

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* BAMBUÍ
LICENCIATURA EM FÍSICA

Idália Ribeiro Silva

APLICAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS NO CULTIVO *IN VITRO* DE PLANTAS

BambuÍ
2025

IDÁLIA RIBEIRO SILVA

APLICAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS NO CULTIVO *IN VITRO* DE PLANTAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Licenciatura em Física do Instituto
Federal de Minas Gerais – *Campus* Bambuí
para obtenção do grau de licenciada em Física.
Orientador: Mayler Martins

Bambuí

2025

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

S586a Silva, Idália Ribeiro.

Aplicação de campos magnéticos no cultivo *in vitro* de plantas [manuscrito] / Idália Ribeiro Silva. – 2025.

37 f. : il.

Orientador: Mayler Martins.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais. *Campus Bambuí*, 2025.

1. Campos magnéticos. 2. Cultivo *in vitro*. 3. Desenvolvimento de plantas. I. Martins, Mayler. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus Bambuí*. III. Título.

CDD. 538

Catálogo: João Batista Rodrigues - CRB-6/2022



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Ciências e Linguagens
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

Idália Ribeiro Silva

APLICAÇÃO DE CAMPOS MAGNÉTICOS NO CULTIVO IN VITRO DE PLANTAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí* para obtenção do grau de licenciada em Física.

Aprovado em: 07/02/2025 pela banca examinadora:

Prof. Dr. Mayler Martins – IFMG - *Campus Bambuí* (Orientador)

Prof. Dr. Fabrício Vieira Andrade – IFMG - *Campus Bambuí*

Prof. Dr. João Henrique Rodrigues – IFMG - *Campus Bambuí*



Documento assinado eletronicamente por **Mayler Martins, Professor**, em 07/02/2025, às 16:36, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fabricio Vieira Andrade, Professor**, em 07/02/2025, às 16:45, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Joao Henrique Rodrigues, Professor**, em 07/02/2025, às 16:46, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **2191660** e o código CRC **5AA3AE7A**.

RESUMO

A aplicação de campos magnéticos no cultivo de plantas é um estudo que surgiu com o intuito de colaborar com a prática sustentável na agricultura, uma vez que sua prática não gera os danos associados às práticas convencionais. Estudos indicam efeitos positivos, sugerindo um potencial para promover o melhor crescimento das plantas. No entanto, existem limitações técnicas relacionadas ao controle do campo magnético e à reprodutibilidade dos experimentos, o que dificulta o avanço nessa área. Este estudo busca determinar a melhor metodologia, simples e de baixo custo, a fim de gerar e medir o campo magnético para serem utilizados em plantas durante seu cultivo *in vitro*. A pesquisa começou com a investigação de bobinas e solenoides, no entanto, os resultados se mostraram inviáveis, devido à dependência de altas amperagens. Outro método explorado foram os ímãs permanentes, onde se desenvolve um gaussímetro que funciona a base do Efeito *Hall*, usando Arduino que provou ser uma solução viável e eficaz para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Campos magnéticos. Cultivo *in vitro*. Desenvolvimento de plantas.

ABSTRACT

The application of magnetic fields in plant cultivation is a study that emerged with the aim of collaborating with sustainable practice in agriculture, since its practice does not generate the damage associated with conventional practices. Studies indicate positive effects, suggesting a potential to promote better plant growth. However, there are technical limitations related to the control of the magnetic field and the reproducibility of the experiments, which makes it difficult to advance in this area. This study seeks to determine the best methodology, simple and low-cost, in order to generate and measure the magnetic field to be used in plants during their *in vitro* cultivation. The research began with the investigation of coils and solenoids, however, the results proved to be unfeasible, due to the dependence on high amperages. Another method explored was permanent magnets, where developing a gaussimeter that works on the basis of the Hall Effect, using Arduino proved to be a viable and effective solution for future research.

Keywords: Magnetic fields. *In vitro* cultivation. Plant development.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	7
1.1	Justificativa.....	8
1.2	Objetivo Geral.....	10
1.2.1	Objetivos específicos.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Campos magnéticos e como produzi-los.....	11
2.1.1	Campo magnético gerado por ímãs.....	11
2.1.2	Campo magnético gerado por bobinas e solenoides.....	13
2.2	Efeito Joule.....	14
2.3	O uso de campo magnético no crescimento vegetal.....	15
2.4	Uso de Arduino para medir campo magnético.....	17
2.4.1	O sensor de efeito <i>Hall</i>	17
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Produção de campos magnéticos através de bobinas.....	20
3.2	Produção de campos magnéticos através de solenoides.....	20
3.3	Produção de campo magnético usando ímã permanente.....	21
3.3.1	Montagem do gaussímetro.....	22
3.3.2	Calibração do gaussímetro.....	22
3.3.3	Teste do gaussímetro.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1	Produção de campos magnéticos através de bobinas.....	24
4.2	Produção de campos magnéticos através de solenoides.....	25
4.3	Produção de campos magnéticos através de ímãs permanentes.....	25
4.3.1	Montagem do medidor de campo magnético.....	25
4.3.2	Calibração.....	26
4.3.3	Teste do gaussímetro.....	28
5	CONCLUSÕES.....	31
	REFERÊNCIAS.....	31
	ANEXO A - Código fonte para calibração do gaussímetro.....	33
	ANEXO B - Código fonte do gaussímetro.....	36

1 INTRODUÇÃO

A agricultura, como atividade central para a subsistência humana, tem evoluído ao longo dos séculos para atender à crescente demanda por alimentos e matérias-primas. Com o aumento populacional global, essa demanda se intensificou, levando ao desenvolvimento de novas tecnologias que visam não apenas aumentar a produção, mas também melhorar a qualidade dos alimentos (ASSAD, 2015). No entanto, muitas dessas tecnologias são consideradas invasivas, gerando impactos ambientais adversos, como a degradação do solo, desmatamento e uso excessivo de agrotóxicos.

No Brasil, o processo de modernização da agricultura teve origem na década de 1950 através das importações de meios de produção mais avançados. Dado de forma gradual, o desenvolvimento se mostrou eficaz devido à grande extensão territorial e se tornou cada vez mais relevante para a economia brasileira. Contudo, possui a necessidade de preservação do ambiente para que não aconteça um declínio na prática agrícola. Nesse contexto, surge a necessidade de práticas agrícolas mais sustentáveis, capazes de mitigar esses impactos e preservar os ecossistemas.

Muitos seres vivos na Terra são influenciados pelo campo magnético terrestre, também conhecido como geomagnético. Diante disso, pesquisadores têm realizado experimentos aplicando campos magnéticos em diferentes espécies de plantas, com o objetivo de observar mudanças no seu desenvolvimento. Em estudos prévios, diversas culturas, como tomate, milho, alface, trigo e feijão, mostraram respostas variadas à exposição a campos magnéticos, como a maioria dos resultados são positivos, é indicado um potencial para promover o melhor crescimento das plantas.

Embora esses estudos tenham mostrado resultados promissores, a literatura revela que a aplicação de campos magnéticos pode influenciar o desenvolvimento das plantas de forma variável, dependendo da intensidade, do tempo de exposição e da espécie estudada. Ainda é necessário um maior aprofundamento para que a prática possa ser adotada como uma alternativa viável na agricultura. No entanto, muitos estudos não fornecem informações, sobre o campo magnético empregado, detalhadas o suficiente para a reprodução dos experimentos, o que dificulta o avanço nessa área.

1.1 Justificativa

A busca por uma alimentação mais saudável, com menos produtos químicos, juntamente com a necessidade de práticas agrícolas que não contaminem o ambiente e garantam a segurança dos trabalhadores, justifica o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas na agricultura como a aplicação de campos magnéticos, que não causam esse tipo de dano. Este trabalho é especialmente relevante para agrônomos e outros profissionais que, embora não sejam da área da física, possam montar experimentos com diferentes intensidades de campo magnético utilizando bobinas, solenoides ou ímãs.

Assim, este projeto pode incentivar a continuidade dos estudos sobre o tema por profissionais de diferentes áreas do conhecimento, colaborando tanto para a preservação ambiental quanto para o avanço da agricultura.

No entanto, a implementação dessas técnicas deve considerar os recursos empregados. Por exemplo, os ímãs são fontes acessíveis, seguras e estáveis de campos magnéticos e podem ser encontrados em muitas tecnologias que são descartadas ao estarem estragadas (caixa de som, HD de computadores, entre outros).

Contudo, o campo produzido por eles é desconhecido e desuniforme, o que compromete os seus usos em experimentações meticolosas. As bobinas e solenoides, por sua vez, têm o comportamento de seus campos mais conhecidos (apresentado em muitos livros didáticos), são uniformes e podem controlados através da intensidade da corrente elétrica que os alimentam. No entanto, necessitam de energia elétrica para funcionarem, e podem ser uma prática financeiramente custosa, seja quando usados em grande escala e/ou por tempos prolongados.

Independentemente de qual fonte usar, é fundamental conhecer com precisão a intensidade do campo magnético aplicado é essencial para garantir a reprodutibilidade do experimento em qualquer planta, o que demanda o uso de equipamentos de medição da intensidade do campo magnético. Para garantir a precisão na aplicação do campo, é fundamental utilizar equipamentos de medição adequados, como gaussímetros, que permitam o controle exato da intensidade aplicada. A ausência dessas informações em muitos trabalhos da área dificulta a reprodução dos experimentos, reforçando a importância de uma descrição detalhada dos métodos utilizados.

No Laboratório de biotecnologia do IFMG – *Campus* Bambuí, pretende-se realizar experimentos que verifiquem a influência do campo magnético no cultivo de plantas desenvolvidas *in vitro*. No entanto, para que seja possível, se faz necessário uma forma de

produção de campo magnético que seja simples, confiável em longo prazo e possua baixo custo financeiro, permitindo a caracterização do campo magnético.

Portanto, este estudo busca impulsionar o desenvolvimento dessa linha de pesquisa, especialmente no IFMG - *Campus* Bambuí, promovendo maior atenção por parte dos agricultores e profissionais da área às técnicas e métodos aplicados, e justificando a necessidade de padrões claros para a realização desses experimentos.

1.2 **Objetivo Geral**

Determinar a melhor metodologia simples e de baixo custo a fim de gerar e medir o campo magnético para serem utilizados em plantas durante seu cultivo *in vitro*.

1.2.1 *Objetivos específicos*

- Descrever formas de produzir campo magnético para o contexto;
- Desenvolver formas para determinar as intensidades de campo magnético a serem trabalhados;

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os conceitos fundamentais para o estudo da aplicação de campos magnéticos no cultivo *in vitro* de plantas. Serão abordadas as formas de geração de campos magnéticos, o efeito Joule, o impacto desses campos no crescimento vegetal e o uso do Arduino com o sensor de efeito *Hall* para medição precisa do campo magnético. Esses tópicos fornecem o embasamento teórico necessário para a metodologia e análise dos resultados desta pesquisa.

2.1 Campos magnéticos e como produzi-los

O eletromagnetismo é uma área de estudo que explora a eletricidade e o magnetismo, campos de estudo intrinsecamente relacionados. O campo elétrico é gerado intrinsecamente por cargas elétricas, que se originam da quantidade de prótons e elétrons em uma partícula ou corpo. Os campos magnéticos, por sua vez, são originados devido à movimentação dessas cargas elétricas (como nas correntes elétricas em fios ou as ordenadas no corpo dos ímãs) ou do fato de naturalmente muitas partículas elementares possuírem um campo magnético intrínseco (HALLIDAY, 2016).

Neste trabalho, o foco são os campos magnéticos, os quais conseguem exercer uma força de atração ou repulsão, chamada de força magnética, em partículas eletricamente carregadas em movimento. Essa força é descrita por linhas de campo que indicam a direção, sentido e a intensidade dessa força, caracterizando o campo magnético como um campo vetorial (YOUNG, 2015).

Uma das principais características de uma região que produz campo magnético é a presença dos polos norte e sul, que são regiões onde a intensidade dessa força é mais evidente: o polo norte e o polo sul. Entre duas ou mais fontes diferentes, verifica-se que polos iguais se repelem e polos opostos se atraem, mostrando que campo magnético possui sentido. (HEWITT, 2015).

A unidade de medida da intensidade de um campo magnético no Sistema internacional (SI) é o Tesla (T) e no comércio de ímãs é comumente utilizada a unidade Gauss (G, $1T = 10000G$). Existem diversas maneiras de produzir campo magnético, pois no contexto desta pesquisa os mais relevantes são os campos gerados por ímãs e os gerados por corrente elétrica em bobinas e solenoides. A seguir será discutido cada um dos casos.

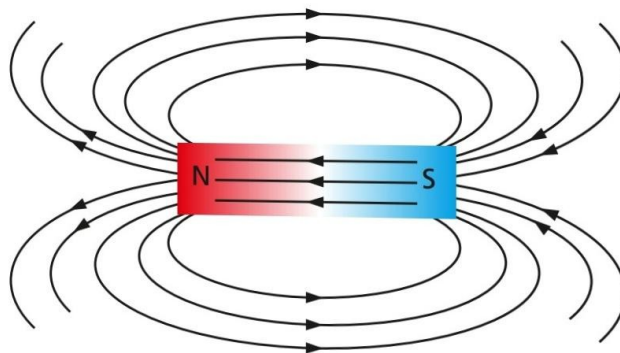
2.1.1 Campo magnético gerado por ímãs

Um ímã se trata de qualquer material que tenha a propriedade de atrair certos materiais, e atrair ou repelir outros ímãs, os quais são chamados de ferromagnéticos. Esse fenômeno, denominado de magnetismo, é conhecido a mais de dois milênios, através de ímãs naturais encontrados na região da Magnésia, na atual Turquia. Sua principal aplicação se deu com o uso de bússolas.

Com o passar dos tempos o desenvolvimento industrial gerou a necessidade de ímãs com intensidades mais fortes, levando a produção dos ímãs artificiais que possuem componentes como o alumínio, o níquel, o cobalto. Posteriormente, foram criados ímãs como o cerâmico (*ferrite*), samário-cobalto e os neodímios-boro, geralmente são encontrados nos mercados com intensidades que variam de 1000 G (0,1 T). São representados por ímãs de baixa potência como ímãs de geladeiras a 14000 G (1,4 T), representando ímãs de alta potência usados em aplicações industriais e científicas (YAMAMOTO, 2016).

Nos polos dos ímãs, tem-se que a intensidade do campo magnético é mais intensa, com as linhas de campo saindo do polo norte e entrando no polo sul. Por outro lado, na lateral do ímã e nas regiões mais afastadas dos polos (onde a intensidade de linhas é menor) a intensidade do campo é mais fraca, como mostra a Figura 1 (HALLIDAY, 2016).

Figura 1 – Linhas de campo magnético em um ímã.



Fonte: HALLIDAY, 2016.

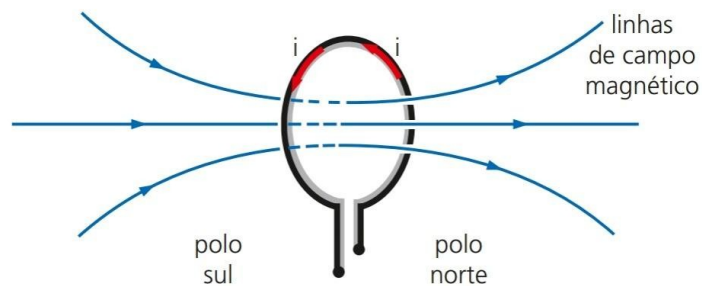
Além dessas fontes de campo magnético, tem-se que o planeta Terra também gera seu próprio campo, conhecido como geomagnético, que desempenha um papel crucial na proteção do planeta contra os ventos solares e na utilização de bússolas. Seu campo

magnético tem uma configuração semelhante à de um ímã em barra, com intensidades que variam de 20 μT a 60 μT , dependendo do local, ou seja, não possui um campo magnético uniforme (HEWITT, 2015).

2.1.2 *Campo magnético gerado por bobinas e solenoides*

Uma bobina consiste em um condutor disposto de espiras comumente circulares, na qual campo magnético produzido ao redor de uma espira isolada é tal que, no centro desta, o vetor indução magnética é perpendicular ao plano da espira. De maneira análoga aos ímãs, a bobina possui os polos norte e sul. As linhas de campo magnético em uma bobina são demonstradas na Figura 2 (YAMAMOTO, 2016).

Figura 2 – Linhas de campo magnético em uma bobina.



Fonte: YAMAMOTO, 2016.

A intensidade do campo no centro da espira pode ser calculada por meio da Equação 1 (YAMAMOTO, 2016).

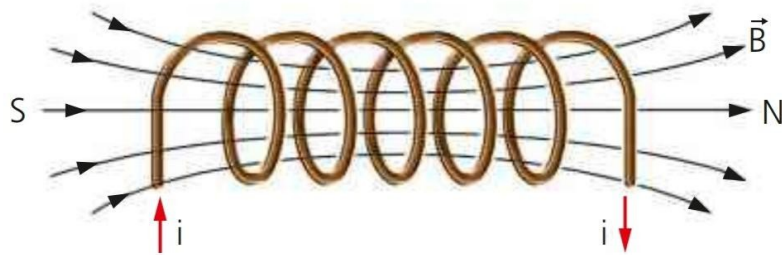
$$B = n \cdot \frac{\mu \cdot i}{2R} \text{ (Equação 1)}$$

Nessa equação, o B representa a intensidade do campo magnético, n é o número de voltas, μ é a permeabilidade magnética do meio, i é a corrente elétrica e R é o raio da espira.

Por outro lado, um solenoide é um tipo de bobina composto por um fio condutor em forma de espiras onde seu comprimento é muito maior do que seu diâmetro. Nesse caso, o

campo magnético em seu interior possui linhas de campo paralelas e uniformemente espaçadas, pois são praticamente constantes. Por outro lado, nas regiões mais próximas das extremidades de um solenoide as linhas de campo são dispersas e sua intensidade é mais fraca em comparação com as do centro, como mostra a Figura 3 (YAMAMOTO, 2016).

Figura 3 – Linhas de campo magnético em um solenoide



Fonte: YAMAMOTO, 2016.

Para saber o valor da sua intensidade, pode-se usar a Equação 2 (YAMAMOTO, 2016).

$$B = \frac{\mu \cdot n \cdot i}{L} \text{ (Equação 2)}$$

Nessa equação, o B representa a intensidade do campo magnético, n é o número de voltas, μ é a permeabilidade magnética do meio, i é a corrente elétrica e L é comprimento do solenoide.

2.2 Efeito Joule

Em situações envolvendo a passagem de corrente elétrica por um condutor, é importante levar em consideração a dissipação de energia. Dessa forma, no conhecimento de que esses fios possuem uma resistência elétrica, quando os elétrons passam por eles ocorrem diversas colisões entre esses elétrons e os átomos do material, convertendo a energia cinética em energia térmica. Isto resulta no aquecimento do material. Este fenômeno é conhecido

como Efeito Joule. Tal fenômeno é mais perceptível quando a resistência elétrica é maior (HALLIDAY, 2016).

Para calcular a quantidade de calor dissipado pelo Efeito Joule, usa-se a Equação 3 onde Q é a quantidade de calor dissipado, i é a corrente elétrica, R é a resistência e t é o tempo.

$$Q=i^2.R.t \text{ (Equação 3)}$$

2.3 O uso de campo magnético no crescimento vegetal

Radhakrishnan, R. (2019) confirmou a influência dos campos magnéticos em plantas, destacando que esses campos são uma ferramenta emergente e eficaz para o controle de doenças, além de melhorar a tolerância das plantas a condições ambientais adversas. Por meio de uma revisão de diversos trabalhos, o autor relatou alterações bioquímicas e fisiológicas provocadas pela exposição aos campos magnéticos. Os valores usados nos estudos analisados variam de 20 μ T a 600 mT. Como exemplo, o *Triticum aestivum* (trigo) e o *Phaseolus vulgaris* (feijão), apresentaram aumento na germinação e biomassa quando expostos a campo magnético com intensidade de 4-7mT. Já o *Zea mays* (milho), demonstrou maior crescimento e biomassa sob 150-250 mT.

Além disso, Radhakrishnan, R. (2019) afirma que, em condições de estresse abiótico, como seca, salinidade e contaminação do solo por metais pesados, os campos magnéticos ajudam a mitigar os efeitos negativos ao aumentar a produção de antioxidantes e reduzir o estresse oxidativo nas plantas. Problemas de crescimento atrofiado relacionados a condições desfavoráveis de luz e temperatura também podem ser superados com o uso de campos magnéticos. Exemplo desse contexto, tem-se a *Vigna radiata* (feijão-mungo) que mostrou aumento na fotossíntese e tolerância a metais pesados sob 600 mT.

Contudo, apesar de todo o resultado e conclusão, o artigo não menciona os métodos de geração dos campos magnéticos usados.

Conforme Sarraf *et al.* (2020), uma revisão bibliográfica abrangendo os últimos dez anos analisou o uso de campos magnéticos e água magnetizada na germinação de sementes, crescimento e desenvolvimento de plantas e microalgas. Embora o artigo não se

concentre nos métodos de geração de campos magnéticos, os autores mencionam que as intensidades utilizadas nos estudos revisados variaram de 0,1 mT a 500 mT.

Sarraf *et al.* (2020), destacam que diversos estudos demonstraram impactos positivos dos campos magnéticos, como a melhoria da germinação de sementes, o aumento do comprimento das raízes e brotos, maior absorção de água e CO₂, maior concentração de pigmentos fotossintéticos e, conseqüentemente, o aumento da produtividade agrícola, mesmo sob condições de estresse abiótico. Como exemplo, foi citado a *Hordeum vulgare L.* (Cevada) que sob 35 mT obteve melhoria na germinação de sementes e no estabelecimento de mudas em condições normais ou de estresse salino.

Por outro lado, outros autores indicaram resultados opostos, com redução dos mesmos parâmetros e inibição do crescimento (SAHEBJAMEI H. *et al.*, 2007). Este autor relatou haver diminuição do crescimento do *Ocimum basilicum L.* (manjericão) quando expostos a um campo de 30 mT que foi gerado por duas bobinas com 3.000 voltas cada.

Hafeez, Muhammad Bilal. *et al.* (2022), fazem uma revisão que descreve o efeito das alterações de intensidade do campo magnético nos processos fisiológicos e bioquímicos das plantas. No texto, é relatado que nos trabalhos são usados campos magnéticos extremamente fracos, como o geomagnético, até intensidades altas aplicadas artificialmente, que chegam a 500 mT. Porém, em parte dos trabalhos citados, não é dito qual a forma de se chegar a essas intensidades. Mas em poucos é mencionado o uso de dispositivos específicos como bobina de Helmholtz e ímãs permanentes.

De forma mais específica, Cavalcante, Ruan Santana (2022), avaliou o efeito do campo magnético na germinação de sementes *in vitro* de duas espécies diferentes de tomates, o Gaúcho e o tomate Santa Clara. No texto, o autor relata inocular as sementes em tubos de ensaios e colocá-los no interior de uma bobina de Helmholtz com intensidades de 1 e 2 mT durante três dias, e posteriormente comparar com os resultados de amostras fora do campo magnético (grupo controle) após 14 dias. Foi concluído haver resultado, porém pouco significativos e diferentes para cada espécie e intensidade trabalhados.

Os autores relataram que, em relação a germinação, para a intensidade de 1 mT após 14 dias, o tomate Gaúcho apresentou 89,5% das sementes germinadas contra 86,8% do grupo controle. Já o tomate Santa Clara, com o mesmo intervalo de tempo, apresentou um resultado mais significativo de 47,4% contra 39,5% em relação ao controle. Para a intensidade de 2 mT, no quarto dia o tomate Gaúcho apresentou aproximadamente 47,4% de sementes

germinadas e o grupo controle apresentou apenas 21,1%, porém com os 14 dias os resultados foram menos significativos, sendo de 89,5% e 84,2%. Ainda com a intensidade de 2 mT, o tomate Santa Clara tanto o grupo tratado quanto o grupo controle obtiveram, durante 14 dias, 47,4% de germinação. Apenas através destes resultados, percebe-se a necessidade de novos experimentos para se obter conclusões mais definitivas a respeito dos resultados sobre as espécies, as intensidades usadas e a duração da exposição dos campos magnéticos.

De forma geral, os autores mencionados anteriormente em seus trabalhos concluíram que diferentes espécies vegetais expostas a diferentes intensidades de campos magnéticos geram resultados variados, sugerindo que os efeitos do campo magnético podem variar conforme as condições experimentais.

Contudo, a revisão ressalta a importância de uma combinação adequada entre a intensidade do campo magnético e o tempo de exposição para obter os melhores resultados, tendo o potencial de aumentar a produção agrícola.

2.4 Uso de Arduino para medir campo magnético

Um gaussímetro é um dispositivo fundamental para experimentos e aplicações práticas que envolvem campos magnéticos, porém com alto custo. Uma solução simples e acessível é a utilização de Arduino. Esse dispositivo é um microcontrolador criado em 2005 pelo professor Massimo Banzi e o pesquisador David Cuartielles no Interaction Design Institute na cidade de Ivrea, na Itália. Seu propósito é oferecer uma plataforma acessível e fácil de trabalhar com tecnologia, para ser usado pelos seus estudantes de arte e design. Originalmente voltado para o ensino, o Arduino rapidamente ganhou popularidade e hoje é amplamente utilizado em projetos multidisciplinares (EVANS, 2013).

Em essência, o Arduino é um minicomputador que opera com uma linguagem de programação que permite ao usuário definir instruções sequenciais, as quais são executadas quando carregadas no dispositivo. Através dele, pode-se, por exemplo, programar para que uma luz se acenda durante um tempo determinado logo depois de se pressionar um botão (MCROBERTS, 2015).

As placas Arduino possuem pinos digitais, configuráveis como entradas ou saídas, além de possuir entradas analógicas. Outro diferencial é o uso de software livre, o Arduino

IDE (*Integrated Development Environment*), que pode ser usado livremente por qualquer pessoa. Esse fator incentivou a criação de inúmeros projetos, muitos dos quais podem ser facilmente encontrados na internet, tendo contribuído com muitos trabalhos acadêmicos (MCROBERTS, 2015).

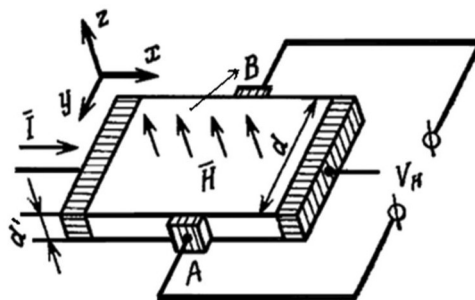
2.4.1 O sensor de efeito Hall

Para que seja possível desenvolver um gaussímetro utilizando Arduino, é preciso utilizar um sensor de efeito *Hall* conectado a ele. Tal sensor utiliza a migração de cargas elétricas em um condutor por onde passa uma corrente elétrica, quando um campo magnético é aplicado perpendicularmente à direção do seu movimento. Quando isso ocorre, é exercida uma força conhecida como força de Lorentz, que é perpendicular tanto ao campo quanto à direção do movimento (CALLISTER, 2012). A Equação 4, mostra como pode ser calculada essa força, representada por F . Nela, temos que e é a carga elétrica, B é o campo magnético e v é a velocidade da carga.

$$F = ev \times B \text{ (Equação 4)}$$

O sentido dessa força depende do sinal dos portadores de carga que pode ser negativo (para elétrons) ou positivo (para buracos), fazendo com que a partícula seja defletida em uma direção específica. Isso fará com que os portadores de cargas sejam direcionados e acumulados nas bordas opostas do material condutor. Dessa forma, entre os pontos A e B, mostrados na Figura 4, aparecerá uma diferença de potencial, denominada de tensão *Hall* (CARVALHO, 2012).

Figura 4 - Representação esquemática do Efeito Hall



Fonte: CARVALHO, 2012.

Os sensores de campo magnético por Efeito *Hall* funcionam com base na geração dessa diferença de potencial, que é diretamente proporcional à intensidade do campo magnético aplicado, e é perpendicular à direção da corrente elétrica (SILVA, 2023). A relação existente entre a tensão *Hall* (V_{Hall}) e o campo magnético B , é mostrada na Equação 5, para os portadores de carga negativos, e na Equação 6, para os portadores de carga positivos.

$$V_{Hall} = -R_H J B \text{ (Equação 5)}$$

$$V_{Hall} = R_H J B \text{ (Equação 6)}$$

Nessas equações, $-R_H$ é conhecido como coeficiente *Hall* dos portadores de carga negativos, R_H os portadores de carga positivos e J se trata da densidade de corrente.

3 METODOLOGIA

Essa proposta é uma pesquisa de natureza aplicada, com objetivo exploratório de estabelecer um método para conhecer a intensidade do campo magnético ao qual a planta será exposta num estudo para verificar a influência de campos magnéticos estáticos no seu crescimento. Tal pesquisa envolve a coleta e análise de dados referente à intensidade magnética, possuindo, então, uma abordagem quantitativa.

A pesquisa utilizou três métodos principais de geração de campos magnéticos: bobinas, solenoides e ímãs permanentes. Para realização dos experimentos, foi necessário fazer uma delimitação das intensidades dos campos magnéticos, geralmente usadas em plantas nas pesquisas. Então, foi considerado valores dentre 0,1 a 500 mT, que são superiores ao campo magnético da Terra, que varia entre 20-60 μ T. Desta forma, os cálculos foram feitos para valor de intensidade de campo magnético de 250 mT, por ser um valor mediano. Escolheu-se trabalhar com ímãs de neodímio, devido a sua alta potência magnética.

Neste trabalho, foi considerado que a aplicação do campo seria no cultivo *in vitro*, pois se trata de um método muito utilizado em pesquisas científicas por proporcionar condições controladas e livres de contaminação.

3.1 Produção de campos magnéticos através de bobinas

Para o cálculo do campo magnético gerado por bobinas, considerou-se uma bobina com 7,5 cm de diâmetro e supôs-se que ela possuísse 50 voltas. Tal bobina é o suficiente para acomodar cinco tubos de ensaio para um experimento com cinco repetições. Logo, utilizando a Equação 1, calculou-se qual seria a corrente elétrica necessária para gerar um campo magnético de 250 mT.

Foi necessário também calcular qual seria a quantidade de calor que seria gerada pelo Efeito Joule, pois produções excessivas de calor poderiam inviabilizar o experimento. Para estimar essas perdas utilizou-se a Equação 3, considerando que os tubos seriam expostos por 60 segundos ao campo magnético.

3.2 Produção de campos magnéticos através de solenoides

No Laboratório de Biotecnologia do IFMG – *Campus* Bambuí são utilizados tubos de ensaio para o cultivo *in vitro* com comprimento de 15 cm e diâmetro de 2,4 cm. Desse comprimento total, 4 cm é preenchido com substrato fértil, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Tubo de ensaio com plântula em cultivo



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Para um solenoide em torno de um tubo de ensaio, estimou-se o número de voltas que seria necessário dar em cada tubo de ensaio, considerando 12 cm de comprimento do tubo coberto pelo solenoide, com uma volta a cada 0,5 cm do tubo de ensaio, resultando em um total de 24 voltas. Dessa forma, seria possível maximizar o número de voltas sem afetar consideravelmente a entrada de luz no tubo.

Para saber o valor da corrente elétrica necessária para produzir um campo magnético de 250 mT, usou-se a Equação 2. Assim como em bobinas, foi necessário estimar qual seria a produção de calor por Efeito Joule, utilizando a Equação 3, onde considerou-se um tempo de exposição de 60 segundos e um fio 0,65 mm.

3.3 Produção de campo magnético usando ímã permanente

No caso dos ímãs permanentes, a sugestão é identificar a intensidade do campo magnético para diferentes distâncias que os tubos de ensaio podem se encontrar dos ímãs. Outra possibilidade é a utilização de ímãs de tamanhos diferentes. Porém, devido às características das linhas de campo de um ímã para saber sua intensidade com a maior precisão possível é necessário possuir um medidor de campo magnético.

Dessa forma, para viabilizar a execução de experimentos envolvendo a influência de campo magnético no crescimento vegetal no IFMG *Campus* Bambuí, buscou-se a construção de um gaussímetro.

3.3.1 Montagem do gaussímetro

Para a construção de um gaussímetro de baixo custo, fez-se uma extensa busca na literatura por trabalhos abordando este tema. Encontrou-se um artigo que relata a construção de um medidor de campo magnético com base no sensor de Efeito *Hall* usando Arduino. Esse trabalho foi desenvolvido por Silva, Wanderson. R. F *et al* (2023). Desta forma, foi construído um gaussímetro seguindo-se o modelo deste trabalho.

Para construção do medidor, inicialmente foi necessário realizar a aquisição dos materiais. Em seguida, o circuito foi montado e o código arduíno ajustado. Em relação ao código publicado pelo artigo de referência, foram feitas as seguintes alterações: O código para calibração foi separado em outro arquivo, a declaração de variáveis não utilizadas foi apagada, a configuração da tela LCD foi refeita, os cálculos e impressão dos resultados de intensidade de campo magnético foram refeitos, o tempo entre leituras sequenciais foi alterado.

Feito isso, foi necessário fazer a calibração do medidor, onde o gaussímetro foi ajustado para garantir maior precisão nas leituras.

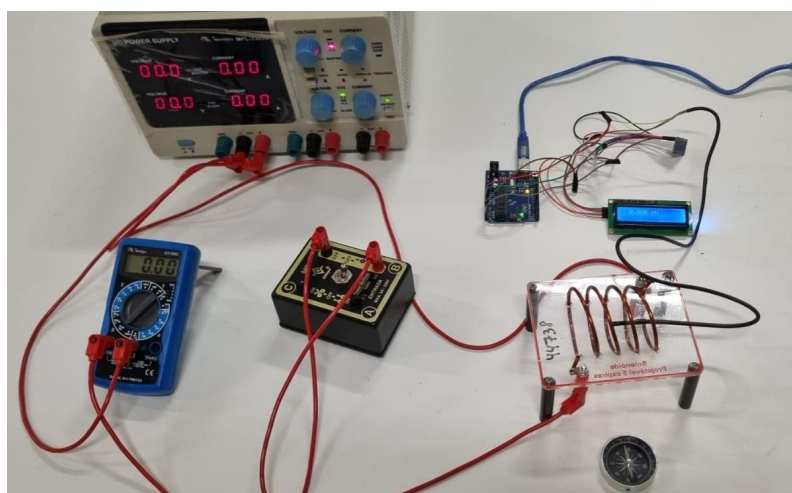
3.3.2 Calibração do gaussímetro

Diferentes sensores de efeito *Hall* podem apresentar diferenças na sensibilidade, dependendo do fornecedor. Neste trabalho, o chip utilizado foi fabricado pela empresa

Honeywell International Inc e distribuído pela *Farnell.com*, apresentando em seu catálogo uma sensibilidade de $(25 \pm 5) \text{ V/T}$. No entanto, mesmo entre sensores de mesma marca e modelo, pode haver também diferenças em suas sensibilidades (Silva, Wanderson. R. F *et al*, 2023). Visto isso, se faz necessário realizar a calibração do gaussímetro, que é feita através de uma curva de calibração, que consiste em uma relação do campo magnético exterior com a tensão *Hall*.

Para isso, primeiramente carregou-se o código de calibração para o Arduino e em seguida montou-se um circuito em série com a fonte de tensão, o amperímetro, a chave e o solenoide que possui 0,0605 m de comprimento e 4,5 voltas. Logo, alinhou-se o solenoide paralelamente ao campo magnético terrestre de Bambuí - MG, conforme a Figura 6. Este alinhamento é necessário para permitir que o campo magnético total seja determinado pela soma do campo geomagnético com o campo do solenoide.

Figura 6 – Circuito usado para calibração do gaussímetro



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O módulo conversor analógico-digital, ADS1115, possui um limite de tensão de saída de 300 mV e um ganho que pode ser ajustado entre 2/3 e 16. Este módulo envia para o Arduino apenas sinais múltiplos de um valor de tensão, que depende do ganho. Por exemplo, para o ganho um, o valor da tensão de saída é um múltiplo de 0,125 mV. Foi observado que com o ganho dois, a tensão no módulo chegava ao seu limite ao medir o campo magnético dos ímãs utilizados neste trabalho, impedindo a medida de valores superiores. Desta forma, o ganho foi ajustado para um.

Ao executar a calibração, foi-se aumentando gradativamente a corrente até chegar a um valor de campo magnético que correspondesse a valores de tensão de saída múltiplos de 0,125 mV.

Conforme alcançados, foram anotados os valores da corrente no circuito. Em seguida, usando a Equação 2, foi calculada a intensidade do campo magnético que se encontrava no interior do solenoide. Para cada valor obtido, foi somada a componente horizontal do campo magnético terrestre em Bambuí, cujo valor foi obtido no site da *National Centers for Environmental Information* (NOOA, 2025).

Com esses valores, construiu-se então um gráfico da tensão *Hall* em função da intensidade do campo magnético, feito uma regressão linear e implementado a equação obtida no código. Logo, fez-se o teste do gaussímetro e verificado se os valores de campo magnético estavam coerentes conforme a literatura.

3.3.3 *Teste do gaussímetro*

Para o teste do gaussímetro, foi utilizado ímãs de neodímio cilíndrico com 10 mm de diâmetro e 6 mm de largura e uma régua que possui menor escala em milímetros. Para realizar o experimento, posicionou-se, inicialmente o ímã no ponto 5 mm da régua e foi mudando sua posição em intervalos de 5 mm até chegar ao ponto 80 mm. Enquanto isso, manteve-se o gaussímetro na posição 0 mm. Para cada posição foi medido a intensidade do campo magnético e em seguida feito um gráfico da intensidade medida em função da distância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da revisão bibliográfica, os estudos demonstraram que a aplicação de campos magnéticos influencia o desenvolvimento de plantas, sugerindo grande potencial para melhorar as práticas agrícolas de forma controlada e sustentável. Em relação aos métodos, esses mostraram resultados diferentes ao se usar bobinas ou solenoides e ao usar ímãs permanentes.

4.1 Produção de campos magnéticos através de bobinas

No caso das bobinas, verificou-se que, embora a equação matemática utilizada fosse eficaz para prever os valores de campo magnético, ao fazer os devidos cálculos chegou-se a um valor corrente elétrica de $i=298 A$. Tal valor é excessivamente grande, geralmente é usado em indústrias ou equipamentos de alta tensão. Dessa forma, não se possuía fonte de tensão que atendesse ao objetivo da pesquisa.

Além disso, calculou-se qual seria a energia dissipada por Efeito Joule cujo resultado foi de $Q=3,28 MJ$, que é o grande o suficiente para derreter o próprio fio antes dos 60 segundos se passarem. Com esse valor, por exemplo, usando a equação $Q=m.c.\Delta T$, pode-se calcular a variação de temperatura sofrida pela água presente nos tubos de ensaio. Foi verificado haver 20 ml de água em cada tubo, possuindo então um total de 100 ml no interior da bobina. O valor obtido foi de $\Delta T=7853,93^\circ C$, ou seja, seria extremamente inviável.

4.2 Produção de campos magnéticos através de solenoides

Para os solenoides em torno dos tubos de ensaio, a corrente elétrica calculada foi de $i=994,72 A$ sendo exageradamente grande. Assim, como nas bobinas, por mais que a equação matemática utilizada facilite os estudos da intensidade do campo magnético esses resultados são assustadores.

Com essa corrente elétrica, a energia dissipada por efeito Joule seria de $Q=553,91 MJ$, conforme os cálculos realizados. Esse calor levaria ao derretimento do fio antes mesmo de se passar os 60 segundos. Como cada tubo possui 20 ml de água, essa energia, utilizando a equação $Q=m.c.\Delta T$, forneceria uma variação na temperatura de

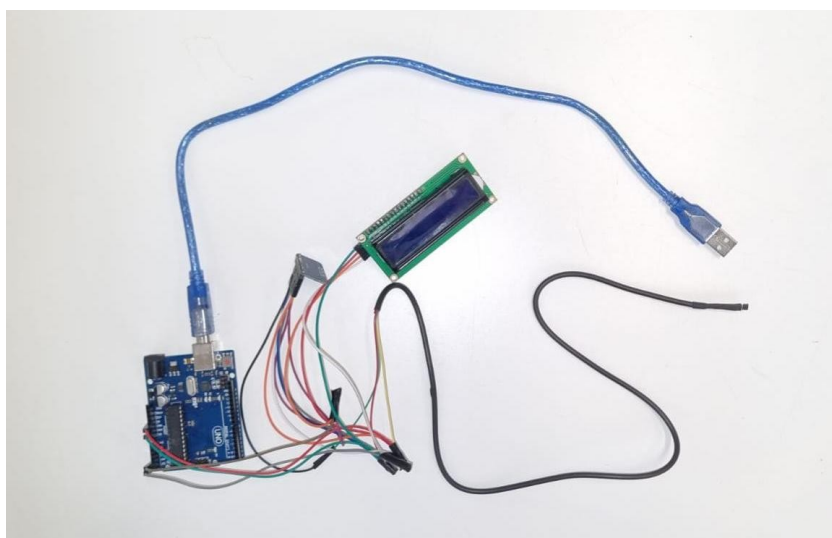
$\Delta T = 66256,67^{\circ}\text{C}$, considerando as mesmas condições anteriores. Esse resultado é exageradamente grande, mostrando que se torna um experimento inviável.

4.3 Produção de campos magnéticos através de ímãs permanentes

4.3.1 Montagem do medidor de campo magnético

A Figura 7 mostra o resultado da montagem do medidor de campo magnético.

Figura 7 – Medidor de campo magnético montado



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Feita a montagem do medidor de campo magnético, os resultados obtidos ao ser realizada a sua calibração estão detalhados a seguir.

Os códigos para calibração e operação do gaussímetro são mostrados respectivamente nos ANEXOS A e B.

4.3.2 Calibração

Através do procedimento de calibração do gaussímetro, foram obtidos os dados mostrados na Tabela 1. Nela, i é a corrente elétrica medida pelo amperímetro, B_{Total} é o campo

magnético total resultante da soma do campo magnético externo e o campo magnético terrestre e V_{Hall} é a tensão *Hall* medida pelo gaussímetro.

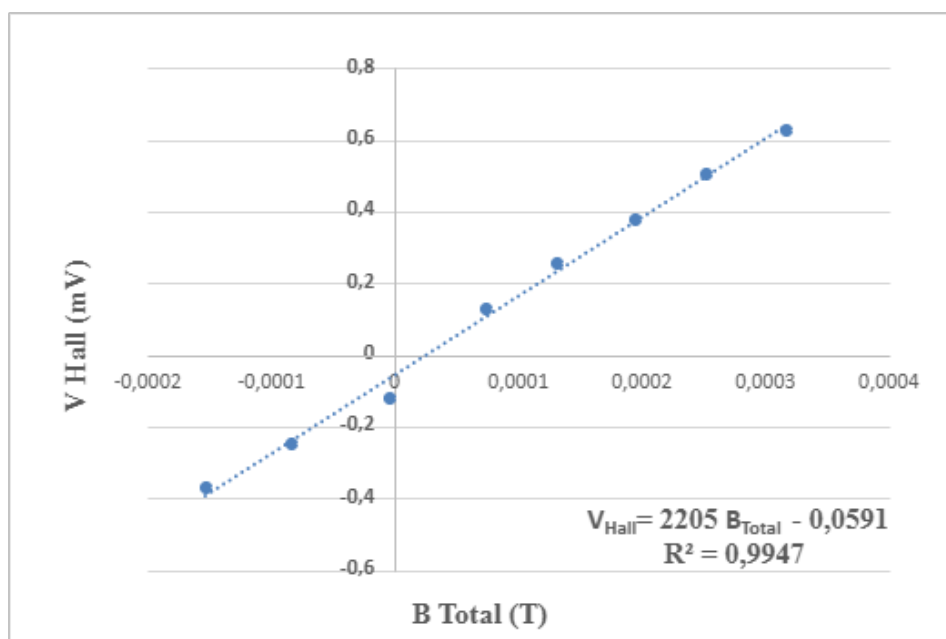
Tabela1 – Valores obtidos para a corrente, campo magnético total e tensão *Hall*

i (A)	B_{Total} (μT)	V_{Hall} (mV)
-0,360	-4,069	-0,125
-1,220	-84,449	-0,250
-1,950	-152,679	-0,375
0,470	73,511	0,125
1,080	130,531	0,250
1,760	194,091	0,375
2,370	251,101	0,500
3,070	316,531	0,625

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Dessa forma, com os valores, dos campos magnéticos calculados e da tensão, denominada de Tensão *Hall*, correspondente construiu-se o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Valores da tensão *Hall* em função do campo magnético



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Através de uma regressão linear dos valores experimentais, foi possível obter-se a Equação 7, que relaciona a Tensão *Hall* e o campo magnético. Através dela, o campo magnético é calculado pelo gaussímetro construído.

$$B_{Total} = (V_{Hall} + 0,0591) / 2205 \text{ (Equação 7)}$$

Devido a flutuações presentes no circuito do dispositivo, a tensão *Hall* medida pelo dispositivo é diferente de zero mesmo quando o sensor não está na presença de um campo magnético externo. Tal fato justifica a reta não passar pela origem.

Em ganho um, o módulo ADS1115 possui resolução de 0,125 mV. Ao substituir esse valor na Equação 4, obtém-se o valor de $B = 29,88 \mu\text{T}$, correspondendo a resolução do gaussímetro.

4.3.3 *Teste do gaussímetro*

Os valores da intensidade do campo magnético em relação à distância que o gaussímetro se encontrava do ímã foram registrados conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores da intensidade do campo magnético em relação à distância

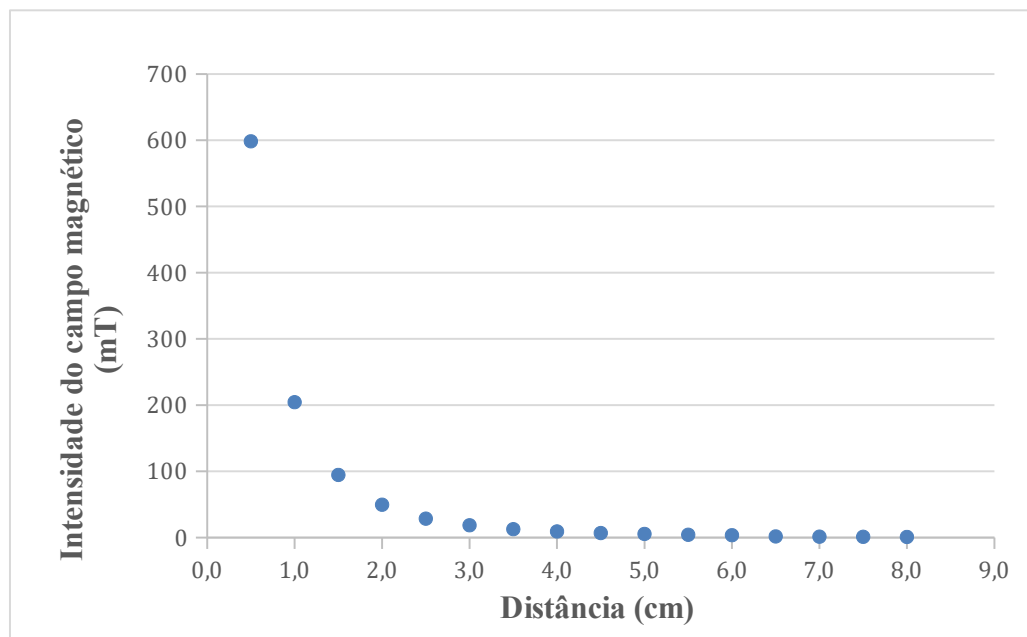
Distância (cm)	Intensidade do campo magnético (mT)
8,00	0,90
7,50	1,10
7,00	1,30
6,50	1,69
6,00	3,52
5,50	4,20
5,00	5,44
4,50	6,80
4,00	9,19
3,50	12,64
3,00	18,54
2,50	28,51
2,00	49,55

1,50	94,55
1,00	204,39
0,50	598,36

Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Através desses dados, criou-se o Gráfico 2.

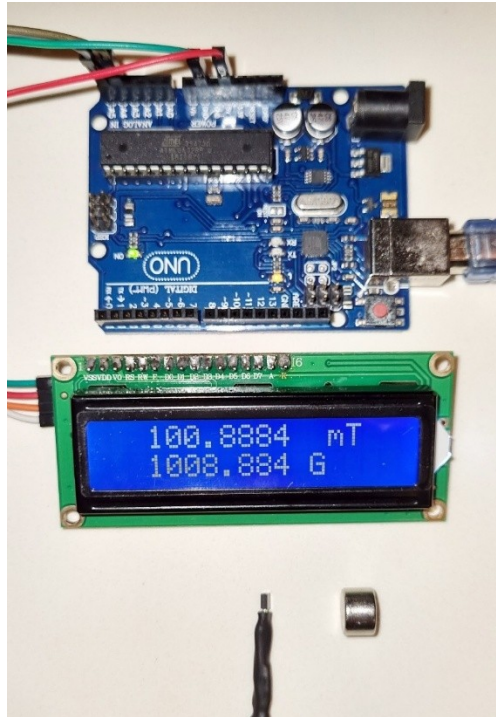
Gráfico 2 – Intensidade do campo magnético em função da distância



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Por meio desses resultados, foi possível verificar que o gaussímetro pode caracterizar o campo magnético produzido por um ímã dentro dos tubos de ensaio com as plantas. A Figura 8 mostra uma imagem do gaussímetro construído e como se deu seu funcionamento na presença de um ímã.

Figura 8 – Funcionamento do gaussímetro na presença de um ímã



Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

5 CONCLUSÕES

Os desafios técnicos relacionados à dissipação de calor e às altas correntes elétricas em bobinas e solenoides limitam a aplicação prática desses métodos para a geração de campos magnéticos na ordem de miliTesla (mT). Essas limitações decorrem da necessidade de fontes de tensão adequadas para gerar as correntes elétricas intensas e da grande espessura do fio para suportar tal corrente, além dos riscos associados ao calor dissipado pelo Efeito Joule.

No entanto, para a utilização de ímãs permanentes, a construção de um gaussímetro utilizando Arduino foi validada como uma alternativa prática e de baixo custo, ampliando o acesso a tecnologias que possibilitam a investigação de fenômenos magnéticos na agricultura. Por isso, recomenda-se, para trabalhos futuros, a sua utilização para caracterização de campos magnéticos produzidos por ímãs aplicados no cultivo *in vitro* de plantas, explorando diferentes espécies, intensidades de campo magnético e condições de cultivo.

Contudo, este trabalho alcançou avanços significativos no desenvolvimento de métodos para aplicar e medir campos magnéticos em estudos de cultivo *in vitro* de plantas, contribuindo para o avanço da pesquisa no uso de campos magnéticos na agricultura sustentável, no IFMG- *Campus* Bambuí.

REFERÊNCIAS

- ASSAD, Maria-Leonor Lopes; ALMEIDA, Jalcione. Agricultura e sustentabilidade – contexto, desafios e cenários. **Ciência & Ambiente**, n. 29, p. 15-30, 25 set. 2024.
- CALLISTER, Jr., William D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- CALVACANTE, Ruan Santana. **Análise do efeito do campo magnético na germinação *in vitro* de variedades comerciais de *Solanum lycopersicum* L.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.
- CARVALHO, C. L.; REYNOSCO, V. C.S. Construction of a system for characterization of transport properties of thin films by Hall effect. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n.1, 2012.
- EVANS, Martin; NOBLE, Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. **Arduino em ação**. São Paulo: Novatec editora Ltda, 2013.
- FERREIRA, D.F. SISVAR. A COMPUTER ANALYSIS SYSTEM TO FIXED EFFECTS SPLIT PLOT TYPE DESIGNS. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>. Acesso em: 21 ago. 2024.
- HAFEEZ, Muhammad Bilal. *et al.* Growth, physiological, biochemical and molecular changes in plants by magnetic field: A review. **Biologia vegetal**, v. 25, p. 8-23, 2022.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALK, Jearl. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- HEWITT, Paul g. **Física conceitual**. 12.ed. Porto alegre: Bookman, 2015.
- MACHADO, Kleber Daum. **Teoria do eletromagnetismo: Volume II**. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.
- MECROBERTS, Michael. **Arduíno Básico**. São Paulo: Novatec editora Ltda, 2011.
- NOAA Magnetic Field Calculator. Disponível em: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/calculators/magcalc.shtml#igrfwmm>. Acesso em: 23 jan. 2025.
- RADHAKRISHNAN, Ramalingam. Magnetic field regulates plant functions, growth and enhances tolerance against environmental stresses. **Physiol Mol Biol plants**, v. 25, n. 5, p. 1107-1119. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00699-9>. Acesso em: 30 dez. 2024.
- SAHEBJAMEI H., ABDOLMALEKI P., GHANATI F. Efeitos do campo magnético nas atividades de enzimas antioxidantes de células de tabaco cultivadas em suspensão. **Bioeletromagnética**, v.28, n.1, p. 42–47. Disponível em: doi: 10.1002/bem.20262. Acesso em: 30 dez. 2024.
- SARRAF, M. *et al.* Magnetic Field (MF) Applications in Plants: An Overview. **Plants**, v. 9, n. 9, p. 1139–1156, set. 2020.

SILVA, Wanderson. R. F *et al.* Construção de um medidor de campo magnético para utilização em processos de geração e manipulação de correntes puras de spin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Visçosa, vol. 45, jun. 2023.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio, volume 3: eletricidade, física moderna**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física III: Eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

ANEXO A - Código fonte para calibração do gaussímetro

```
// Projeto: Calibração do Gaussímetro.

// INCLUSÃO DE BIBLIOTECAS
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

// DEFINIÇÕES
#define endereco 0x27 // Endereços comuns: 0x27, 0x3F
#define colunas 16
#define linhas 2

// INSTANCIANDO OBJETOS
Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */
LiquidCrystal_I2C lcd(endereco, colunas, linhas);

/* Be sure to update this value based on the IC and the gain settings! */
float multiplier = 0.125;
float background;
float soma = 0;
float valor;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //ADS
  // The ADC input range (or gain) can be changed via the following
  // functions, but be careful never to exceed VDD +0.3V max, or to
  // exceed the upper and lower limits if you adjust the input range!
  // Setting these values incorrectly may destroy your ADC!
  // ADS1015 ADS1115
  // -----
  // ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V 1 bit = 3mV 0.1875mV
  (default)
  ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain +/- 4.096V 1 bit = 2mV 0.125mV
  // ads.setGain(GAIN_TWO); // 2x gain +/- 2.048V 1 bit = 1mV 0.0625mV
  // ads.setGain(GAIN_FOUR); // 4x gain +/- 1.024V 1 bit = 0.5mV 0.03125mV
  // ads.setGain(GAIN_EIGHT); // 8x gain +/- 0.512V 1 bit = 0.25mV 0.015625mV
  // ads.setGain(GAIN_SIXTEEN); // 16x gain +/- 0.256V 1 bit = 0.125mV 0.0078125mV
  ads.begin();
  //Fim ADS
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  for (int i = 0; i < 5; i++){
    valor = (ads.readADC_Differential_0_1()*multiplier);
    soma += valor;
  }
}
```

```
delay(200);
}
background = soma/5;
}
void loop()
{
// ADS
int16_t leitura;
int16_t results;
leitura = ads.readADC_Differential_0_1()*multiplier;
results = leitura - background;
lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0);
Serial.print(results*multiplier, 3);
lcd.print(results*multiplier, 3);
Serial.println(" mV");
lcd.print(" mV");
delay(200);
//Fim ADS
}
```

ANEXO B - Código fonte do gaussímetro

```

// Projeto: Gaussímetro.

// INCLUSÃO DE BIBLIOTECAS
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1015.h>

// DEFINIÇÕES
#define endereco 0x27 // Endereços comuns: 0x27, 0x3F
#define colunas 16
#define linhas 2

// INSTANCIANDO OBJETOS
Adafruit_ADS1115 ads; /* Use this for the 16-bit version */
LiquidCrystal_I2C lcd(endereco, colunas, linhas);

/* Be sure to update this value based on the IC and the gain settings! */
float multiplier = 0.125F;
float background = 0;
float soma = 0;
float valor;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  //ADS
  // The ADC input range (or gain) can be changed via the following
  // functions, but be careful never to exceed VDD +0.3V max, or to
  // exceed the upper and lower limits if you adjust the input range!
  // Setting these values incorrectly may destroy your ADC!
  // ADS1015 ADS1115
  // -----
  // ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // 2/3x gain +/- 6.144V 1 bit = 3mV 0.1875mV
  // (default)
  ads.setGain(GAIN_ONE); // 1x gain +/- 4.096V 1 bit = 2mV 0.125mV
  // ads.setGain(GAIN_TWO); // 2x gain +/- 2.048V 1 bit = 1mV 0.0625mV
  // ads.setGain(GAIN_FOUR); // 4x gain +/- 1.024V 1 bit = 0.5mV 0.03125mV
  // ads.setGain(GAIN_EIGHT); // 8x gain +/- 0.512V 1 bit = 0.25mV 0.015625mV
  // ads.setGain(GAIN_SIXTEEN); // 16x gain +/- 0.256V 1 bit = 0.125mV 0.0078125mV
  ads.begin();
  //Fim ADS
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.clear();
  for (int i = 0; i < 5; i++){
    valor = (ads.readADC_Differential_0_1()*multiplier);
  }
}

```

```
soma += valor;
delay(1000);
}
background = soma/5;
//Serial.print(background, 2);
//Serial.println(" ");
}
void loop()
{
// ADS
int16_t results;
results = ads.readADC_Differential_0_1();g
float Magnetic_Field = (((results*multiplier)-background+0.0591)/2205); // B(G)
float Magnetic_Field_mT = Magnetic_Field*1000;
float Magnetic_Field_G = Magnetic_Field*10000;
Serial.print(Magnetic_Field,4);
Serial.println(" T");
Serial.print(Magnetic_Field_mT,4);
Serial.println(" mT");
Serial.print(Magnetic_Field_G,3);
Serial.println(" G");
Serial.println();
// lcd.setCursor(coluna, linha);
lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print(Magnetic_Field_mT,4);
lcd.print(" mT");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(Magnetic_Field_G,3);
lcd.print(" G");
delay(1000);
}
```