIGURA 7). Valores de p maior do que 0,05, no teste de Shapiro-Wilk, indicam que os dados possuem distribuição normal.

Figura 7 - Histograma do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, demonstrando a distribuição normal dos dados.

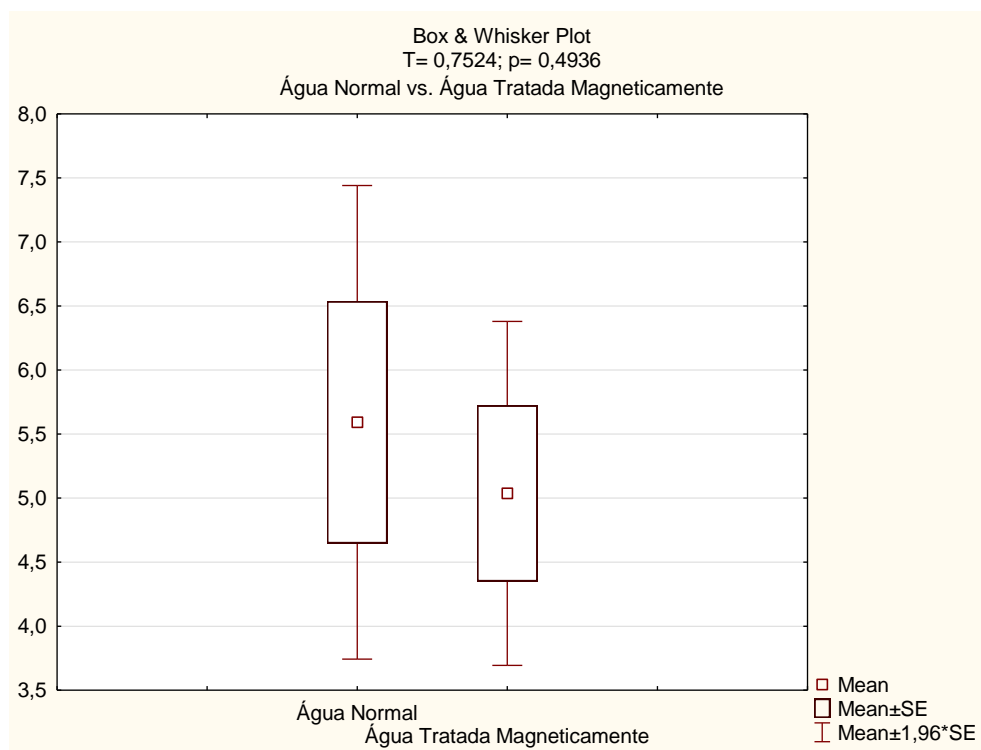


Fonte: Do Autor (2020)

O Teste-T pareado mostrou que o fator “magnetização” não evidenciou diferenças significativas para a condutividade hidráulica saturada do solo, com um $p=0,4936$ (FIGURA 8).

Apesar das diferenças não significativas e considerando o n amostral baixo, o box-plot (FIGURA 8) mostrou que a condutividade hidráulica saturada foi menor com água tratada magneticamente ($\bar{X}=5,0370$ cm h⁻¹; SD= ± 1,5321) quando comparada à água normal ($\bar{X}=5,5921$ cm h⁻¹; SD= ± 2,1094). O experimento apresentou um coeficiente de variação de 33,16 %.

Figura 8 - Box-plot com o teste-T pareado, comparando as médias da Condutividade Hidráulica Saturada de água tratada magneticamente e água normal.



Fonte: Do autor (2020).

5.3 Discussão

Os valores médios de condutividade hidráulica encontrados (5,0370 cm h⁻¹ para água tratada magneticamente, e 5,5921 cm h⁻¹ para água normal), ficaram um pouco acima dos valores classificados como muito alto por Reichardt (1990) e bem abaixo do valor de 12,96cm h⁻¹ de K_o encontrado por Tavares-Filho et al. (2006) no seu trabalho em condição de campo após uma escarificação, com o Latossolo vermelho utilizado possuindo uma densidade de 0,99g cm⁻³.

Embora não tenha sido significativo a diferença entre as médias de condutividade hidráulica saturada medida, foi observado um menor K_o para o solo com o tratamento água tratada magneticamente. Ghauri e Ansari (2006) e Toledo (2008) encontraram uma maior viscosidade da água sob efeito de um campo magnético em seus trabalhos, logo se esperava que neste trabalho K_o apresentasse diferenças estatísticas significativas entre as duas médias, a da água normal e água tratada magneticamente.

A intensidade do imã utilizado tem influência direta no efeito magnético causado na água de acordo com Pang e Deng (2008). Ashrafi et al. (2014) em seu trabalho avaliando o efeito e a intensidade de um campo magnético na condutividade hidráulica saturada do solo, encontrou diferenças significativas em seus resultados, utilizando imãs com campos magnéticos com intensidade inferior comparado ao imã utilizado neste trabalho.

O experimento apresentou um razoável coeficiente de variação (33,16%), mesmo utilizando amostras remoldadas de solo em cilindros e utilizando as unidades amostrais em mais de uma medição, na busca de menor variabilidade da condutividade hidráulica saturada entre as amostras medidas, não se atingiu melhores coeficiente de variação desejado, como os obtidos por Lobato (1998),

provavelmente devido a modo de execução do método empregado na confecção das amostras neste trabalho.

Ocorre também que uma grande variedade de fatores inerentes ao método de análise em laboratório afeta as medições da K_o , ocorrendo geralmente uma grande variação nos dados obtidos (MESQUITA, 2001).

Seria interessante futuros estudos sobre como a condutividade hidráulica saturada se comporta em diferentes solos e diferentes constituições químicas e físicas para melhor compreensão de como o magnetismo e seus efeitos causados na água relacionam-se com o solo. Também a busca de um método mais claro e adequado para a confecção de amostras de solo remoldado que busquem diminuir a variação da condutividade hidráulica saturada entre as amostras de modo que justifique a utilização deste tipo de amostra ao invés de amostra de campo.

6 CONCLUSÃO

Foi concluído que a utilização de água tratada magneticamente não causou diferença significativa na condutividade hidráulica saturada de um solo deformado e remoldado em cilindros de PVC, quando comparado com a condutividade hidráulica saturada utilizando água normal (água potável), com o nível de significância adotado de 5%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-OGAIDI, A. A. M. *et al.* The influence of magnetized water on soil water dynamics under drip irrigation systems. **Agricultural Water Management**, Selangor Darul Ehsan, v. 180, p. 70–77, 2017.

ALI, Y.; SAMANEH, R.; KAVAKEBIAN, F. Applications of Magnetic Water Technology in Farming and Agriculture Development: A Review of Recent Advances. **Current World Environment**, Iran, v. 9, n. 3, p. 695–703, 2014. Available at: <https://doi.org/10.12944/cwe.9.3.18>. Acesso em: 10 jun. 2020.

ASHRAFI, S. F.; NASERI, A. A.; BEHZAD, M. Investigation the Effect of Magnetic Water on the Soil Saturated Hydraulic Conductivity. **Irrigation Sciences and Engineering**, Ahwaz, v. 36, n. 4, p. 19–28, 2014.

BERNARDES, R. S. **Condutividade hidráulica de três solos da região norte fluminense**. 80 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2005.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. v. 1

GENEROSO, T. N. **Efeito da magnetização nas características da água e nos parâmetros de transporte de fósforo no solo**. 57 f. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

GHAURI, S. A.; ANSARI, M. S. Increase of water viscosity under the influence of magnetic field. **Journal of Applied Physics**, Islamabad, v. 100, n. 6, p. 066101, 2006. Available at: <https://doi.org/10.1063/1.2347702>. Acesso em: 10 jun. 2020.

GRUPO TIMOL. **O Sylocimol**. Uberlândia, 2020. Available at: <http://www.timolgroup.com.br/content.asp?contentid=284>. Acesso em: 6 jun. 2020.

HIGASHITANI, K. *et al.* Effects of a Magnetic Field on the Formation of CaCO₃ Particles. **Journal of Colloid and Interface Science**, Japão, v. 156, n. 1, p. 90–95, 1993. Available at: <https://doi.org/10.1006/jcis.1993.1085>. Acesso em: 15 jun. 2020.

KHOSHRAVESH, M. *et al.* Effects of magnetized water on the distribution pattern of soil water with respect to time in trickle irrigation. **Soil Use and Management**, Isfahan, v. 27, n. 4, p. 515–522, 2011. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00358.x>. Acesso em: 18 jun. 2020.

LOBATO, E. J. V.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Condutividade hidráulica de amostras remoldadas de um latossolo roxo distrófico tratado com água/vinhaça. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, n. 22, p. 181–188, 1998.

LOPES, G. N. *et al.* Irrigação Magnética. **Revista Agroambiente (on-line)**, Roraima, v. 1, n. 1, p. 1–8, 2007.

MAHESHWARI, B. L.; GREWAL, H. S. Magnetic treatment of irrigation water: Its effects on vegetable crop yield and water productivity. **Agricultural Water Management**, Australia, v. 96, n. 8, p. 1229–1236, 2009. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.03.016>

MESQUITA, M. G. B. F. **Caracterização estatística da condutividade hidráulica saturada do solo**. 121 f. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

PANG, X.; DENG, B. Investigation of changes in properties of water under the action of a magnetic field. **Science in China Series G: Physics, Mechanics and Astronomy**, Chengdu, v. 51, n. 11, p. 1621–1632, 2008. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11433-008-0182-7>. Acesso em: 8 jun. 2020.

PENA, R. F. A. **Economia de água na agricultura**. Brasil, 2020. Available at: <https://mundoeducacao.uol.com.br/geografia/economia-agua-na-agricultura.htm#:~:text=Uma das técnicas de economia,desperdício e poupando as reservas.&text=Outro método de irrigação que economiza água é a microaspersão>. Acesso em: 22 dez. 2020.

PUTTI, F. F. *et al.* Desenvolvimento inicial da alface (*Lactuca sativa* L.) irrigada com água magnetizada. **Cultivando o Saber**, Cascavel, v. 6, n. 3, p. 83–90, 2013.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracaba: Manole LTDA, 1990. 188 p.

SARKAR, D.; HALDAR, A. **Physical and Chemical Methods in Soil Analysis : Fundamental Concepts of Analytical Chemistry and Instrumental Techniques**. 1. ed. New Delhi: New Age International, 2005.

SELIM, A. F. H.; EL-NADY, M. F. Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. **Acta Astronautica**, Egito, v. 69, n. 7–8, p. 387–396, 2011.

STATSOFT INC. **STATISTICA**. Versão 10.0. Tulsa: StatSoft WEB, [s. d.]. Software para análise estatística. Available at: www.statsoft.com

TAVARES-FILHO, J. *et al.* Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Ciencia Rural**, Sata Maria, v. 36, n. 3, p. 996–999, 2006.

TOLEDO, E. J. L.; RAMALHO, T. C.; MAGRIOTIS, Z. M. Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water: Insights from experimental and theoretical models. **Journal of Molecular Structure**, Lavras, v. 888, n. 1–3, p. 409–415, 2008.
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2008.01.010>. Acesso em: 28 jun. 2020.