



Mecanismo de difusão-osmose em sistemas vegetais sob influências de campos magnéticos estacionários de neodímio

Nathan Rodrigues Serpa SOUZA^{1,2} , Caio Castro RODRIGUES^{1,3} , Otavio Andre CHASE¹ ,
Katiane Pereira da SILVA^{1*} , Antonio Thiago Madeira BEIRÃO¹ 

¹Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, Brasil.

²Centro de Instrução Almirante Braz de Aguiar – EFOMM, Belém, PA, Brasil.

³Instituto Tecnológico Vale, Belém, PA, Brasil.

*Email: katiane.silva@ufra.edu.br

Submetido em 31/07/2023; Aceito em 20/09/2023; Publicado em 03/10/2023.

RESUMO: Para explicar os mecanismos operantes das influências eletromagnéticas sobre o desenvolvimento vegetal, o presente artigo tem por objetivo investigar as influências e mecanismos atuantes neste fenômeno, a fim de descrever o processo difusivo com e sem presença de campo magnético sobre as amostras. A metodologia utilizada é de cunho quali-quantitativo, definida por experimentação principal que avaliará o mecanismo de transporte de água e nutrientes, à saber: observação da absorção de água por sementes de 3 espécies, alface, tomate e melão, divididas em dois grupos, controle e experimental. Sendo que este último estava sob a influência de ímãs permanentes de Neodímio em barra, de indução magnética, realizando coletas de Sólidos Totais Dissolvidos, a partir de sensores TDS Meter V1.0, compatíveis com o software Arduino, em intervalos de tempo de 2 h. Os resultados obtidos corroboram com o que é descrito na literatura, demonstrando a diminuição intensificada da quantidade de água e também solutos nos grupos experimentais, em comparação aos controles, de modo que as sementes sob influências magnéticas absorveram toda a água e nutrientes em menor tempo do que as mesmas em condições naturais, o que é plausível em relação a intensificação no metabolismo vegetal oriundo das influências eletromagnéticas, e a identificação de um possível mecanismo sinérgico de Difusão-Osmose.

Palavras-chave: eletromagnetismo; termodinâmica; metabolismo vegetal; canais iônicos.

Diffusion-osmosis mechanism in plant systems under influences of neodymium stationary magnetic fields

ABSTRACT: To explain the operating mechanisms of electromagnetic influences on plant development and the facts found in the literature, this article aims to investigate the influences and mechanisms acting on the specific mechanisms, to describe the diffusive process with and without the presence of magnetic field on the samples. The methodology used is a quality-quantitative methodology, defined by main experimentation that will evaluate the water and nutrient transport mechanism: observation of water absorption by seeds of 3 species, lettuce, tomato and melon, divided into two groups, control and experimental. The latter is under the influence of permanent bar magnets of Neodymium, magnetic induction, performing collections of Total Dissolved Solids (TDS), from TDS Meter V1.0 sensors, compatible with Arduino software, in time intervals of 2 hours. The results obtained corroborate what is described in the literature, demonstrating an intensified decrease in the amount of water and solutes in the experimental groups, compared to the controls, so that the seeds under magnetic influences absorbed all the water and nutrients in a shorter time than the same under natural conditions, which is plausible in relation to the intensification of plant metabolism resulting from electromagnetic influences, and the identification of a possible synergistic mechanism of Diffusion-Osmosis.

Keywords: electromagnetism; thermodynamics; plant metabolism; ionic channels.

1. INTRODUÇÃO

Em meados do século XVIII, com os primórdios dos estudos acerca das influências elétricas em seres vivos, tanto com animais realizadas pelo médico italiano Luigi Galvani (1737-1798), quanto pelo físico experimental francês, Jean Antoinet-Nollet (1700-1770), em espécies vegetais, observações foram constatadas sobre modificações nas propriedades de tais espécimes, gerando questionamentos na comunidade científica (NOLLET, 1746; MOURÃO, 2021). Contudo, devido o desconhecimento de teorias e possíveis explicações para aquele fenômeno, tais observações e

documentações foram deixadas de lado com o passar dos anos, pois a cosmovisão vigente julgou em primeiro momento os experimentos como um tipo de “misticismo”.

Na transição entre os séculos XIX e XX, ressurgiram investigações interessantes que relacionavam a Biologia e a Física, no que diz respeito sobretudo ao eletromagnetismo, área conhecida como Biofísica, que destinou seus primeiros estudos sobre axiomas de lulas gigantes, transmissão de sinapses, canais iônicos (CI), trocas gasosas, sistema cardiovascular entre outros (BEZANILLA et al., 1994; GARCIA, 2015). A partir de avanços na fisiologia vegetal, foi

possível perceber o maquinário extremamente complexo que os sistemas biológicos vegetais (SBV) possuem, como: suas membranas celulares apresentando diversos canais tanto de íons quanto de água que regulam a entrada e saída dos componentes essenciais para os vegetais (TAIZ et al., 2016; BUZINELLO, 2018).

Nesse mesmo período desenvolvia-se na Física a área do Eletromagnetismo, a partir dos trabalhos de Carl F. Gauss, Michael Faraday e James C. Maxwell, demonstrando como as influências eletromagnéticas se comportam e atuam em corpos carregados como cátions e ânions, podendo ser oriundos de ímãs permanentes que produzem campos magnéticos estacionários (SULAIMANA et al., 2021; WALKER et al., 2016). O minério de Neodímio tem sido uma excelente opção para aplicação nas áreas de engenharia e física, no que diz respeito a geração de campos magnéticos, devido ser conhecido como “superimã”. Quando em formato de barra, estes geram uma grade de magnetização axial idênticas a ímãs de outros materiais ferromagnéticos (YUSUF et al., 2016; ZIGAIB et al., 2020).

Estudos nos últimos 40 anos acerca das influências do eletromagnetismo em SBV constataram a continuidade fenomenológica observada cerca de 300 anos atrás, modificações nas propriedades dos mesmos, como maiores taxas de germinação, crescimento, consistência, caráter nutricional e hídrico alterados nos frutos, menores perdas de água nos solos sob tais influências (ABOU EL-YAZIED et al., 2011; PINTO et al., 2019).

O presente estudo teve por objetivo, analisar quais as condições nutricionais e hídricas em sistemas compostos por placa de *Petri*, solução de água destilada e sementes de três espécies distintas alface (*Lactuca sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) e melão (*Cucumis melo*), se comportam e modificam ao longo das observações realizadas, a fim de identificar algum padrão fenomenológico e um possível mecanismo a partir da experimentação utilizando sistemas embarcados, via sensores de sólidos dissolvidos totais (SDT) compatíveis com o *software* Arduino.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Aparato experimental e modelagens matemáticas

A metodologia de cunho quali-quantitativo, consistiu de três etapas principais: revisão bibliográfica, proposição da hipótese termodinâmica e experimentação. O aparato experimental é uma atualização daquilo que foi proposto por Fu (2012) e Conceição et al., (2012). A divisão entre grupo controle e experimental, sendo o primeiro composto por placa de *Petri*, solução aquosa e sementes, e o último, com o incremento de ímãs permanentes de Neodímio em sua base é mostrada na (Figura 1).

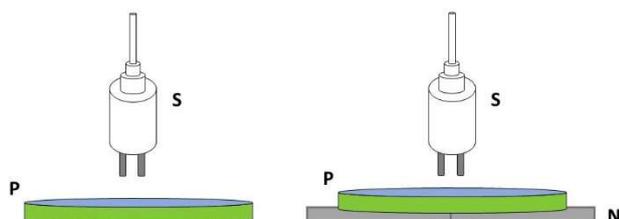


Figura 1. Diagrama esquemático do aparato experimental: (s) sensor TDS meter V1.0; (p) placa de *Petri* com solução aquosa e sementes; (N) Ímãs permanentes de Neodímio – 0,133 T.

Figure 1. Schematic diagram of the experimental apparatus: (s) TDS meter V1.0 sensor; (p) *Petri* dish with aqueous solution and seeds; (N) Permanent Neodymium magnets – 0.133 T.

A utilização do Sensor TDS meter V1.0, denominados sistemas embarcados segundo Santana et al., (2019), é oriunda da necessidade de provar a hipótese central do presente trabalho, à saber: As influências eletromagnéticas com ímãs de Neodímio atuam diretamente no transporte de íons dissolvidos em solução (Cálcio, Fósforo, Potássio, Sódio e outros) para dentro dos sistemas vegetais por difusão, e indiretamente no transporte de água para dentro destes por um mecanismo sinérgico de difusão-osmose, devido as modificações nos status de potenciais termodinâmicos dos subsistemas (solução de água destilada em placa de *Petri* e sementes) (DZIADEK et al., 2019).

As coletas foram realizadas em intervalos de tempo de 2 h, desde o início da experimentação isotérmica, a 30 °C e a pressão 1 atm, sendo o sistema isolado de qualquer interferência ambiente, até o seu findar com a total absorção de água pelas sementes de cada grupo observado. Algumas equações foram utilizadas para o tratamento dos dados e posterior construção de gráficos para analisar os resultados, sendo estas: concentração de íons dissolvidos em água destilada com unidade PPM (partes por milhão) médio, taxa de absorção de água (TABS), quantidade instantânea de água (Q) e solutos (S), apresentados nas (Equação 1), (Equação 2), (Equação 3) e (Equação 4), respectivamente.

$$\langle \text{PPM} \rangle = \frac{\sum \text{PPM}}{N_{MD}} \quad (01)$$

em que: PPM= valor medido de PPM pelos sensores; NDM = número de medições realizadas.

$$T_{ABS} = \frac{Q_T}{\Delta t_{EXP}} \quad (02)$$

em que: TABS= taxa de absorção de água; QT = Quantidade total de água no aparato em mL; $\Delta T(EXP)$ = tempo de experimentação.

$$Q(t) = Q_0 - T_{ABS} \cdot t \quad (03)$$

em que: Q0 = quantidade inicial de água no aparato; t = tempo no instante.

$$S(t) = \langle \text{PPM} \rangle \cdot Q(t) \quad (04)$$

em que: $\langle \text{PPM} \rangle$ = PPM Médio por experimentação; Q(t) = quantidade em determinado instante de água no aparato.

As espécies escolhidas para observação foram alface, tomate e melão, de modo que se utilizamos quantidades iguais de sementes para cada grupo (12, 8 e 8 unidades, respectivamente), todas a 5 mL de água destilada. O tempo de experimento para a espécie alface foi: (grupo controle (CT) = 24 h / grupo experimental (EXP) = 22 h), para o tomate (CT = 26 h / EXP = 24 h) e melão (CT = 26 h / EXP = 22 h). Sendo o grupo experimental com a presença de um conjunto de ímãs permanentes de Neodímio (5 cm x 1 cm x 0,1 cm), com magnetização 0,133 Tesla, conectados em sequência, colocados na base das placas de *Petri*.

2.2. Embasamento teórico do aparato experimental

A água potável presente nas placas de *Petri* (sem nenhum tipo de auxílio como papel germinador), contém íons dissolvidos, nutrientes presentes na água destilada, e estes

mesmos movimentam-se de maneira aleatória no fluido, descrevendo aquilo que é denominado por “Movimento Browniano” (ZAGULA et al., 2017; SANTOS, 2011). Com este mesmo aparato sob influência de campo magnético, tais partículas carregadas estarão sujeitas a forças magnéticas variável apresentada na (Figura 2). Devido as mudanças de trajetória (em que: $\theta =$ ângulo entre o vetor velocidade da partícula carregada e o vetor campo magnético) que partículas em “Random Walk” descrevem ($\theta_1 \neq \theta_2 \neq \theta_3 \neq \theta_4 \neq \theta_5 \rightarrow \vec{F}_{M1} \neq \vec{F}_{M2} \neq \vec{F}_{M3} \neq \vec{F}_{M4} \neq \vec{F}_{M5}$).

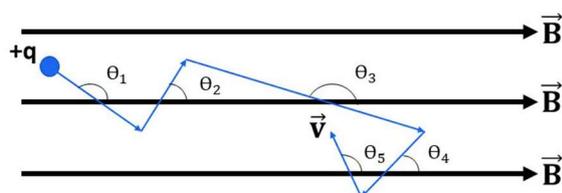


Figura 2. Diagrama movimento Browniano da carga elétrica (+q) em campo magnético uniforme. Nota: $\theta =$ theta; $F_M =$ força magnética.

Figure 2. Brownian motion diagram of electric charge (+q) in a uniform magnetic field. Nota: $\theta =$ theta; $F_M =$ magnetic force.

Tal interpretação fenomenológica desse caso, seria possível com o estudo de modelagem matemática a partir da equação de Langevin (veja Equação 5), com o incremento no termo de forças aleatórias para além das diversas colisões de moléculas de H_2O (\vec{F}_C), por uma força magnética aleatória (\vec{F}_M), (SALINAS, 2005).

$$m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \gamma \frac{d\vec{r}}{dt} + \sum \vec{F}_{ALT} \cdot (t) \quad (05)$$

em que: $m =$ massa; $d^2r/dt^2 =$ aceleração; $Y =$ constante da Lei de Stokes; $\sum \vec{F}_{ALT} =$ somatório de forças aleatórias.

3. RESULTADOS

Através do uso dos sensores de sólidos dissolvidos totais, e as modelagens matemáticas, obtivemos os seguintes resultados observados na (Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3) respectivamente para alface, tomate e melão para quantidade de água e solutos em cada grupo controle variando entre 5 – 0,2 mL e experimental entre 5 – 0,4 mL.

A seguir serão expostos os gráficos de quantidade de soluto versus tempo, e quantidade de água versus tempo para a espécie alface, respectivamente, Figura 3 e Figura 4.

Os dados das Figura 3 e Figura 4, mostram que tanto a quantidade de água, quanto para a quantidade de soluto presentes nos grupos controles e experimentais para a espécie Alface, reduziram em menos tempo de experimentação nos grupos experimentais (22 horas), com as influências magnéticas, em relação aos grupos controles cujo o tempo foi de 24 horas, em condições naturais.

Na Tabela 2, apresentamos os dados coletados e tratados para a espécie de tomate. A seguir serão apresentados os gráficos de quantidade de água versus tempo e quantidade de soluto versus tempo para a espécie tomate, respectivamente, nas Figura 5 e Figura 6. Tanto a quantidade de água, quanto para a quantidade de soluto nos grupos controles e experimentais para a espécie tomate, reduziram em menos tempo nos grupos experimentais (24 h), com as influências

magnéticas, do que nos grupos controles (26 h), em condições naturais.

Tabela 1. Quantidade de água (mL) e solutos (μg – micrograma), para grupos controles e experimentais para o Alface.

Table 1. Amount of water (mL) and solutes (μg – microgram), for control and experimental groups for Lettuce.

Alface (<i>L. sativa</i>)			
Q (CT)	Q(EXP)	ST(CT)	ST(EXP)
5 mL	5 mL	225 μg	225 μg
4,58 mL	4,54 mL	206 μg	204 μg
4,16 mL	4,08 mL	187 μg	183 μg
3,74 mL	3,62 mL	168 μg	162 μg
3,32 mL	3,16 mL	149 μg	142 μg
2,9 mL	2,7 mL	130 μg	121 μg
2,48 mL	2,24 mL	111 μg	100 μg
2,06 mL	1,78 mL	92 μg	80 μg
1,64 mL	1,32 mL	73 μg	59 μg
1,22 mL	0,86 mL	54 μg	38 μg
0,8 mL	0,4 mL	36 μg	18 μg
0,38 mL	0	17 μg	0
0	--	0	--

Q (CT) Quantidade de água grupo controle; Q(EXP) Quantidade de água grupo Experimental; ST(CT) soluto grupo controle; ST(EXP) soluto grupo experimental.

Q (CT) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water experimental group; ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

Tabela 2. Quantidade de água (mL) e solutos (μg – micrograma), para grupos controles e experimentais para o Tomate.

Table 2. Amount of water (mL) and solutes (μg – microgram), for control and experimental groups for Tomato.

Tomate (<i>S. lycopersicum</i>)			
Q (CT)	Q(EXP)	ST(CT)	ST(EXP)
5 mL	5 mL	850 μg	850 μg
4,6 mL	4,56 mL	782 μg	775 μg
4,2 mL	4,12 mL	714 μg	700 μg
3,8 mL	3,68 mL	646 μg	625 μg
3,4 mL	3,24 mL	578 μg	550 μg
3 mL	2,8 mL	510 μg	476 μg
2,6 mL	2,36 mL	442 μg	401 μg
2,2 mL	1,92 mL	374 μg	326 μg
1,8 mL	1,48 mL	306 μg	251 μg
1,4 mL	1,04 mL	238 μg	176 μg
1 mL	0,6 mL	170 μg	102 μg
0,6 mL	0,16 mL	102 μg	27 μg
0,2 mL	0	34 μg	0

Q(CT) Quantidade de água grupo controle; Q(EXP) Quantidade de água grupo Experimental; ST(CT) soluto grupo controle; ST(EXP) soluto grupo experimental.

Q (CT) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water experimental group; ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

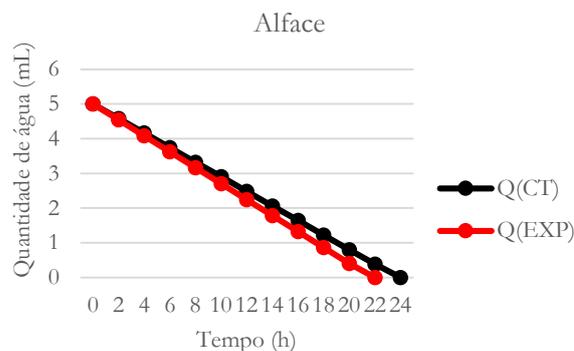


Figura 3. Quantidade de água (mL) versus tempo (h) para espécie alface. Nota: Q(CT) Quantidade de água grupo controle; Q(EXP) Quantidade de água grupo Experimental.

Figure 3. Amount of water (mL) versus time (h) for lettuce species. Note: Q(CT) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water experimental group.

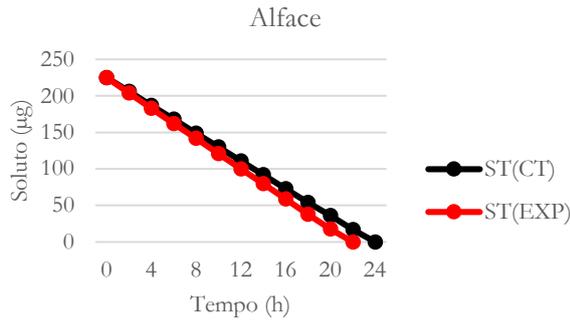


Figura 4. Solute (µg) versus tempo (h) para espécie alface. Nota: ST(CT) soluto grupo controle; ST(EXP) soluto grupo experimental. Figure 4. Solute (µg) versus time (h) for lettuce species. Note: ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

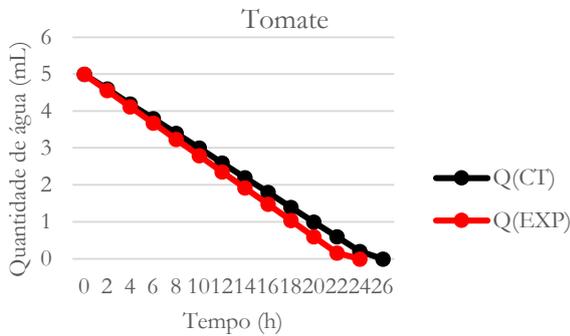


Figura 5. Quantidade de água (mL) versus tempo (h) para espécie tomate. Nota: Q(CT) Quantidade de água grupo controle; Q(EXP) Quantidade de água grupo experimental. Figure 5. Amount of water (mL) versus time (h) for tomato species. Note: Q (CT) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water in the experimental group.

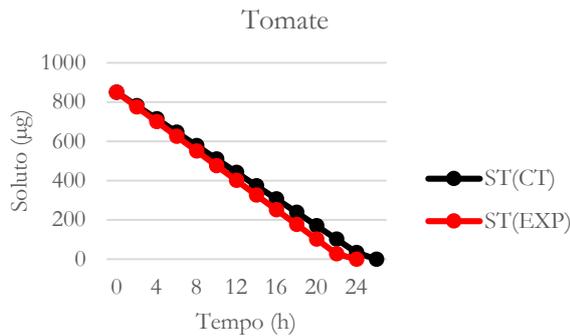


Figura 6. Solute (µg) versus tempo (h) para espécie tomate. Nota: ST(CT) soluto grupo controle; ST(EXP) soluto grupo experimental. Figure 6. Solute (µg) versus time (h) for tomato species. Note: ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

Na Tabela 3 apresentamos os dados da quantidade de água e soluto para espécie melão, grupos controles e experimentais. Com os dados apresentados na Tabela 3, plotamos os gráficos de quantidade de água versus tempo e quantidade de soluto versus tempo apresentados nas Figura 7 e Figura 8, respectivamente, para a espécie melão.

Portanto, tanto a quantidade de água, quanto para a quantidade de soluto presentes nos grupos controles e experimentais para a espécie *C. melo*, reduziram em menos tempo nos grupos experimentais (22 horas), comparado aos

dos grupos controles (26 horas) sob as influências magnéticas em condições naturais.

Tabela 3. Quantidade de água (mL) e solutos (µg -micrograma), para grupos controles e experimentais para o Melão. Fonte: autores, 2023. Table 3. Amount of water (mL) and solutes (µg – microgram), for control and experimental groups for Melon. Source: authors, 2023.

Melão (<i>C. melo</i>)			
Q (CT)	Q(EXP)	ST(CT)	ST(EXP)
5 mL	5 mL	1150 µg	1150 µg
4,58 mL	4,54 mL	1053µg	1044 µg
4,16 mL	4,08 mL	956µg	938 µg
3,74 mL	3,62 mL	860 µg	832 µg
3,32 mL	3,16 mL	763 µg	726 µg
2,9 mL	2,7 mL	667 µg	621 µg
2,48 mL	2,24 mL	570 µg	515 µg
2,06 mL	1,78 mL	473 µg	409 µg
1,64 mL	1,32 mL	377 µg	303 µg
1,64 mL	1,32 mL	377 µg	303 µg
1,22 mL	0,86 mL	280 µg	198 µg
0,8 mL	0,4 mL	184 µg	92 µg
0,38 mL	0	87 µg	0
0,17 mL	--	39 µg	--
0	--	0	--

Q (CT) Quantidade de água grupo controle; Q(EXP) Quantidade de água grupo Experimental; ST(CT) soluto grupo controle; ST(EXP) soluto grupo experimental.

Q (CI) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water experimental group; ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

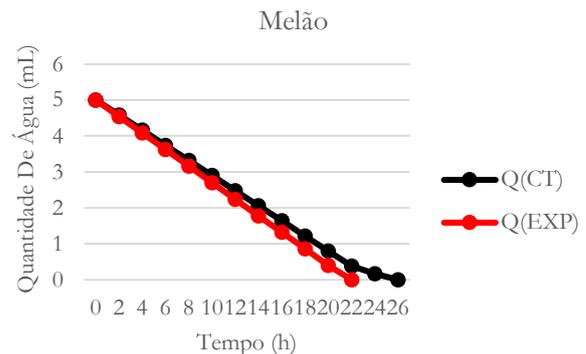


Figura 7. Quantidade de água (mL) versus tempo (h) para espécie melão. Nota: Q(CT) Quantidade de água no grupo controle; Q(EXP) quantidade de água grupo experimental.

Figure 7. Amount of water (mL) versus time (h) for melon species. Note: Q(CT) Quantity of water in the control group; Q(EXP) Quantity of water experimental group.

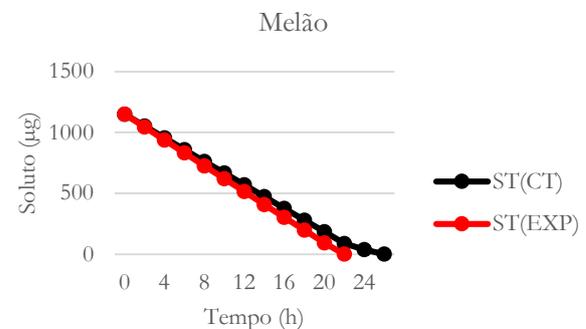


Figura 8. Solute (µg) versus tempo (h) para espécie melão. Nota: ST(CT) solução grupo controle; ST(EXP) solução grupo experimental.

Figure 8. Solute (µg) versus time (h) for melon species. Note: ST(CT) solute control group; ST(EXP) experimental group solution.

Na Tabela 4 apresentamos os valores de PPM (partes por milhão) médio e taxas de absorção para o grupo controle e experimental das três espécies.

Os dados descritos na Tabela 4 expõem valores coletados de PPM médio e taxa de absorção de água para todas as espécies, tanto nos grupos controles, quanto nos experimentais. É notório que em todos os casos com a presença de influências magnéticas os grupos experimentais, apresentaram índices maiores de absorção/consumo de água, identificando um padrão fenomenológico exposto nos gráficos das Figuras 3, 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente, para as espécies alface, tomate e melão, referentes às condições nutricionais e hídricas.

Em todos os grupos experimentais, para as 3 espécies, foi observado uma absorção total de água mais intensa e em menos tempo, do que nos grupos controles, como descreveu também Conceição et al., (2012), em sua pesquisa com *L. sativa*. Os sensores de SDT, também constataram uma redução intensa na quantidade de solutos na solução de água destilada dos grupos experimentais, desse modo, ficou evidenciado a possibilidade de uma sinergia no transporte das substâncias.

Tabela 4. Valores de PPM médio e taxas de absorção dos grupos controle e experimentais. Fonte: autores, 2023.

Table 4. Mean PPM values and absorption rates for control and experimental groups. Source: authors, 2023.

Valores	Espécies		
	Alface	Tomate	Melão
PPM Médio	45 PPM	170 PPM	230 PPM
Taxa Abs (CT)	0,21 mL/h	0,20 mL/h	0,21 mL/h
Taxa Abs (EXP)	0,23 mL/h	0,22 mL/h	0,23 mL/h

Nota: CT = controle; EXP = experimental.

Note: CT = control; EXP = experimental.

4. DISCUSSÃO

O aparato experimental, composto primordialmente por placas de *Petri* que comportam a solução e as sementes, pode ser considerado um sistema isolante elétrico, devido ao material das placas ser de Polietileno, também conhecido por sua propriedade de mínima reação com cargas elétricas, como íons-nutrientes (ESTIKEN 2003; WALKER et al., 2016). Outro ponto importante, trata-se do fato que todos os grupos estavam sob mesmas condições de temperatura, pressão, disponibilidade de luz, oxigênio e quantidade de água, de modo que a única diferenciação foi a presença ou não dos ímãs permanentes de Neodímio, originando as influências magnéticas.

A intensidade do campo magnético proveniente dos ímãs, apesar de ser considerável, não está em níveis suficientes para alterar as propriedades físico-químicas da água destilada, assim como o que ocorre em âmbito da água magnetizada (SALIDA et al., 2016; MENDES et al., 2020). Dessa feita, pode-se concluir que de fato ocorreu a absorção intensificada de água para dentro das sementes, devido ao magnetismo, pois, as condições de temperatura e irradiação solar não eram suficientes para provocar a mudança de estado físico da água, ou seja, não tendo sido a diminuição da mesma ocasionada por evaporação já que, os experimentos ocorreram em média com 30 °C (FERNANDES et al., 2017).

4.1. Mecanismo sinérgico de difusão-osmose

A partir da análise, coleta e tratamento dos dados obtidos, é possível estabelecer a interpretação termodinâmica do

fenômeno observado. A compreensão pode ser descrita a partir da definição de dois estados diferentes, estado 1 e 2, que serão discutidos.

Em um primeiro estado, a concentração do subsistema A (extracelular) é maior do que de B (intracelular), isto seguindo a Segunda Lei da Termodinâmica, faz com que ocorra um transporte Iônico apresentado na Figura 9, via Canais Iônicos (CI), para dentro do organismo, devido ao desequilíbrio energético entre os Potenciais Químicos μ_A e μ_B (PIMENTEL, 2004; GANIM et al., 2011).

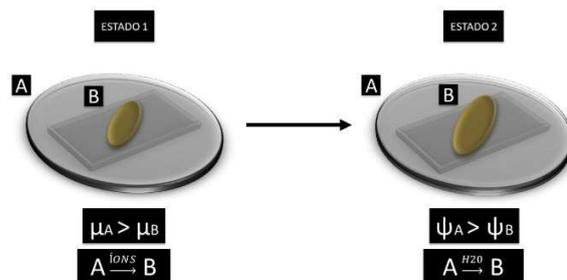


Figura 9. Diagrama do aparato experimental sob a ótica da hipótese termodinâmica de mecanismos difusão-osmose.

Figure 9. Diagram of the experimental apparatus from the optics perspective of the thermodynamic hypothesis of diffusion-osmosis mechanisms.

Em um segundo estado, após a saída de Íons-Solutos do subsistema A (meio extracelular), o potencial hídrico deste aumenta, devido a relação inversamente proporcional entre potencial químico e hídrico de um determinado sistema. Esse desequilíbrio de potencial hídrico incrementado, devido a translocação de íons intensificada oriunda das influências magnéticas, na Taxa por difusão ($A \text{ íons} \rightarrow B$), gera a força motriz incorporada para o transporte hídrico via canal aquaporina, para o meio intracelular (TAIZ et al., 2016; DA ROCHA et al., 2021; SALIBA et al., 2016).

Do mesmo modo, para o caso do experimento principal, pode-se também dividir o mesmo em dois estados. Estado 1, as influências magnéticas intensificam a taxa de transporte iônico por difusão para dentro das sementes, seguindo a tendência natural ($A \text{ ÍONS} \rightarrow B$) de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica: que define o sentido do fluxo de matéria e energia, espontaneamente das regiões com os maiores módulos destes, para outras com menores módulos (WYLEN et al., 2018).

No estado 2, como o processo primário foi acelerado, o secundário, isto é, a absorção de água, indiretamente também será ($A \text{ ÁGUA} \rightarrow B$).

A partir dos dados coletados de Quantidade de Solute (ST) para a espécie *L. sativa*, e por meio de tratamento matemático utilizando-se das Equações 7, 8 e 9, foi possível descrever graficamente o Mecanismo de Difusão-Osmose, referente ao comportamento dos Status de Energias Potenciais nos subsistemas (observe a Figura 10).

O tratamento matemático para o gráfico da Figura 10, foi feito a partir das Equação 7 e Equação 8, respectivamente, potencial químico e hídrico/osmótico de uma solução qualquer.

$$\mu(t) = R \cdot T \cdot \ln[C(t)] \quad (07)$$

$$\psi(t) = -R \cdot T \cdot \ln[C(t)] \quad (08)$$

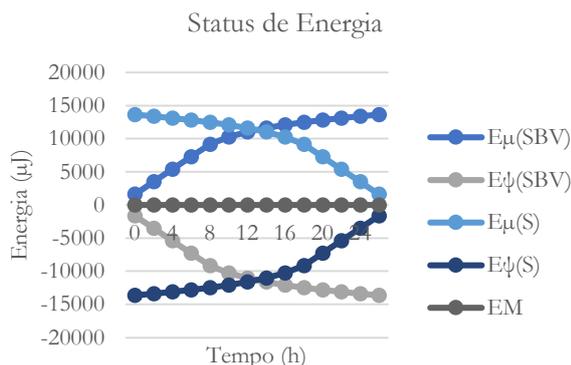


Figura 10. Status de energia, potenciais químicos e hídricos nos subsistemas A e B. $E_{\mu}(S)$ – energia potencial químico da solução; $E_{\mu}(SBV)$ – energia potencial química da semente; $E_{\psi}(S)$ – energia potencial hídrica da solução; $E_{\psi}(SBV)$ – energia potencial hídrica da semente.

Figure 10. Energy status, chemical and water potentials in subsystems A and B. $E_{\mu}(S)$ – chemical potential energy of the solution; $E_{\mu}(SBV)$ – chemical potential energy of the seed; $E_{\psi}(S)$ – potential hydric energy of the solution; $E_{\psi}(SBV)$ – potential water energy of the seed.

Em instantes de experimentação iguais e tendo em vista que o fenômeno observado pode ser considerado isotérmico (temperatura constante), a Energia Mecânica se conserva, e pode ser expressa pela Primeira Lei da Termodinâmica, considerando apenas as Energias Potenciais e desconsiderando o somatório de energias cinéticas (Equação 9).

$$E_M(t) = \sum E_C(t) + \sum E_P(t) \quad (09)$$

$$E_M(t) = E_{\mu}(t) + E_{\psi}(t) \quad (10)$$

Sabendo que $[E_{\mu}(t) = \mu(t)]$ e $[E_{\psi}(t) = \psi(t)]$, pode-se concluir que a Energia Mecânica para mesmos intervalos de tempos será nula, o que será exposto na Equação 10 a seguir:

$$E_M(t) = R \cdot T \cdot \ln[C(t)] - R \cdot T \cdot \ln[C(t)] \quad (11)$$

$$E_M(t) = 0$$

A conservação da Energia Mecânica implica que o sistema estudado foi considerado isolado de fatores externos, e que as condições de temperatura foram mantidas aproximadamente constantes ao longo da experimentação. Quando analisada as funções $E_{\mu}(S)$ e $E_{\mu}(SBV)$ para o gráfico da Figura 10, observamos que quando o Potencial Químico da solução reduz, paralelamente o da semente aumenta, proporcionalmente. Do mesmo modo, quando o Potencial Hídrico da solução aumenta, o da semente reduz devido a transferência iônica para a mesma durante o processo, de maneira sinérgica.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho objetivou investigar e analisar, com aparato experimental baseado em Sistemas Embarcados Arduino, o comportamento diretamente iônico e indiretamente hídrico em meio a tais influências, sobre três espécies vegetais: Alface (*L. Sativa*), Tomate (*S. lycopersicum*) e Melão (*C. melo*).

Referentes a todas as espécies, foi observado um padrão fenomenológico, uma sinergia Difusão-Osmose como um possível mecanismo, de modo que tanto a quantidade de nutrientes quanto de água, reduziram intensamente nos grupos experimentais, como foi evidenciado pelas Tabelas (1, 2 e 3), bem como os Gráficos (1, 2, 3, 4, 5 e 6), ou seja, sob a ação do magnetismo, em comparação os grupos controles, sem a presença de campos magnéticos provenientes de ímãs permanentes de Neodímio.

Devido apresentar taxas de entrada iônica e hídrica nas sementes em maiores proporções nos grupos com presença do magnetismo, os mesmos absorveram todo nutriente e água presentes no aparato experimental em menor tempo do que aqueles grupos apenas em condições naturais. Conclui-se que um mecanismo plausível para explicação de tal fenômeno observado, baseando na análise analítica do problema de pesquisa, seja oriundo do transporte sinérgico de Difusão-Osmose, no qual o magnetismo atua diretamente na movimentação de íons para dentro dos sistemas vegetais, e indiretamente no enfluo de água, devido a dinâmica inversa de proporcionalidade de Potenciais Termodinâmicos, Químicos e Hídricos.

Portanto, o aparato experimental e a metodologia adotada, podem ser aplicados para diversas outras espécies vegetais, objetivando avaliar a ocorrência ou não da repetição do padrão fenomenológico observado. Em suma, foi constatado que as influências magnéticas são os agentes e que as soluções de água e íons-nutrientes o meio, e que por regência de Leis Termodinâmicas e Eletromagnéticas ocorrem os fenômenos de transportes necessários e intensificados para o desenvolvimento vegetal.

Ademais, quaisquer alterações nas condições naturais para além da presença do magnetismo, devem ser levadas em consideração na aplicação de tal metodologia proposta anteriormente.

6. REFERÊNCIAS

- ABOU EL-YAZIED, A.; SHALABY, A. O. A.; EL-GIZAWY, A. M.; KHALF, S. M.; EL-SATAR, A. Effect of magnetic field on seed germination and transplant growth of tomato. **Journal of American Science**, v. 7, n. 12, p. 306-312, 2011.
- BEZANILLA, F.; PEROZO, E.; STEFANI, E. Gating of Shaker K⁺ channels: II. The components of gating currents and a model of channel activation. **Biophysical Journal**, v. 66, n. 4, p. 1011-1021, 1994. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(94\)80882-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(94)80882-3)
- BUZINELLO, T. C. **Padrão de expressão de aquaporinas em plantas de arroz tolerantes e sensíveis ao arsênio**. 49p. Dissertação [Mestrado em Biologia Celular e Molecular] - Centro de Biotecnologia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- CONCEIÇÃO FILHO, R. N. S.; DA SILVA, L. C. S.; SALES, F. H. S. Tratamento magnético em sementes de alface (*Lactuca Sativa*) germinadas em água. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, VII, 2012. **Anais...** Palmas. 2012. 4p. Disponível em: <https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/841/1073>
- DA ROCHA, F. A. G.; DE DEUS, M. S.; DA SILVA, E. S.; MARINHEIRO, R. H. da S.; DA SILVA, W. E. The influence of magnetic field on the germination of seed of

- Cucumis melo* L. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 48803-48816, 2021. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n5-333>
- DZIADEK, K.; KOPEC, A.; DROZDZ, T.; KIELBASA, P.; OSTAFIN, M.; BULSKI, K.; OZIEMBŁOWSKI, M. Effect of pulsed electric field treatment on shelf life and nutritional value of apple juice. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 3, p. 1184-1191, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03581-4>
- ESTIKEN, A. Effects of magnetic fields on yield and growth in strawberry Camarosa. **Journal Horticultural Science Biotechnology**, v. 78, p. 145-147, 2003. <https://doi.org/10.1080/14620316.2003.11511597>
- FU, E. The effects of magnetic field on plant growth and health. **Young Scientists Journal**, v. 5, n. 11, e38, 2012. <https://doi.org/10.4103/0974-6102.97696>
- FERNANDES, A. L. T.; SILVA, R. O.; JÚNIOR FRAGA, E. F. Tratamento Magnético da Água para Irrigação do Cafeeiro Cultivado no Cerrado de Minas Gerais. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING- CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, IV-XXVI. **Anais...** 2017. Fortaleza: Instituto Inovagri, 2017. 7p. <https://doi.org/10.7127/iv-inovagri-meeting-2017-res2160367>
- GANIM, Z.; TOKMAKOFF, A.; VAZIRI, A. Vibrational excitons in ionophores: experimental probes for quantum coherence-assisted ion transport and selectivity in ion channels, **New Journal of Physics**, v. 13, n. 11, e113030, 2011. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/13/11/113030>
- GARCIA, E. A. C. **Biofísica**. 2ª Ed. São Paulo: Sarvier Editora, 2015, 544p.
- SANTANA, B. A.; MARTINS, M. A. F.; DAS CHAGAS, T. P. Controle preditivo com garantia de estabilidade nominal e factibilidade para sistemas embarcados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI), XIV. **Anais...** Ouro Preto - MG, 2019. <https://doi.org/10.17648/sbai-2019-111352>
- MENDES, J. P. P.; AMARAL, A. M.; VERSSIANI, M. A. S.; SANTOS, M. Â. C. M. Crescimento e qualidade de mudas de baru em reposta a hidrotentor e água magnetizada. **Scientia Plena**, v. 16, n. 11, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2020.110201>
- MOURÃO, C. A. J.; ABRAMOV, D. M. **Biofísica Conceitual**. 2ª ed. São Paulo: Guanabara Koogan Editora, 2021. 184p.
- NOLLET, J. A. *Essai sur l'electricité des corps*, Universidade de Paris: Hachette Livre Bnf Editora **Academia Real de Ciências Francesa**, 1746. ISBN-13: 978-2011330888.
- PIMENTEL, C. **A relação da Planta com a Água**. Rio de Janeiro: EDUR Editora, 2004, 190p.
- PINTO, M. M. F.; GONÇALVES, J. DE SOUZA; SOUZA, I. T. DO N.; BATISTA, N. V.; MELO, V. L. DE L.; FIRMINO, S. S.; PINEDO, L. A.; LIMA, P. DE O. Utilização do melão (*Cucumis melo* L.) na alimentação de ruminantes: uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 31466-31481, 2019. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n12-240>
- SALIBA, W. A.; QUINTÃO, A. L.; AMORIM, K. S.; RANGEL, M.; ANDRADE, N. A.; FREITAS, P.; OLIVEIRA, T.; BACELAR JÚNIOR, A. J. Estudo da alteração das propriedades físico-químicas da água pela ação de campo magnético. **Revista UNINGÁ Review**, v. 26, n 3, p. 16-21, 2016.
- SALINAS, R. A. S. Einstein e a Teoria do Movimento Browniano, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 263-269, 2005.
- SANTOS, F. F. T. **Classes de soluções para a equação de langevin generalizada**. 2011. Tese [Doutorado em Matemática] Instituto de Ciências Exatas – Departamento de Matemática, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.
- SULAIMANA, A. S.; CHANG, C. K.; HOU, C. Y.; YUDHISTIRA, B.; PUNTHI, F.; LUNG, C. T.; CHENG, K. C.; SANTOSO, S. P.; HSIEH, C. W. Effect of Oxidative Stress on Physicochemical Quality of Taiwanese Seagrape (*Caulerpa lentillifera*) with the Application of Alternating Current Electric Field (ACEF) during Post-Harvest Storage. **Processes**, v. 9, e1011, 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9061011>
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª Ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2016. 888p.
- WALKER, J.; HALLIDAY, D.; RESNICK, R. **Fundamentos de Física – gravitação, ondas, termodinâmica**. 10 ed. São Paulo: LTC Editora, 2016. 324p.
- WYLEN, G. J. V.; BORGNACKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**. tradução da 8ª Ed. americana, rev. e ampl. São Paulo: Blucher Editora, 2018. 730p.
- YUSUF, K. O.; OGUNLELA, A. O. Effect of magnetically treated water on the quality of tomato. **Journal of Science, Engineering and Technology**, v. 12, p. 29-33, 2016.
- ZAGULA, G.; PUCHALSKI, C.; CZERNICKA, M.; BAJCAR, M.; SALETNIK, B.; WOZNY, M.; SZEREGIL, E. The magnetic field stimulation system applied on strawberry fruits. **Econtechmod**, v. 6, n. 1, p. 117-122, 2017.
- ZIGAIB, S. M.; SANCHEZ, R. de B. Motor por Impulsão Magnética. **Revista Caleidoscópio**, v. 12, n. 1, p. 28-34, 2020.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Laboratório de Eletrônica Aplicada do Núcleo de Sistemas Ciberfísicos da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES pelo suporte de desenvolvimento científico da pesquisa.

Contribuição dos autores: N.R.S.S. – Financiamento da pesquisa, coleta e análise de dados, redação de texto, metodologia (esboço original, revisão e edição); C.C.R. – Disponibilidade do sensor TDS Meter V1.0, auxílio com Arduino; O.A.C. – Conceituação, revisão do texto; K.P.S. – Co-orientadora, revisão e edição de texto; A.T.M.B. – Orientador, conceituação, metodologia, análise de dados, revisão de texto. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Apoio do projeto de Pesquisa n. PICE236-2020 – “Desenvolvimento de protótipos sustentáveis com o uso de Arduino aplicados ao meio ambiente”.

Disponibilização de dados: Os dados do estudo podem ser obtidos mediante solicitação, via e-mail, ao autor correspondente.

Conflito de Interesse: Os autores declaram que não existem conflitos de interesse com outros pesquisadores ou instituições.

