



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

MONOGRAFIA

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE
INTERVENÇÃO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE
NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA A ESTUDANTES DO ENSINO
MÉDIO**

MARGARETE FERNANDES DA SILVA

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Suzana Pereira Vila Nova

Co-orientador: Dr. Leonis Lourenço da Luz

Recife/PE

Fevereiro/2024

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE
INTERVENÇÃO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE
NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA A ESTUDANTES DO ENSINO
MÉDIO**

MARGARETE FERNANDES DA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso relativo ao componente curricular obrigatório “Monografia”, como requisito parcial à obtenção do grau de Licenciado em Química pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE).

Recife/PE

Fevereiro/2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D111p

da Silva, Margarete Fernandes

Proposta de sequência didática como ferramenta de intervenção no processo de ensino-aprendizagem de nanociência e nanotecnologia a estudantes do ensino médio / Margarete Fernandes da Silva. - 2024.
95 f. : il.

Orientadora: Suzana Pereira Vila Nova.
Coorientador: Leonis Lourenco da Luz.
Inclui referências, apêndice(s) e anexo(s).

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Recife, 2024.

1. Ensino. 2. Germinação. 3. Nanopartícula. 4. Agricultura. 5. Nanociência. I. Nova, Suzana Pereira Vila, orient. II. Luz, Leonis Lourenco da, coorient. III. Título

CDD 540

Ata de Defesa de Monografia da aluna do
Curso de Licenciatura em Química, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco,
Margarete Fernandes da Silva, realizada no
dia 27/02/2024.

Ao vigésimo sétimo dia do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e quatro (27/02/2024) às 14h, teve início a sessão para defesa da monografia intitulada: "PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA COMO FERRAMENTA DE INTERVENÇÃO NO PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA A ESTUDANTES DO ENSINO MÉDIO". escrita pela aluna Margarete Fernandes da Silva, regularmente matriculada nesta Universidade, sob a orientação da Professora Suzana Pereira Vila Nova e Coorientada pelo Professor Leonis Lourenço da Luz. A Banca Examinadora nomeada pelo Professor Bruno Silva Leite, Coordenador do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, foi composta pelos Professores: Suzana Pereira Vila Nova, Kátia Cristina Silva de Freitas e Thiago Muniz de Souza, sob a presidência do primeiro. Dando início aos trabalhos, a Presidente da Banca passou a palavra à aluna Margarete Fernandes da Silva para a apresentação oral da Monografia. Após a explanação a aluna foi arguida pela Banca Examinadora que fez algumas sugestões. Em seguida a Presidente teceu alguns comentários e pediu que a Banca Examinadora se isolasse para que fosse feita a avaliação da Defesa da aluna. Ao retornar à sala, a Banca Examinadora na presença de professores, alunos e convidados, apresentou o resultado da Avaliação, tendo sido a Monografia **aprovada** com a nota (). Não havendo mais nada a comentar, a Presidente deu por encerrada a sessão. E para constar, eu, Aécio Vasconcelos de Alencar, lavrei a presente ata que após lida e aprovada será assinada pela Presidente e os demais presentes, em 27 de fevereiro de 2024.

Presentes:

DEDICATÓRIA

À minha mãe, Edite (in memorian), que em todos os momentos de minha vida intercedeu e segue intercedendo por mim junto a Deus pela minha vida, saúde, felicidade e prosperidade. Seu amor e sabedoria continuam a inspirar cada passo que dou, e sua presença permanece viva em meu coração. Agradeço também por ter sido meu exemplo de força, resiliência e bondade, moldando-me em uma pessoa melhor a cada dia.

Aos meus filhos, Douglas e Henrique, que com sua ajuda e incentivo contribuíram para a conclusão deste curso. Seu apoio inabalável e sua compreensão foram verdadeiros pilares durante essa jornada, e é com gratidão que reconheço o valor do seu amor e encorajamento. Que nossa união continue a fortalecer-se, pois são vocês que me motivam a alcançar o melhor de mim mesmo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram, de maneira direta ou indireta, para minha formação acadêmica e para a conclusão deste trabalho. Em tempo, gostaria de me desculpar àqueles que, porventura, eu tenha esquecido de mencionar aqui.

Agradeço profundamente a Deus por ser e me tornar tudo aquilo que sou hoje, por minha vida e saúde, e por permitir que eu alcance mais esta etapa em minha jornada. Sou grato também por colocar em minha trajetória pessoas que sempre estiveram dispostas a me ajudar nos momentos mais desafiadores.

À minha mãe, Edite (*in memoriam*), e aos meus filhos, Douglas e Henrique, expresso minha gratidão pela proteção, incentivo, ajuda e carinho sempre dedicados a mim.

Aos meus orientadores, Prof.^a Dr.^a Suzana e Dr. Leonis, manifesto minha sincera gratidão pelos conhecimentos compartilhados, pelas ideias proporcionadas e pelo apoio oferecido no tratamento dos dados e na execução desta pesquisa.

Aos meus estimados professores, que ao longo de minha trajetória neste curso, transmitiram o conhecimento necessário para a realização deste trabalho, expresso minha profunda apreciação.

Aos colaboradores do DQF/UFPE, em especial ao Prof. Dr. Severino Alves Júnior, Dr.^a Cristiane Kelly de Oliveira e M. Sc Edson da Silva Reis, manifesto minha gratidão pela contribuição exemplar com ideias e sugestões para a construção deste trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, Robson, Lucas, Wagner e Jéssica, expresso minha sincera gratidão pelo auxílio constante e perspicácia na resolução de minhas dúvidas e problemas durante a produção deste trabalho.

Ao DQF/BSTR da UFPE, agradeço pelos recursos do laboratório fornecidos para a realização da pesquisa, os quais foram de fundamental importância para o desenvolvimento deste estudo.

RESUMO

Diante do crescente cenário evolutivo das ciências e tecnologia ao qual a sociedade contemporânea está submetida, torna-se fundamental a abordagem de novos conceitos tecnológicos na formação educacional. Neste panorama, um destaque especial deve ser dado aos estudos de Nanociência e Nanotecnologia, uma vez que esta área da ciência vem se demonstrando cada vez mais presente nos mais diversificados campos da economia e dos setores energético, industrial e agrícola em função de sua elevada aplicabilidade e da geração de novos produtos, proporcionando ainda efeitos na qualidade de vida das pessoas. Por se tratar de uma ciência com alto grau de abstração, seu ensino acaba se tornando um desafio; fato que torna imprescindível o uso de novos modelos de ensino-aprendizado em substituição ao tradicional comumente aplicado nas escolas, a fim de estimular o pensamento crítico, a aplicação prática do conhecimento e a resolução de problemas. No presente trabalho, tem-se por objetivo o desenvolvimento de uma proposta de Sequência Didática do uso de *Carbon Dots* aplicado ao estudo de germinação de sementes como ferramenta de intervenção no ensino de Nanociência e Nanotecnologia a uma turma do Ensino Médio, usando como base a experimentação investigativa. Esta proposta facilitará o planejamento e a organização das atividades, auxiliando o professor na condução das aulas de maneira lógica e estruturada. Previamente ao desenvolvimento da Sequência Didática, foram realizados ensaios de germinação com sementes de milho e feijão, utilizando soluções de nanopartículas de carbono (*Carbon Dots*), como figura de mérito. Foram obtidos resultados positivos quanto ao desenvolvimento das plântulas, permitindo avaliar a eficiência de germinação a partir do número de sementes germinadas e analisar o crescimento das raízes a partir da medição de seus comprimentos. Uma vez validado o experimento, a segunda etapa do trabalho consistiu no desenvolvimento da proposta da Sequência Didática, a partir da adaptação de um modelo já contemplado na literatura, contudo abordando a temática de Nanociência e Nanotecnologia. A Sequência Didática proposta foi dividida em momentos de cunho teórico, prático e avaliativo, nos quais seriam abordados conteúdos relacionados aos componentes curriculares de Química, Biologia e Matemática, para a compreensão dos processos e avaliação dos resultados obtidos nos ensaios de germinação. A Sequência Didática proposta permitirá a construção de uma estrutura clara e ordenada no desenvolvimento das aulas a partir de uma abordagem mais contextualizada, dinâmica e interativa em comparação ao tradicional modelo de ensino. Além disso, ela deve proporcionar um ensino mais atrativo para os estudantes e obtenção de uma maior efetividade na construção e fixação do conhecimento.

Palavras-chave: Ensino, Germinação, Nanopartícula, *Carbon Dots*, Agricultura.

ABSTRACT

Given the growing evolutionary scenario of science and technology to which contemporary society is subjected, it is essential to approach new technological concepts in educational training. In this panorama, special emphasis must be given to Nanoscience and Nanotechnology studies, since this area of science has been increasingly present in the most diverse fields of the economy and the energy, industrial and agricultural sectors due to its high applicability. and the generation of new products, also providing effects on people's quality of life. As it is a science with a high degree of abstraction, its teaching ends up becoming a challenge; a fact that makes it essential to use new teaching-learning models to replace the traditional one commonly applied in schools, in order to stimulate critical thinking, the practical application of knowledge and problem solving. In the present work, the objective is to develop a proposal for a Didactic Sequence for the use of Carbon Dots applied to the study of seed germination as an intervention tool in teaching Nanoscience and Nanotechnology to a High School class, using as a basis the investigative experimentation. This proposal will facilitate the planning and organization of activities, helping the teacher to conduct classes in a logical and structured manner. Prior to the development of the Didactic Sequence, germination tests were carried out with corn and bean seeds, using solutions of carbon nanoparticles (Carbon Dots), as a figure of merit. Positive results were obtained regarding seedling development, allowing the evaluation of germination efficiency based on the number of germinated seeds and analyzing root growth based on measuring their lengths. Once the experiment was validated, the second stage of the work consisted of developing the Didactic Sequence proposal, based on the adaptation of a model already considered in the literature, however addressing the theme of Nanoscience and Nanotechnology. The proposed Didactic Sequence was divided into theoretical, practical and evaluative moments, in which content related to the curricular components of Chemistry, Biology and Mathematics would be addressed, to understand the processes and evaluate the results obtained in the germination tests. The proposed Didactic Sequence will allow the construction of a clear and orderly structure in the development of classes based on a more contextualized, dynamic and interactive approach compared to the traditional teaching model. Furthermore, it must provide more attractive teaching for students and achieve greater effectiveness in the construction and retention of knowledge.

Keywords: Teaching, Germination, Nanoparticle, Carbon Dots, Agriculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Buckminsterfulereno (molécula esférica de fulereno C60) e (b) nanotubo de carbono.....	26
Figura 2 - Comparação de dimensão de diferentes partículas.....	30
Figura 3 - Tipos de nanoestruturas dos materiais.....	32
Figura 4 - Modelo de absorção e transporte de nanopartículas nas plantas.....	35
Figura 5 - Aparelho microondas contendo a mistura de reagentes (a) antes do aquecimento e (b) após o aquecimento com microondas.....	40
Figura 6 - (a) Extração dos CNDs com água deionizada e transferência para tubos falcon para centrifugação. (b) Suspensão de CNDs após a centrifugação.....	41
Figura 7 - Filtração da suspensão de CNDs em filtros <i>millipore</i>	41
Figura 8 - Esquemático do teste de germinação das sementes em cada solução de CNDs.....	43
Figura 9 - Esquemático da distribuição das sementes sobre a cama de papéis.....	44
Figura 10 - (a) Construção de uma cama de papel com dez sementes de milho. (b) Umidificação da cama com uma solução de CNDs.....	44
Figura 11 - Esquemático da disposição de um grupo de 50 sementes enrolado em cinco camadas de papel, posteriormente enroladas e alocadas dentro de uma garrafa PET.....	45
Figura 12 - (a) Cama de papéis com sementes de milho já umedecida sendo enrolada. (b) Garrafa PET contendo cinco camadas de milho enroladas.....	45
Figura 13 - Distribuição do tamanho das nanopartículas de carbono, obtida por Microscopia Eletrônica de Transmissão.....	50
Figura 14 - Semente de milho (a) não germinada, (b) não germinada, porém com radícula, (c) germinada de modo anormal e (d) germinada de modo normal.....	52
Figura 15 - Semente de feijão (a) não germinada, (b) não germinada, porém com radícula, (c) germinada de modo anormal e (d) germinada de modo normal.....	52
Figura 16 - Crescimento germinativo das sementes de milho dos grupos (a) 1 (grupo de controle), (b) 2 (solução de 100 µg CND/mL), (c) 3 (solução de 500 µg CND/mL) e (d) 4 (solução de 1000 µg CND/mL)	53
Figura 17 - Crescimento germinativo das sementes de feijão dos grupos (a) 1 (grupo de controle), (b) 2 (solução de 100 µg CND/mL), (c) 3 (solução de 500 µg CND/mL) e (d) 4 (solução de 1000 µg CND/mL)	55
Figura 18 - Procedimento de medição do comprimento das raízes das sementes de (a) milho e (b) feijão.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Esquema dos momentos pedagógicos	48
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística descritiva do comprimento das raízes das sementes de milho.....	60
Tabela 2 - Estatística descritiva do comprimento das raízes das sementes de feijão.....	60
Tabela 3 - Teste estatístico de Kruskal-Wallis do comprimento das raízes das sementes de milho.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	-	Base Nacional Comum Curricular
BSTR	-	Laboratório de Terras Raras
C	-	Carbono
CD	-	<i>Carbon Dots</i>
CdSe	-	Seleneto de Cádmio
CND	-	<i>Carbon Nanodots</i>
CPD	-	<i>Dots poliméricos carbonizados</i>
CQD	-	<i>Quantum Dots de carbono</i>
CV	-	Coefficiente de Variação
DQF	-	Departamento de Química Fundamental
GQD	-	<i>Quantum dots de grafeno</i>
K	-	Potássio
KOH	-	Hidróxido de Potássio
LDB	-	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
MEC	-	Ministério da Educação
MET	-	Microscopia Eletrônica de Transmissão
MEV	-	Microscopia Eletrônica de Varredura
MFA	-	Microscopia de Força Atômica
NC	-	Nível de Confiança
PCNEM	-	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PET	-	Politereftalato de Etileno
pH	-	Potencial Hidrogeniônico
PNE	-	Plano Nacional de Educação
pOH	-	Potencial Hidroxiliônico
SD	-	Sequência Didática
TDIC	-	Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação
UFPE	-	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	-	Universidade Federal Rural de Pernambuco
ZnS	-	Sulfeto de Zinco

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos

CV	-	Coefficiente de variação
H ₀	-	Hipótese nula
H ₁	-	Hipótese alternativa
m _{cama}	-	Massa média das camas de folhas
NC	-	Nível de confiança
p _{value}	-	Valor “p” (probabilidade)
p _{value adj}	-	Valor “p” (probabilidade) ajustado
V _{CND}	-	Volume de solução de <i>Carbon Nanodots</i>

Letras gregas

α	-	Nível de significância
μ	-	Micro (prefixo)

Subscritos

0	-	Nulo
1	-	Alternativo
<i>adj</i>	-	Ajustado
<i>cama</i>	-	Cama de folhas
<i>CND</i>	-	<i>Carbon Nanodots</i>
<i>value</i>	-	Valor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1. O Ensino de Ciências da Natureza conforme a Base Nacional Comum Curricular.....	16
2.2. Metodologias de Ensino Ativas no Ensino de Química.....	18
2.2.1. EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA COMO METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA.....	19
2.2.2. APRENDIZAGEM COLABORATIVA COMO METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA.....	22
2.3. Sequência didática como estratégia educacional para o Ensino de Química.....	24
2.4. Fundamentos de nanociências e nanotecnologia.....	25
2.4.1. BREVE HISTÓRICO E APLICAÇÕES DA NANOCIÊNCIA E DA NANOTECNOLOGIA.....	25
2.4.2. CONCEITOS DE NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA.....	29
2.4.3. <i>CARBON DOTS</i> E SEU USO COMO ESTIMULANTE DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES.....	33
2.4.4. A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA PARA O ENSINO MÉDIO.....	36
3. METODOLOGIA.....	38
3.1. Etapa 1: síntese das nanopartículas de carbono.....	39
3.2. Etapa 2: testes de germinação com soluções de <i>Carbon Dots</i>.....	42
3.3. Etapa 3: elaboração da proposta de sequência didática.....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1. Síntese das nanopartículas de carbono e formulação das soluções de <i>Carbon Dots</i>.....	49
4.2. Testes de germinação de sementes.....	51
4.2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS SEMENTES GERMINADAS.....	51
4.2.2. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS RAÍZES DAS SEMENTES.....	59
4.3. Proposta de Sequência Didática.....	63
5. CONCLUSÃO.....	83
REFERÊNCIAS.....	86
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO PRÉVIO.....	91
APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO FINAL AVALIATIVO.....	93

1. INTRODUÇÃO

No cenário contemporâneo, caracterizado pela constante evolução da ciência e tecnologia, a compreensão e o envolvimento com campos científicos emergentes, tornam-se indispensáveis para a formação educacional em todo o mundo. Entre esses campos, destacam-se as Nanociências e a Nanotecnologia, áreas que exploram a manipulação e estudo de materiais em escalas nanométricas. A crescente relevância dessas áreas transcende as fronteiras dos laboratórios de pesquisa, influenciando aspectos econômicos, industriais e a qualidade de vida das pessoas. Neste contexto, é fundamental reconhecer a necessidade de proporcionar oportunidades de aprendizado e aproximar a comunidade estudantil aos conhecimentos e tecnologias decorrentes de estudos em Nanociências e Nanotecnologia, desde as fases iniciais da formação educacional. Essa necessidade existe visto que a abordagem do tema enriquece o conhecimento dos estudantes e prepara a sociedade para uma participação mais informada e ativa em um mundo cada vez mais impregnado de tecnologia (TOMKELSKI *et al.*, 2019).

O contato com Nanociências e Nanotecnologias é de suma importância no mundo moderno, pois essas áreas vêm trazendo avanços significativos em setores como medicina, eletrônica, energia e materiais. Compreender as implicações da escala nanométrica nas propriedades dos materiais, tais como aumento de resistência, aumento de área superficial, superhidrofobicidade, diagnósticos médicos mais precisos e tratamentos mais eficazes. Portanto, o contato com essa área do conhecimento não apenas amplia o horizonte científico dos estudantes, mas também capacita indivíduos e sociedades a enfrentarem os desafios e oportunidades do século XXI.

O atual modelo de educação em implementação no Brasil, busca romper com o tradicional método de ensino centrado na memorização indiscriminada e na passividade do aluno em direção a uma abordagem mais ativa focada no protagonismo do estudante, estimulando o pensamento crítico, a resolução de problemas e a aplicação prática do conhecimento. Esse método é fundamental para preparar os estudantes de maneira eficaz para o mundo contemporâneo. Dessa forma, o conceito de aprendizado ativo é um modelo que tem a capacidade de abordar eficazmente a maioria dos desafios enfrentados pelas instituições de ensino, destacando que uma educação de qualidade precisa ser colaborativa, envolvente e motivadora (MISSEYANNI *et al.*, 2018).

Ademais, o ensino de Nanociências e Nanotecnologia no Ensino Médio desempenha um papel crucial na formação de cidadãos informados e capacitados para enfrentar os desafios da era moderna. À medida que essas novas tecnologias se tornam cada vez mais integradas em nossa sociedade, é essencial que os estudantes adquiram um entendimento básico de suas aplicações e implicações. Isso não apenas enriquece seu conhecimento, mas também os capacita a opinar de modo consciente em questões relacionadas à Nanociência e Nanotecnologia, como saúde, ética e meio ambiente. Corroborando esse raciocínio, Lourenço et al. (2017) enfatiza a importância da introdução da Nanotecnologia no contexto escolar, a fim de que os estudantes possam compreender sua relevância no cotidiano, mesmo quando relacionada a conceitos que não são visíveis a olho nu. Assim, o ensino de Nanociências e Nanotecnologias na educação básica não apenas enriquece a educação dos estudantes, mas também fortalece a base de conhecimento da sociedade como um todo, permitindo uma participação mais eficaz no mundo cada vez mais tecnológico em que vivemos.

Nesse sentido, o presente trabalho de conclusão de curso tem como foco o desenvolvimento de uma sequência didática com o propósito de incorporar o ensino de Nanociência e Nanotecnologia ao currículo do ensino médio. Essa abordagem terá como base a aplicação de uma metodologia de experimentação investigativa para transmitir o conteúdo de forma eficaz e envolvente aos estudantes. Através da realização de experimentos práticos e da exploração ativa de conceitos relacionados à Nanociência e Nanotecnologia, os alunos terão a oportunidade de não apenas compreender conceitos teóricos, mas também vivenciar os princípios e aplicações desses campos inovadores. Isso não apenas enriquecerá sua aprendizagem, mas também os capacitará a aplicar esses conhecimentos de forma significativa em suas vidas e futuras carreiras.

Deste modo, o presente trabalho tem por objetivos:

Objetivo Geral:

Propor uma Sequência Didática para implementar o ensino de Nanociências e Nanotecnologia no Ensino Médio, através de experimentação investigativa, utilizando como aporte a germinação de sementes.

Objetivos Específicos:

- Elaborar uma SD como instrumento pedagógico para o ensino de Nanociência e Nanotecnologia para estudantes do Ensino Médio;
- Utilizar as metodologias ativas de experimentação investigativa e aprendizagem colaborativa na proposta da SD, para construção do conhecimento;
- Estimular nos estudantes o interesse pela pesquisa científica através da observação e avaliação da influência de nanopartículas de carbono na germinação de sementes de milho e feijão;
- Testar os procedimentos experimentais da utilização de *Carbon Dots* nos ensaios de germinação de sementes, para validação da proposta.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O Ensino de Ciências da Natureza conforme a Base Nacional Comum Curricular

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) representa um documento de natureza normativa, o qual estabelece de maneira sistemática e progressiva as aprendizagens essenciais a serem adquiridas por todos os estudantes, independentemente de suas regiões geográficas, ao longo das diferentes etapas e modalidades do sistema educacional fundamental, tendo como objetivo principal garantir que todos os alunos tenham seus direitos de aprendizado e desenvolvimento respeitados, em conformidade com os princípios delineados pelo Plano Nacional de Educação (PNE), tal como delineado no § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) no 9.394/1996 (BARBOSA JUNIOR, 2019 *apud* SILVA, 2020).

Nesse sentido, a Base Nacional Comum Curricular explana a proposta do ensino de Ciências da Natureza:

A BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – integrada por Biologia, Física e Química – propõe ampliar e sistematizar as aprendizagens essenciais desenvolvidas até o 9º ano do Ensino Fundamental. Isso significa, em primeiro lugar, focalizar a interpretação de fenômenos naturais e processos tecnológicos de modo a possibilitar aos estudantes a apropriação de conceitos, procedimentos e teorias dos diversos campos das Ciências da Natureza. Significa, ainda, criar condições para que eles possam explorar os diferentes modos de pensar e de falar da cultura científica, situando-a como uma das formas de organização do conhecimento produzido em diferentes contextos históricos e sociais, possibilitando-lhes apropriar-se dessas linguagens específicas (BRASIL, 2018).

Seguindo esse raciocínio, o texto normativo ainda expressa habilidades e competências específicas a serem trabalhadas durante o ensino de Ciências da Natureza. É possível considerarmos algumas para serem contextualizadas com a proposta desse trabalho de conclusão de curso, como as competências 1 e 3, as quais propõem examinar fenômenos naturais e procedimentos tecnológicos, fundamentando-se nas interconexões entre matéria e energia, a fim de sugerir iniciativas tanto individuais quanto coletivas que refinem os processos de produção, reduzam os efeitos socioambientais e aprimorem a qualidade de vida em níveis locais, regionais e/ou globais, bem como propõem examinar cenários desafiadores e examinar as utilizações do entendimento científico e tecnológico, bem como suas repercussões no

mundo, empregando abordagens e terminologias intrínsecas às Ciências da Natureza, com o propósito de conceber resoluções que levem em consideração as necessidades específicas das comunidades locais, regionais e/ou globais, além de comunicar as suas descobertas e conclusões a audiências diversificadas, em variados contextos, por meio de uma variedade de plataformas e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), respectivamente (BRASIL, 2018).

Nesse sentido, resta evidente uma preocupação massiva na Base Nacional Comum Curricular: a de contextualizar os ensinamentos de Ciências da Natureza às realidades dos estudantes do ensino médio brasileiro, de modo que os assuntos ensinados não fiquem apenas no campo da abstração, mas, sim, estejam palpáveis e observáveis a todos no seu dia a dia.

A incorporação do contexto pode ser efetuada através de diferentes abordagens, tendo em mente que a contextualização, fundamentada em tópicos de natureza sociocientífica, não implica na eliminação da exploração do conteúdo, mas sim a considera como um instrumento capaz de enriquecer a formação de saberes e examinar, de maneira crítica e embasada, as situações do dia a dia (SILVA, 2016).

Já no aspecto das habilidades presentes na BNCC, dentre tantas previstas no documento do Ministério da Educação (MEC), é válido destacar as seguintes:

(EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica.

(...)

(EM13CNT307) Analisar as propriedades específicas dos materiais para avaliar a adequação de seu uso em diferentes aplicações (industriais, cotidianas, arquitetônicas ou tecnológicas) e/ou propor soluções seguras e sustentáveis. (BRASIL, 2018).

Tais habilidades estão presentes na competência 3 da Base Nacional Comum Curricular e são de relevância para o trabalho pois será mostrada adiante a realização delas ao longo do projeto.

2.2. Metodologias de Ensino Ativas no Ensino de Química

Ao longo do tempo, o ensino de Química no ensino médio tem enfrentado desafios significativos, a complexidade inerente dos conceitos químicos, muitas vezes abstratos e abstrusos para os alunos, contribuiu para essa dificuldade. Além disso, a falta de conexão entre os conteúdos químicos e suas aplicações práticas no cotidiano dos estudantes também pode ter desempenhado um papel importante, e a abordagem tradicional de focar excessivamente na memorização de fórmulas e teorias, em vez de promover uma compreensão profunda dos princípios subjacentes, também tem sido um obstáculo. Mudanças nas abordagens pedagógicas estudadas ao longo das últimas décadas têm buscado superar esses desafios, com um movimento em direção a métodos mais interativos, autônomos e práticos, visando tornar o ensino de Química e outros conceitos científicos e tecnológicos mais envolvente e relevante para os estudantes (PRSYBYCIEM *et al.*, 2018).

Além disso, com o passar dos anos, foi comum enxergar o aluno como um receptor passivo no processo de aprendizagem, enquanto o professor desempenhava o papel de mero transmissor de informações. Nesse sentido, o modelo convencional de ensino, que coloca o professor no centro, mantém uma considerável influência na educação, permanecendo amplamente empregado nos dias atuais, entretanto, sua aplicação nem sempre se mostra apropriada para cultivar um verdadeiro desenvolvimento do conhecimento e a autonomia intelectual do aluno (MARIN *et al.*, 2010; VERGARA, 2003 *apud* MARQUES *et al.*, 2021).

No entanto, atualmente, é cada vez mais desafiador imaginar um estudante inerte em sala de aula sendo capaz de efetivamente construir uma compreensão significativa do conteúdo que lhe é apresentado. É sob a luz desse prisma que surgem as metodologias ativas de ensino, que podem ser definidas, segundo Bastos (2006), como os processos interativos envolvendo a aquisição de conhecimento, análise crítica, estudos aprofundados, investigações e escolhas individuais ou colaborativas, visando a resolução de problemas específicos.

Ainda nesse aspecto, conforme as ideias de Piaget (2010a; 2010b; 2013) *apud* Nascimento Júnior & Nascimento (2018), são os métodos ativos que instigam o desejo de aprender nos alunos, ao passo em que a mera transmissão de informações do professor para o aluno, como proposto pelos métodos tradicionais de ensino, não assegura o aprendizado porque a informação, para ser assimilada e incorporada pelo indivíduo, precisa ser conectada a conhecimentos prévios e reinterpretada por ele, e essa reinterpretação permite que esses conhecimentos se integrem às suas estruturas cognitivas.

2.2.1. EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA COMO METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA

Claramente, ao longo do século XX, a educação tem passado por transformações profundas que refletem as mudanças em nossa sociedade. A escola, que tem como objetivo fundamental transmitir às gerações atuais o conhecimento acumulado pelas gerações anteriores, também não permaneceu imune às evoluções sociais. Durante um extenso período, esse conhecimento, considerado como produtos finais, foi comunicado de forma direta por meio da instrução do professor. Nesse processo, eram transmitidos conceitos, leis e fórmulas, e os alunos repetiam experimentos e memorizavam os nomes dos cientistas.

No entanto, à medida que avançamos no tempo, surgiram abordagens mais dinâmicas e envolventes no campo da educação, que visam proporcionar uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos científicos. Uma dessas abordagens é o ensino por investigação, o qual permite que os alunos se alfabetizem cientificamente e experimentem práticas as mais próximas possíveis às da comunidade científica (CARVALHO, 2018).

Nesse sentido, ao longo dos anos, a educação em Química tem direcionado seus esforços e foco para a análise do processo de ensino-aprendizagem. Isso se deve, em grande parte, às dificuldades que muitos alunos enfrentam ao aprender nessa área. Atualmente, observa-se um declínio no interesse dos alunos pelas Ciências da Natureza como um todo, possivelmente devido à desconexão percebida entre o conteúdo escolar e as situações do dia a dia. Nesse contexto, as atividades experimentais investigativas surgem como um meio para estabelecer essa conexão de forma mais sólida.

Seguindo esse raciocínio, as atividades experimentais também desempenham um papel fundamental como estratégia didática, já que criam um ambiente propício para abordar as diversas dimensões do conhecimento científico, incluindo as teóricas, representacionais e, acima de tudo, fenomenológicas (OLIVEIRA, 2010). Oliveira (2009) ainda complementa ao afirmar que a experimentação investigativa tem como objetivo estimular a geração de ideias por meio da formulação de hipóteses, bem como promover discussões e análises com base em dados coletados, ou seja, ela desassocia a perspectiva de os alunos serem apenas receptores passivos de conceitos.

Portanto, observa-se que, de fato, a experimentação investigativa emerge como uma metodologia ativa de ensino que transcende a tradicional postura passiva do aluno. Ao colocar o estudante no centro do processo de aprendizado, essa abordagem estimula o engajamento ativo e a participação reflexiva. Através da formulação de hipóteses, análise crítica de dados e exploração de conceitos, os alunos não apenas absorvem informações, mas também se tornam construtores de conhecimento. Ao desafiar a mera aceitação de informações pré-determinadas, a experimentação investigativa empodera os alunos para questionar, criar e explorar, enriquecendo sua compreensão e aplicação dos conceitos científicos. Dessa forma, ela se revela como uma abordagem pedagógica valiosa, transformando o aprendizado em uma jornada dinâmica e interativa, onde os alunos se tornam protagonistas de sua própria educação.

Resta, dessa forma, necessário explicar o que se trata a experimentação investigativa, visto que sua importância para o ensino de Química já fora destrinchada aqui. A categorização proposta por Araújo e Abib (2003) diferencia as atividades experimentais em três modalidades: demonstrativas, de verificação e investigativas. Nas atividades de caráter demonstrativo, o professor desempenha a atividade enquanto os alunos têm um papel de observação. As atividades de verificação, por sua vez, são conduzidas com o propósito de confirmar teorias ou leis estabelecidas. Já nas atividades investigativas, os alunos desempenham um papel ativo no processo, interpretando os problemas propostos e oferecendo possíveis soluções para os mesmos.

Entretanto, uma abordagem investigativa exige que os alunos detenham conhecimentos que os guiem durante a execução das atividades (FERREIRA *et al.*, 2010). Para isso, um planejamento sólido se faz necessário, além do papel do professor ser crucial, requerendo alinhamento e preparação adequados para efetivamente empregar esse método experimental.

Azevedo (2004) ainda complementa quando propõe uma abordagem investigativa que se inicia com a apresentação de um problema aos alunos, fomentando questionamentos iniciais e a formulação de hipóteses, posteriormente, ocorre o momento de experimentação, enquanto os alunos refletem e elaboram hipóteses explicativas, com o professor atuando como mediador para guiar a execução da atividade, por fim, na fase conclusiva, professor e alunos colaboram para consolidar os conhecimentos, englobando conceitos fundamentais que culminam na compreensão do experimento e na solução do problema.

Em resumo, a experimentação investigativa não apenas representa um pilar fundamental na educação contemporânea, mas também desafia a tradicional passividade no processo de aprendizagem. Através do engajamento ativo dos alunos na exploração e na construção do conhecimento, essa abordagem pedagógica amplia a compreensão dos conceitos científicos, estimula a inquisitividade intrínseca dos estudantes e cultiva habilidades de análise crítica. Especificamente no contexto do ensino de Química, a experimentação investigativa assume um papel de destaque ao estabelecer uma ligação tangível entre as bases teóricas e as aplicações práticas. Ao adentrar nos domínios práticos da Química, os alunos não apenas assimilam informações, mas também adquirem a capacidade de aplicar os princípios aprendidos para resolver problemas do mundo real. Como resultado, a experimentação investigativa emerge como uma ferramenta poderosa para aprimorar o aprendizado de Química, capacitando os alunos a se tornarem pensadores críticos, solucionadores de problemas e futuros profissionais da área.

Não só isso, como a adoção da abordagem da experimentação investigativa no ensino de Química se alinha de maneira intrínseca à Competência Geral 2 da Base Nacional Comum Curricular, a qual prevê:

Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas (BRASIL, 2018).

Portanto, ao engajar os alunos em processos ativos de investigação, essa metodologia estimula o exercício da curiosidade intelectual e a aplicação da abordagem própria das ciências. Através da formulação de hipóteses, execução de experimentos e análise crítica de resultados, os estudantes não apenas absorvem informações, mas também desenvolvem habilidades de análise, resolução de problemas e pensamento reflexivo. Essa prática vai ao encontro da proposta da Competência Geral 2, que busca o desenvolvimento de uma postura investigativa e reflexiva, capacitando os alunos a compreender, utilizar e criar conhecimentos de modo a formular e resolver problemas de maneira autônoma e colaborativa. Nesse contexto, a experimentação investigativa surge como uma ferramenta pedagógica que não só fortalece a aprendizagem de Química, mas também prepara os alunos para interagirem de maneira crítica e significativa com diferentes contextos e desafios, conforme previsto pela Competência Geral 2 da BNCC.

2.2.2. APRENDIZAGEM COLABORATIVA COMO METODOLOGIA ATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA

Além da abordagem sobre a experimentação investigativa no ensino de Química, se faz também necessário adentrar no tema da aprendizagem colaborativa no ensino dessa.

Primeiramente, se faz necessário distinguir “aprendizagem cooperativa” de “aprendizagem colaborativa”. Nesse sentido, Dillenbourg (1999) explora essa questão ao enfatizar a importância de distinguir entre cooperação e colaboração no contexto da aprendizagem. Para ele, na cooperação, os alunos dividem a tarefa em fragmentos, resolvem as subpartes de forma independente e depois reúnem os resultados parciais para criar um trabalho final único. Por outro lado, na abordagem colaborativa, a aprendizagem ocorre quando indivíduos trabalham juntos, colaborando com seus resultados individuais e apresentando a agregação como o produto final do grupo. Ainda seguindo esses princípios, aprender em grupos cooperativos é comparável às dinâmicas tradicionais de ensino, onde cada aluno executa uma parte do trabalho e a combina no momento da apresentação da atividade. Em contraste, na aprendizagem colaborativa, há uma interação total e simultânea entre os participantes na resolução do problema (DILLENBOURG, 1999).

Seguindo esse raciocínio, Kleiman (2006) afirma:

Aprendizagem colaborativa é uma proposta de aprendizagem que visa processos de educação mais participativos, interativos e libertadores, com maior foco na aprendizagem do aluno e não no ensino de conteúdos tradicionais. A defesa de um trabalho de formação básica e superior nesta perspectiva justifica-se pelo fato de as práticas cotidianas caracterizarem-se pela colaboração, cooperação e negociação de saberes (KLEIMAN, 2006).

Dessa forma, alguns estudiosos brasileiros, como Fragelli (2015), desenvolveram técnicas próprias para abordar a metodologia ativa da aprendizagem colaborativa. O autor citado a título de exemplo foi capaz de estruturar o que chama de “Metodologia dos Trezentos” cujo objetivo é potencializar a colaboração entre os estudantes, incentivando-os a compreender as dificuldades de aprendizagem uns dos outros, ao passo em que, para que essa colaboração seja efetiva, são montados grupos de estudo baseados nos resultados de uma avaliação prévia na qual o professor assegura a presença tanto de alunos com bom desempenho quanto de alunos com problemas de aprendizagem.

Confirmando essa ideia, há também a Teoria de Interação Social (ou Sociointeracionista) de Lev Vygotsky, segundo a qual o processo cognitivo do estudante se desenvolve a partir de interações sociais, ou seja, da comunicação desse com outros indivíduos e com o ambiente que os circunda (JORNADA EDU, 2019). Ademais, segundo Torres & Irala (2014), em uma perspectiva abrangente do aprendizado colaborativo, pode-se afirmar que, de maneira geral, espera-se que a aquisição de conhecimento seja um resultado natural da interação entre colegas que trabalham de forma interdependente a fim de resolver problemas ou realizar uma tarefa designada pelo professor.

Ressalte-se que a aprendizagem colaborativa no ensino de Química não apresenta apenas uma vasta importância para o melhor aprendizado da matéria, como também abrange a Competência Geral de Número 4 da Base Nacional Comum Curricular, a qual diz respeito à comunicação e o aprendizado mútuo ao informar:

Utilizar diferentes linguagens - verbal (oral ou visual-motora, como Libras, e escrita), corporal, visual, sonora e digital -, bem como conhecimentos das linguagens artística, matemática e científica, para se expressar e partilhar informações, experiências, ideias e sentimentos em diferentes contextos e produzir sentidos que levem ao entendimento mútuo (BRASIL, 2018).

Portanto, ao instigar os estudantes à interação entre si e compartilhamento de informações objetivando a solução de um problema em comum através da aprendizagem colaborativa, a metodologia estimula a comunicação e articulação mútua de conhecimentos. Nesse sentido, essa estratégia educacional compreende totalmente a proposta da Competência Geral 4, que visa o uso de linguagens como pano de fundo para permitir a troca de informações entre estudantes, permitindo-os o auxílio mútuo para que todos alcancem o objetivo em comum: a compreensão do conhecimento na sala de aula ensinado. Por fim, a aprendizagem colaborativa tem papel fundamental de ferramenta pedagógica que, além de fortalecer o ensino de Química, exercita o trabalho interativo cooperativo da turma, conforme previsto pela Competência Geral 4 da Base Nacional Comum Curricular.

2.3. Sequência didática como estratégia educacional para o Ensino de Química

Por sua vez, faz-se necessário abordar a história de formação das Sequências Didáticas, seu conceito e sua importância e utilidade no ensino de Química.

A expressão “Sequência Didática” foi cunhada na França, em 1996, e estava presente nas diretrizes oficiais de ensino de línguas do país, ao passo em que os pesquisadores da época observaram a necessidade de superar a compartimentalização do conhecimento no âmbito do ensino linguístico (GONÇALVES & FERRAZ, 2016). Nesse contexto, as SDs tinham como objetivo facilitar a dinâmica da aprendizagem, integrando os estudantes de maneira mais eficaz aos diferentes gêneros e situações de comunicação, ao passo em que elas eram concebidas como um conjunto meticulosamente planejado e organizado de atividades em torno de um gênero textual, seja oral ou escrito (DOLZ *et al.*, 2004).

Por sua vez, Zabala (1998), compreende as SDs como um conjunto de atividades cuidadosamente organizadas, planejadas e interligadas, criadas para alcançar objetivos educacionais específicos, e essas atividades são ordenadas de forma lógica e estruturada, com um início e um fim claramente definidos, conhecidos tanto pelo professor quanto pelos alunos. Complementando o raciocínio acima, Dolz e Schneuwly (2004) argumentam que as Sequências Didáticas são ferramentas que podem orientar os professores na condução das aulas e no planejamento de intervenções. Segundo a abordagem dos autores, a sequência de atividades deve ser construída levando em consideração o conhecimento prévio dos alunos, de modo que a cada etapa é necessário potencializar o grau de dificuldade, expandindo os saberes já existentes dos estudantes, no sentido de que as atividades devam possibilitar uma transformação gradual e contínua do conhecimento dos alunos. Por fim, aperfeiçoando o entendimento, observa-se que as SDs são uma ferramenta que emprega uma série de aulas direcionadas a um tema central e se estruturam em vários módulos de conhecimento, de maneira que se mostram mais eficazes quando integram saberes científicos à aprendizagem e à vivência cotidiana dos alunos (MOREIRA, 2015).

Ademais, é preciso observar que para a construção das Sequências Didáticas é preciso haver uma estrutura que é composta pela demonstração da situação, definição e criação da atividade; pela produção inicial, de modo a constituir o primeiro contato entre o gênero textual da proposta e o estudante; pelos módulos de atividades e por aquelas criadas pelo docente de observação e análise; e por fim, pela produção final, visando a prática da elaboração textual

(DOLZ *et al.*, 2004). Todavia, esses autores abordaram a estrutura da SD na temática de produção de textos orais e escritos, fato esse que não impede a interpretação do seu trabalho e adaptação para os mais diversos temas de ensino.

Por outro lado, observa-se que um dos grandes desafios da educação atualmente reside em estimular nos alunos o interesse e a curiosidade pelo conhecimento, especialmente quando se trata de conteúdos científicos, como os da área das ciências exatas, como a Química, visto que muitas vezes, esses temas se apresentam de forma abstrata e de difícil compreensão, o que torna crucial encontrar maneiras envolventes de apresentá-los em sala de aula (MEZACASA *et al.*, 2021). Ademais, atualmente, o mundo passa por transformações constantes, e a educação não fica imune a essas mudanças, transformações essas que na sociedade têm impacto direto no comportamento dos alunos dentro da sala de aula, e se os professores e/ou as escolas não acompanharem esses avanços e não adaptarem suas metodologias de ensino, isso pode resultar em aprendizagens mecânicas de modo que para que a aprendizagem seja verdadeiramente significativa, é essencial que os professores envolvam os alunos ativamente no processo de ensino-aprendizagem, tornando-os parte fundamental do seu próprio desenvolvimento educacional (TRANQUILINO *et al.*, 2019). Observada essa questão, é proposto o uso de estratégias didáticas para enriquecer a prática pedagógica, orientando a atuação do docente como mediador da aprendizagem durante a realização dos processos de ensino e aprendizagem (KURZ *et al.*, 2019).

2.4. Fundamentos de Nanociências e Nanotecnologia

2.4.1. BREVE HISTÓRICO E APLICAÇÕES DA NANOCIÊNCIA E DA NANOTECNOLOGIA

Apesar dos termos “nanociência” e “nanotecnologia” parecerem modernos, seus estudos não são tão recentes, tendo em vista que o conceito de “nanopartículas” foi primeiramente proposto por Richard Zsigmondy pela caracterização e medição de partículas nanométricas, como partículas coloidais de ouro, com o uso de um microscópio (ultramicroscópio), concedendo-o o Prêmio Nobel de Química em 1925 (HULLA *et al.*, 2015).

Apenas em 1959 o conceito de nanotecnologia foi introduzido por Richard P. Feynman, físico teórico e Prêmio Nobel de Física em 1965. Feynman apresentou numa palestra o conceito de manipulação a nível atômico da matéria, cuja hipóteses se mostraram corretas, o que o rendeu o título de “pai da nanotecnologia moderna” (BAYDA *et al.*, 2020; HULLA *et al.*, 2015).

Em 1974, o pesquisador japonês Norio Taniguchi, a partir das ideias de Feynman, descreveu processos de semicondutores que ocorriam na ordem de grandeza nanométrica, demonstrando a ideia de que a nanotecnologia compreendia o processamento, a separação, a consolidação e a deformação de materiais por átomos e moléculas (HULLA *et al.*, 2015). Mesmo estes sendo os primeiros estudos da nanociência, seu auge apenas foi alcançado na década de 80, em que durante uma pesquisa astronômica Harold Kroto, Richard Smalley e Robert Curl descobriram estruturas de átomos de carbono da ordem de nanômetros, os quais os intitularam de “fulerenos” (BAYDA *et al.*, 2020; HULLA *et al.*, 2015; CARVALHO, 2008).

A partir de então novas pesquisas nas áreas da nanociência foram sendo desenvolvidas até o marco da criação de nanotubos de carbono (pertencentes à família dos fulerenos), desenvolvidos em 1991 pelo cientista japonês Iijima (BAYDA *et al.*, 2020; HULLA *et al.*, 2015). Estas estruturas apresentam propriedades de resistência e flexibilidade adequadas para diversas aplicações na nanotecnologia, sendo nos dias atuais amplamente utilizados na confecção de compósitos de fibras em polímeros e concretos para melhorar as propriedades mecânicas, térmicas e elétricas destes materiais (BAYDA *et al.*, 2020).

Na Figura 1 estão apresentadas as estruturas moleculares de um fulereno C60 (a) e de um nanotubo de carbono (b).

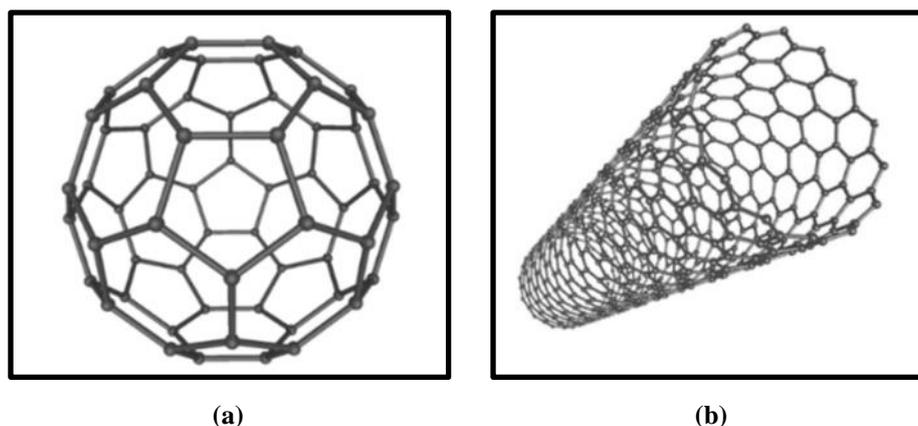


Figura 1 - (a) *Buckminsterfullereno* (molécula esférica de fulereno C60) e (b) nanotubo de carbono.

Fonte: Adaptado de Bayda *et al.* (2020).

Ao passar dos anos, houve um grande progresso da Nanociência em diversos campos, como Ciências da Computação, Biologia e Engenharia, de tal modo que no início do século XXI despertou-se um crescente interesse científico sobre a Nanociência e a Nanotecnologia. No ano de 2003, por exemplo, o Presidente Estadunidense George W. Bush assinou a Lei de Pesquisa e Desenvolvimento em Nanotecnologia (BAYDA *et al.*, 2020; HULLA *et al.*, 2015). A partir de pesquisas interdisciplinares em nanotecnologia, entre os anos de 2001 e 2010, foram descobertos novos fenômenos, propriedades e funções em nanoescala, além da melhoria de produtos através da incorporação de elementos nanométricos. Com a integração entre engenharia e nanociência, houve um grande avanço na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (ROCO, 2011).

Mais tarde, em 2004, surgiram os *Carbon Dots*, uma nova classe de nanomateriais de carbono com dimensões inferiores a 10 nm, através de experimentos de purificação de nanotubos de carbono de parede simples (BAYDA *et al.*, 2020). Esta classe vem apresentando considerável importância nos avanços científicos da área da nanotecnologia, principalmente em aplicações em que o tamanho, o custo e a biocompatibilidade são características críticas. Ademais, estas estruturas apresentam grande solubilidade em água e funcionalização com compostos orgânicos, poliméricos, inorgânicos e biológicos (BAKER & BAKER, 2010).

Além destas características, Yang *et al.* (2009) ainda demonstraram em seus estudos que os *Carbon Dots* não são tóxicos e consistem numa alternativa competitiva em aplicações de fluorescência aos *quantum dots* comerciais de CdSe/ZnS (tóxicos).

Avanços recentes na nanotecnologia vêm mostrando que a escala nanométrica fornece ótimas propriedades físico-químicas e biológicas às nanopartículas, sobretudo para a formulação de nanocarreadores de fármacos, de modo que se reduz a toxicidade, aumenta a taxa de liberação, melhora a solubilidade e a biodisponibilidade, e melhora as oportunidades de formulação de medicamentos (AL-JAMAL, 2020).

Na área do meio ambiente, o investimento na nanotecnologia abrange a cadeia produtiva de materiais a fim de tornar seus processos de manufatura energeticamente mais eficientes e econômicos, e a geração de energia limpa (como o uso de fotocélulas) a um custo competitivo (BAYDA *et al.*, 2020). O controle da poluição também passou a integrar a nanotecnologia como ferramenta na redução da concentração de poluentes orgânicos em águas e no ar com o uso de nanopartículas, além de facilitar o acompanhamento da poluição a partir

de nanosensores e de empregar o uso de nanomateriais catalíticos em processos industriais para aumentar a eficiência de produção, reduzindo o consumo energético e a geração de resíduos (BAYDA *et al.*, 2020; BATISTA *et al.*, 2010).

A nanotecnologia também vem sendo cada vez mais empregada em processos de tratamento de água, superando os desafios atuais dos processos convencionais e promovendo capacidades de tratamento mais econômicas, tendo em vista que, a depender da composição e estrutura do nanomaterial, as nanopartículas podem apresentar propriedades favoráveis devido ao seu tamanho, como alta reatividade, forte sorção e dissolução rápida em água. (QU *et al.*, 2013).

Na agricultura, por sua vez, a nanociência e a nanotecnologia têm demonstrado um papel fundamental, melhorando a qualidade dos alimentos, a distribuição de nutrientes, e o processamento de alimentos (DASGUPTA *et al.*, 2017).

Um exemplo de suas aplicações na agricultura é a formulação de nanofertilizantes. Nestes produtos, o nutriente é encapsulado em estruturas como nanotubos ou materiais nanoporosos revestidos por uma fina camada de polímeros, ou ainda entregues como partículas ou emulsões em nanoescala, facilitando sua dispersão. Em comparação aos fertilizantes convencionais, os nanofertilizantes apresentam elevada relação área/volume, aumentando sua eficácia, em função da maior absorção pelas plantas, reduzindo também a interação com o solo, a água e os microrganismos (DEROSA *et al.*, 2010).

O uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas também podem estar associados a nanotransportadores, promovendo uma liberação mais controlada destes produtos, reduzindo a quantidade de agroquímico aplicada e, portanto, melhorando a estabilidade e minimizando problemas contra a degradação do meio ambiente (DASGUPTA *et al.*, 2017; DITTA, 2012).

Além destas aplicações, também pode-se citar o uso de nanotecnologia no ramo dos cosméticos. Protetores solares, por exemplo, contém nanopartículas de óxidos de titânio e de zinco, uma vez que estes compostos resultam em alta eficiência no bloqueio de radiação ultravioleta, além de sua formulação ser incolor, agradando aos consumidores. Outro exemplo, são as nanopartículas de prata, que são utilizadas em produtos antibactericidas e conservantes (KATZ *et al.*, 2015).

Uma recente área da nanotecnologia é a nanoinformática, cuja aplicação se dá na ciência e análises de dados para projetos de nanocarreadores mais eficientes e algoritmos aplicados na nanomedicina (BAYDA *et al.*, 2020).

2.4.2. CONCEITOS DE NANOCIÊNCIAS E NANOTECNOLOGIA

O termo “nano”, de origem grega, significa extremamente pequeno, e na ciência refere-se a algo 10^{-9} vezes menor que o metro. Estruturas em nanoescala são intermediárias entre o átomo e o sólido, sendo, portanto, consideradas o limite entre as maiores moléculas dos sistemas vivos e os menores objetos sólidos feitos pelo homem com alta razão área/volume (NOUAILHAT, 2008; MANSOORI & SOELAIMAN, 2005). Em outras palavras, nanoestruturas são estruturas intermediárias de dimensões entre o tamanho molecular e as estruturas microscópicas, sendo formadas por um número finito de átomos (ROCO, 1999).

De acordo com a Fundação Nacional de Ciências dos Estados Unidos, a nanociência e a nanotecnologia estudam materiais e sistemas com as seguintes propriedades:

1. Dimensões de 1 a 100 nm;
2. Métodos de produção com controle fundamental sobre os atributos físicos e químicos de estruturas em escala molecular;
3. Poder de arranjo e combinação para formar estruturas maiores (MANSOORI & SOELAIMAN, 2005).

De maneira geral, a nanociência e a nanotecnologia estudam estruturas da matéria com dimensões muito pequenas, de ordens inferiores a 100 nm. Embora não exista um consenso sobre as fronteiras do universo nanométrico, uma definição amplamente difundida é de que nanomateriais são objetos em que, pelo menos, uma de suas dimensões estejam compreendidas entre 1 e 100 nm, possuindo elevadas razões área/volume, de modo que esta dimensão altere as propriedades físico-químicas em relação ao macromaterial. Estas características indicam que o efeito quântico e a coordenação parcial dos átomos superficiais na estrutura são responsáveis por estas alterações (AL-JAMAL, 2020).

As nanoestruturas possuem aproximadamente 10 a 10000 átomos, além de apresentar propriedades físicas e químicas diferentes dos mesmos macromateriais de mesma composição, sua estabilidade química e reatividade também sofrem profundas alterações (Figura 2) (GNACH *et al.*, 2014).

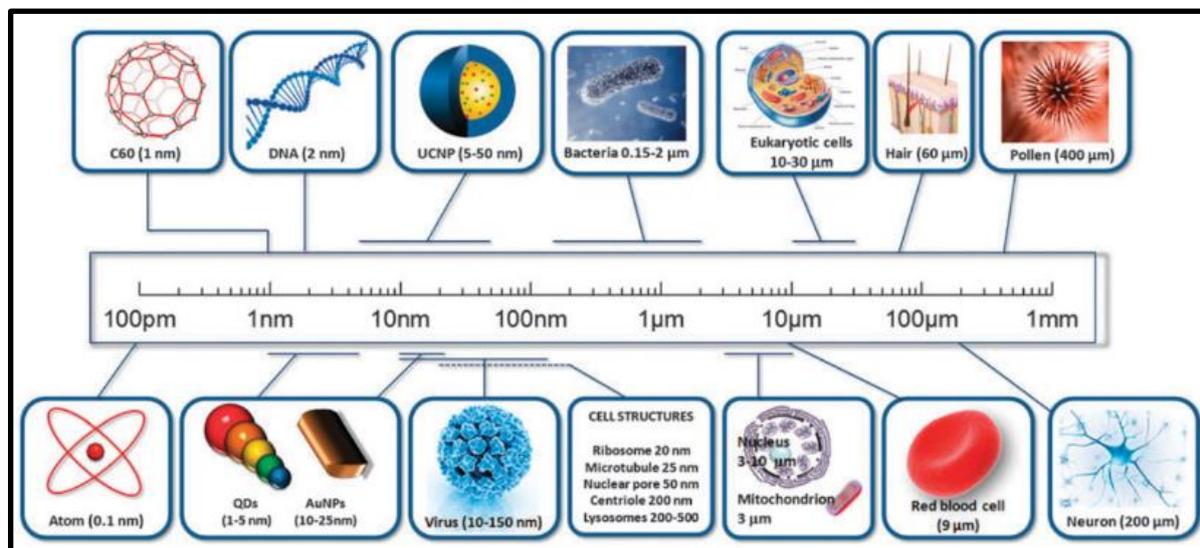


Figura 2 - Comparação de dimensão de diferentes partículas.

Fonte: Gnach *et al.* (2014).

A nanotecnologia trata-se da pesquisa, desenvolvimento tecnológico, caracterização e produção de sistemas e dispositivos funcionais em escala nanométrica, controlando o tamanho e a forma, compreendendo os níveis atômico, molecular e macromolecular. Já a nanociência é a ciência relacionada a sistemas estruturados, estudando a dependência das propriedades físicas, químicas, biológicas, mecânicas e elétricas com o tamanho das partículas na região nanométrica, bem como a manipulação de materiais em escala atômica, molecular e macromolecular (AL-JAMAL, 2020).

Devido a suas dimensões nanométricas, materiais conhecidos podem adquirir novas propriedades nesta escala podendo ser aplicados para resolver problemas técnicos e sociais (DITTA, 2012).

Apesar de se diferenciarem das macroestruturas quanto ao tamanho, os nanomateriais são formados por quaisquer um dos tipos básicos de materiais (metais, cerâmicos, polímeros ou compósitos), não se diferenciando em relação à sua composição química (CALLISTER JR. & RETHWISCH, 2012).

Outra importante propriedade das nanoestruturas é o elevado grau de empacotamento, como já mencionado anteriormente. Esta característica permite um elevado grau de processamento e maior capacidade de armazenamento de informações. Por outro lado, a elevada densidade destas estruturas gera interações eletrônicas e magnéticas complexas com sistemas adjacentes, a depender principalmente da configuração. Pequenas modificações na configuração da estrutura podem promover variações dessas propriedades (ROCO, 1999).

Pelo tamanho pequeno, os nanomateriais apresentam elevada área superficial, variando de 100 a 1000 m²/g, tornando a superfície um fator representativo, principalmente devido ao fato de que a maior parte dos átomos se encontram na superfície da estrutura. Estes átomos superficiais por terem menor número de coordenação (menor quantidade de átomos ligados), apresentam insaturações, levando à formação de cargas parciais, aumentando a energia superficial, o que favorece as reações na superfície das nanoestruturas (GNACH *et al.*, 2014).

Os nanomateriais podem ser categorizados em quatro tipos (ver Figura 3):

- **Estruturas 0D:** nanomateriais com as três dimensões < 100 nm. Os elétrons estão confinados em todas as direções, não sendo permitido que se movam em quaisquer direções;
- **Estruturas 1D:** nanomateriais com duas dimensões < 100 nm. Os elétrons estão confinados em duas direções, sendo possível que se movam em apenas uma direção;
- **Estruturas 2D:** nanomateriais com uma dimensão < 100 nm. Os elétrons estão confinados em uma única direção, sendo possível que se movam em duas direções;
- **Estruturas 3D:** nanomateriais com todas as dimensões > 100 nm, porém os componentes de sua microestrutura são em nanoescala. O movimento dos elétrons é similar à estrutura 2D, contudo não acontece no plano, mas sim em todo o espaço (movimento livre nas três dimensões) (AL-JAMAL, 2020; SZOLLOSI *et al.*, 2020).

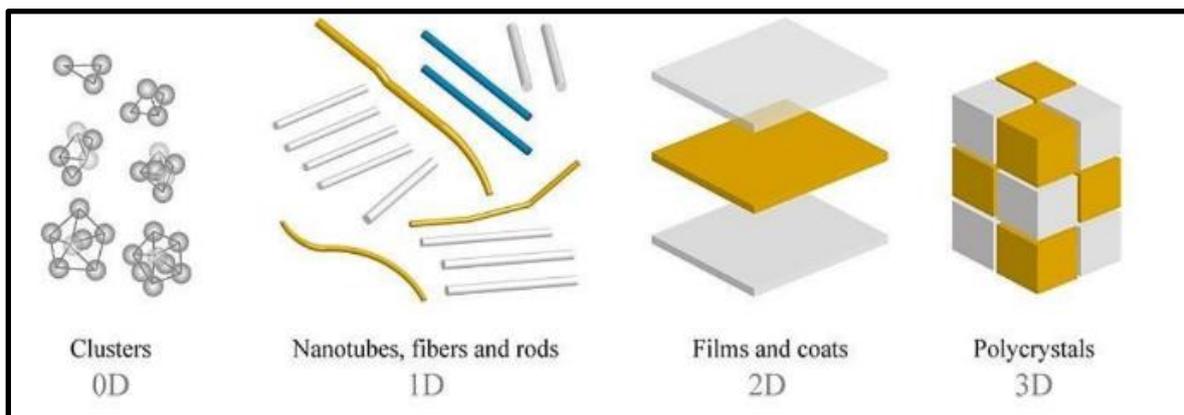


Figura 3 - Tipos de nanoestruturas dos materiais.

Fonte: Adaptado de Al-Jamal (2020).

Uma vez já existentes, as nanopartículas podem ser caracterizadas em função de seu tamanho, morfologia ou carga superficial, através de técnicas avançadas de microscopia, tais como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) e Microscopia de Força Atômica (MFA) (AL-JAMAL, 2020).

Os métodos de síntese de nanomateriais podem ser classificados em duas categorias:

- ***Top-down:*** consiste na manipulação e partição do material até atingir partículas em escala nanométrica. São comumente utilizadas técnicas de engenharia de precisão, que envolvem a microeletrônica no processo produtivo, e de litografia, que consiste na exposição da superfície do material à um feixe de luz, elétrons ou íons e deposição de matéria sobre a superfície; (IQBAL *et al.*, 2012 *apud* BAYDA *et al.*, 2020; MANSOORI & SOELAIMAN, 2005).
- ***Bottom-up:*** consiste no uso de técnicas de manipulação controlada de automontagem de blocos químicos, como átomos e moléculas, por métodos físicos e químicos até a construção do material. Enquanto a síntese química permite a aplicação diretamente sobre o material em sua forma desordenada, na automontagem, por sua vez, os átomos e moléculas se organizam ordenadamente por interações físico-químicas. Já na montagem posicional os átomos e moléculas se aglomeram livremente (IQBAL *et al.*, 2012 *apud* BAYDA *et al.*, 2020; MANSOORI & SOELAIMAN, 2005).

2.4.3. CARBON DOTS E SEU USO COMO ESTIMULANTE DE GERMINAÇÃO DE SEMENTES

Em um cenário futuro de crescimento expressivo da demanda por alimentos (decorrente do aumento populacional) e dos recursos naturais limitados, como água e terra, os custos dos insumos de produção, como fertilizantes e pesticidas, deverão também sofrer um assustador aumento. Nestas condições, a nanotecnologia aplicada à agricultura de precisão vem demonstrando ser uma possível e viável solução em um panorama de grandes restrições; isto porque nanocarreadores podem ser utilizados como eficientes fertilizantes, pesticidas, herbicidas e reguladores de crescimento de plantas, minimizando o uso ineficiente de produtos químicos e os impactos ambientais (LI *et al.*, 2020; DITTA, 2012).

Em virtude da elevada área específica superficial, das propriedades de sorção e da alta reatividade, as nanopartículas reduzem as perdas de produtos químicos por escorrimento, vaporização, fotólise ou hidrólise, protegendo contra a fotodegradação e aumentando a absorção das plantas. Estas características implicam a diminuição da perda de produtos químicos e de nutrientes, bem como aumentam o rendimento da produção. Além disto, as nanopartículas, em alguns casos, podem ainda substituir solventes orgânicos perigosos (GOGOS *et al.*, 2012).

Apesar destas vantagens, ainda é uma realidade a geração de resíduos provocada pelo uso de nanomateriais. A exposição do meio ambiente e dos seres humanos a tais resíduos tende a aumentar em função da bioacumulação e da cadeia alimentar. Neste cenário, o grande desafio da nanotecnologia é encontrar rotas alternativas que resultem em maiores benefícios e menores riscos à vida humana e à natureza (IAVICOLI *et al.*, 2017).

Em função disto, o estudo da nanotecnologia deve abranger ainda os riscos potenciais de suas aplicações, analisando todo o ciclo de vida das nanopartículas, buscando encontrar soluções a fim de minimizar seus efeitos deletérios (IAVICOLI *et al.*, 2017).

As nanopartículas comumente utilizadas em aplicações ambientais se dividem em cinco categorias: nanopartículas de carbono, óxidos metálicos, *quantum dots* (semicondutores), metais e nanopolímeros (MA *et al.*, 2010). Dentre elas, as nanopartículas de carbono vêm sendo usadas em várias áreas em virtude de seu baixo grau de toxicidade em relação às metálicas.

Os *Carbon Dots* (CDs) estão sendo cada vez mais aplicados nos campos da biomedicina, catálise, dispositivos óptico-eletrônicos e processos antifraudes, em função de suas ótimas propriedades, como formatos bem definidos, a alta fotoluminescência, baixa toxicidade, pequenos tamanhos, biocompatibilidade, elevado rendimento quântico e rotas de baixo custo de sintetização. Tais características os tornam excelentes alternativas em substituição a materiais com custos de produção mais altos, como os quantum dots metálicos (LIU *et al.*, 2020; BAKER & BAKER, 2010).

Estes *CDs* são divididos em algumas classes de acordo com sua estrutura, que pode afetar o modo de associação das camadas de grafeno e o grau de carbonização. As principais classes destas estruturas são: *quantum dots* de grafeno (GQDs), *quantum dots* de carbono (CQDs) e *dots* poliméricos carbonizados (CPDs) (LIU *et al.*, 2020).

De maneira geral, a interação das nanopartículas com as plantas irá afetar o acúmulo e a absorção de biomassa vegetal, e por consequência influenciará seu transporte no meio ambiente. Estas nanopartículas tendem a se aderir às raízes das plantas e exercer sua toxicidade físico-química, que vem sendo base de diversos estudos científicos a respeito de seus efeitos positivos ou negativos (MA *et al.*, 2010).

Conforme exibido na Figura 4, as nanopartículas primeiramente são absorvidas nas raízes primárias (C) ou nas raízes laterais (A1, A2 e B), e em seguida transportadas a partir da raiz (C) através do caule (D e I) até as folhas (E, F, G e H) (MA *et al.*, 2010).

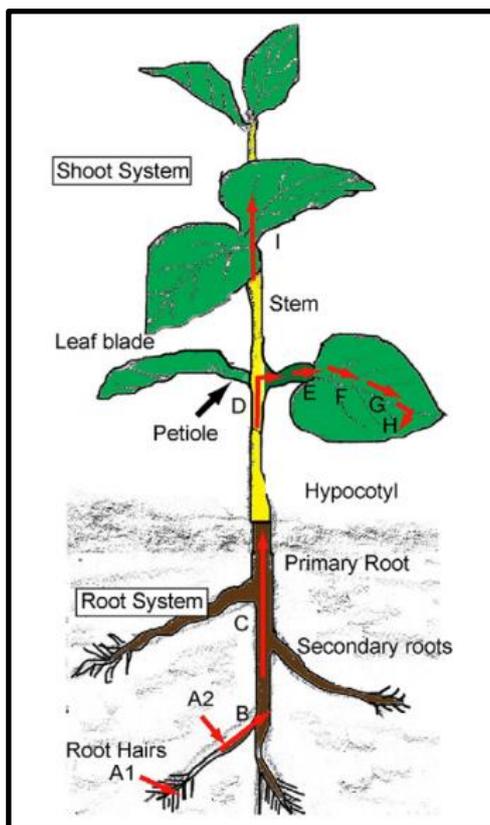


Figura 4 - Modelo de absorção e transporte de nanopartículas nas plantas.

Fonte: Ma *et al.* (2010).

Diversos estudos a respeito dos efeitos dos *Carbon Dots* na germinação de sementes e crescimento de plantas têm mostrado que os *CDs* afetam os processos fisiológicos das plantas, tais como a fotossíntese e a absorção de nutrientes. Os estudos apontam que à medida que a concentração destas nanopartículas aumenta, o crescimento da raiz e caule melhora (KOU *et al.*, 2021).

Mesmo diante dos resultados dos recentes estudos, ainda não há um completo entendimento sobre os efeitos dos *CDs* na morfologia, bioquímica e fisiologia ao longo do ciclo de crescimento das plantas. Há apenas poucos estudos que reportam o mecanismo de atuação dos *CDs* no desenvolvimento das plantas, tornando-se, portanto, necessárias pesquisas mais detalhadas que retratem o modo de coordenação entre as propriedades químicas dos *Carbon Dots* e os processos bioquímicos de desenvolvimento das plantas (KOU *et al.*, 2021).

2.4.4. A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DE NANOCIÊNCIA E NANOTECNOLOGIA NO ENSINO MÉDIO

Com os avanços científicos e tecnológicos, diversos assuntos vêm se tornando pauta de discussão no meio acadêmico para sua inclusão na grade curricular do Ensino Médio das escolas. Esta abordagem vem sendo sugerida nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) sob a justificativa de fomentar a construção de conceitos e ao mesmo tempo promover a interdisciplinaridade e a assimilação cultural científica dos alunos (CARVALHO, 2008).

O objetivo desta inclusão de novos assuntos está embasado no fato de que a ciência e a tecnologia desempenham papéis fundamentais nas atividades humanas, uma vez que ao longo dos tempos exercem influência sobre a sociedade e apresentam resultados em seus avanços. Por este motivo é essencial que os indivíduos compreendam seus usos no cotidiano. Assim sendo, como a Educação Básica é a única oportunidade em que a população tem acesso à educação formal, torna-se favorável a reflexão do conhecimento sobre ciência e tecnologia neste meio (ALVES & LIMA, 2018).

Em face à constante evolução tecnológica que permeia a sociedade atual, a abordagem em sala de aula de temas que causem impacto à população é um modo a permitir que os futuros profissionais se posicionem e tenham pensamento crítico a respeito de situações que afetem sua própria vida (ALVES & LIMA, 2018).

Neste contexto, os avanços da nanociência e nanotecnologia promoveram o uso de nanopartículas como matéria-prima para a confecção de produtos e abriram oportunidades para diversas aplicações, se tornando um marco no processo evolutivo da ciência, além de estarem com o passar dos anos mais populares e conhecidas nas mais diversas áreas do conhecimento (ALVES & LIMA, 2018). O Ministério da Educação (BRASIL, 2006) cita em suas orientações curriculares do Ensino Médio alguns temas que podem auxiliar no ensino da Química e da Física, explicando entre eles a nanotecnologia.

Muitas vezes a nanociência é relacionada como uma atividade exclusivamente desenvolvida em laboratório, criando assim uma barreira à predisposição de jovens e adultos leigos a ter interesse pelo assunto, mesmo que a compreensão do tema seja socialmente relevante e fortaleça o debate público a respeito de novas tecnologias (SCHULZ, 2007). O maior desafio no ensino da nanociência para o Ensino Médio é a inexistência de materiais com

propriedades similares no mundo visível (ALVES & LIMA, 2018). Diante disso, há uma busca incessante por parte dos professores por textos que tratem a nanociência de modo mais ilustrativo para facilitar a compreensão dos estudantes sobre a temática (SILVA *et al.*, 2009).

Silva *et al.* (2009) abordam, de maneira lúdica, o ensino da nanociência para o ensino médio a partir do desenvolvimento de um diálogo entre o professor e uma aluna a respeito do tema, onde são expostos questionamentos comumente esperados advindos de um aluno do ensino médio, cujas respostas são apresentadas a partir de exemplos do cotidiano por meio de situações-problemas, sendo ainda desenvolvidos ao longo do texto, dados históricos, conceitos atuais e aplicações. As técnicas utilizadas pelo professor ao longo do texto objetivam estimular nos alunos um pensamento crítico, o senso de investigação e o interesse pelo tema.

Na abordagem de novos assuntos nos domínios de Ciências da Natureza deve-se buscar o desenvolvimento de habilidades de investigação e compreensão, como:

- Identificar informações relevantes para resolver determinada situação-problema;
- Identificar fenômenos naturais, grandezas e estabelecer relações;
- Selecionar instrumentos de medição e cálculo, representar dados, fazer estimativas, elaborar hipóteses e interpretar resultados;
- Interpretar, utilizar e propor modelos que representem fenômenos da natureza;
- Articular e integrar fenômenos e teorias dentro de uma ciência (BRASIL, 2000).

Sobre a abordagem dos temas, deve haver uma contextualização no ensino da ciência com o processo histórico, social e cultural, sendo levados à discussão os seguintes aspectos:

- Compreender o conhecimento científico e tecnológico como resultado da construção humana em um processo histórico e cultural;
- Compreender a ciência e a tecnologia como parte da cultura humana;
- Reconhecer o desenvolvimento tecnológico, suas relações com a ciência, sua presença no cotidiano e seus impactos sociais;
- Reconhecer o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico, e utilizá-lo no exercício da cidadania (BRASIL, 2000).

3. METODOLOGIA

I. Desenvolvimento da concepção

A parte experimental deste trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Terras Raras (BSTR), do Departamento de Química Fundamental (DQF), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Campus Recife.

II. Desenvolvimento da proposta

Os principais interesses deste trabalho são o aprofundamento e a melhoria das técnicas e dos conhecimentos pedagógicos sobre nanociências e nanotecnologias guiados por uma Sequência Didática construída para o ensino dessa temática no ensino médio.

Nesse sentido, elaborar uma SD como instrumento pedagógico para o ensino de nanociências e nanotecnologia com estudantes do ensino médio foi o primeiro objetivo desta pesquisa. Em seguida, utilizar as metodologias ativas de experimentação investigativa e aprendizagem colaborativa para pautar a SD e estimular nos estudantes o interesse pela pesquisa científica através da observação e avaliação da influência de nanopartículas de carbono na germinação de sementes de milho e feijão.

Portanto, na análise do conhecimento produzido após a implementação futura da Sequência Didática espera-se conseguir uma ampliação no entendimento científico e tecnológico dos estudantes, bem como um aumento do interesse por temas científicos. Além disso, espera-se estimular uma maior motivação dos alunos para participar de debates como agentes sociais, permitindo que eles contribuam nas decisões relacionadas a questões científicas e tecnológicas.

Apesar de os produtos de nanociências e nanotecnologia estarem disponíveis no mercado, eles são amplamente desconhecidos pela maioria das pessoas. Dada a importância de que a população compreenda a função dos nanomateriais nesses produtos, surgiu o interesse de implementar o ensino de nanociências e nanotecnologia no Ensino Médio a partir de uma proposta de uma SD como instrumento pedagógico que aporte, utilizando metodologias de ensino ligadas à situações-problema, germinação de sementes com uso de *Carbon Dots*,

contextualizando temas tecnológicos e inovadores através da experimentação investigativa e aprendizagem colaborativa.

O processo metodológico basicamente foi dividido em três etapas:

1. Síntese das nanopartículas de carbono, em laboratório;
2. Realização de testes de germinação de sementes de feijão e milho, em laboratório;
3. Elaboração da proposta de Sequência Didática sobre Nanociência e Nanotecnologia a ser aplicada às turmas do Ensino Médio.

3.1. Etapa 1: síntese das nanopartículas de carbono

Na primeira fase do trabalho foi preparada, em laboratório, uma solução concentrada de nanopartículas de carbono (*Carbon Nanodots* - CNDs), a qual foi posteriormente utilizada como base para a formulação das soluções aplicadas na etapa de germinação das sementes. O procedimento experimental para a síntese das nanopartículas foi realizado através de síntese assistida por microondas, desenvolvido pelo doutorando Edson da Silva Reis, o qual foi adaptado do protocolo descrito na literatura por Jiang *et al.* (2018).

De acordo com o procedimento, foram misturados 16 mL de água deionizada (pode ser substituído por água destilada), 4 mL de etanolamina e 8 mL de ácido orto-fosfórico 85 % P.A., nesta ordem, em um frasco de borossilicato (Figura 5a). Em seguida, em uma capela, com exaustor ligado e porta baixa, a mistura foi submetida a aquecimento em um aparelho microondas comercial da marca Philco, com potência 800 W, por 2,5 minutos. Posteriormente, o aparelho foi parcialmente aberto para a liberação dos gases formados na síntese, permanecendo aberto até o completo resfriamento do frasco (Figura 5b).



(a)



(b)

Figura 5 - Aparelho microondas contendo a mistura de reagentes (a) antes do aquecimento e (b) após o aquecimento com microondas.

Após o resfriamento do frasco, foi realizada a extração dos CNDs através da adição de 100 mL de água deionizada ao frasco, mexendo-se com o auxílio de um bastão de vidro e, por fim, a mistura foi levada a um banho ultrassônico por aproximadamente 15 minutos e transferida para tubos Falcon (Figura 6a). O líquido resultante foi então submetido à centrifugação por 10 minutos, a 5400 rpm (Figura 6b).

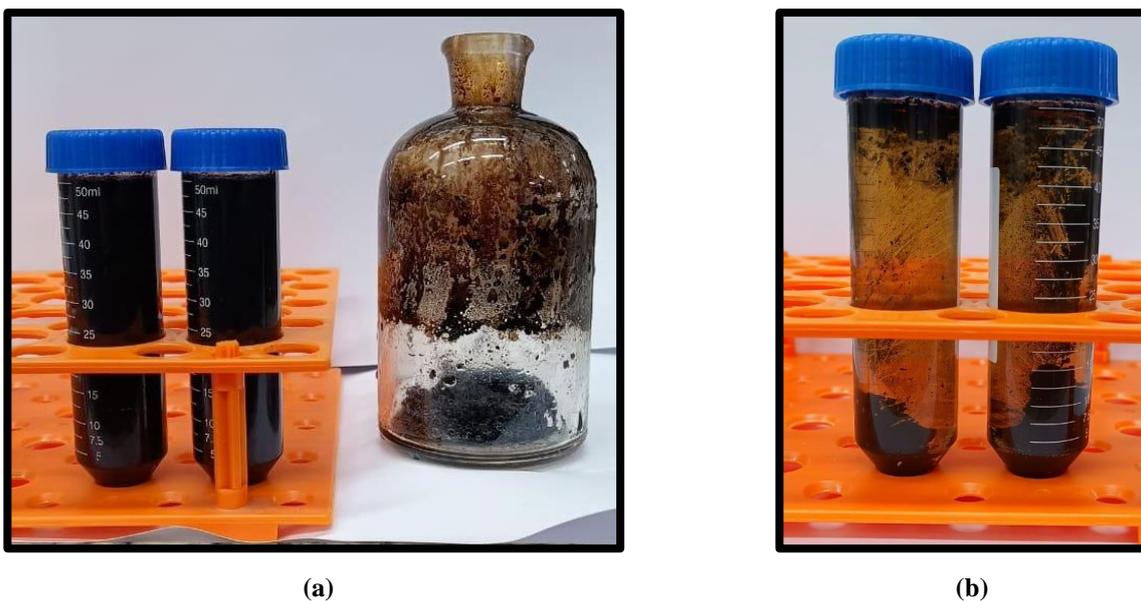


Figura 6 - (a) Extração dos CNDs com água deionizada e transferência para tubos falcon para centrifugação. (b) Suspensão de CNDs após a centrifugação.

Após a centrifugação, o líquido foi filtrado com papel de filtro de café, para a remoção do precipitado. Posteriormente, foi corrigido o pH da suspensão filtrada para 6,0, com a adição 57 mL de solução de KOH 1,0 M, e em seguida filtrada com filtro de membrana *millipore* de 0,2 μm , para remoção final de partículas que haviam passado pelo filtro de café (Figura 7). A cada 50 mL de suspensão filtrada, um novo filtro *millipore* era utilizado.

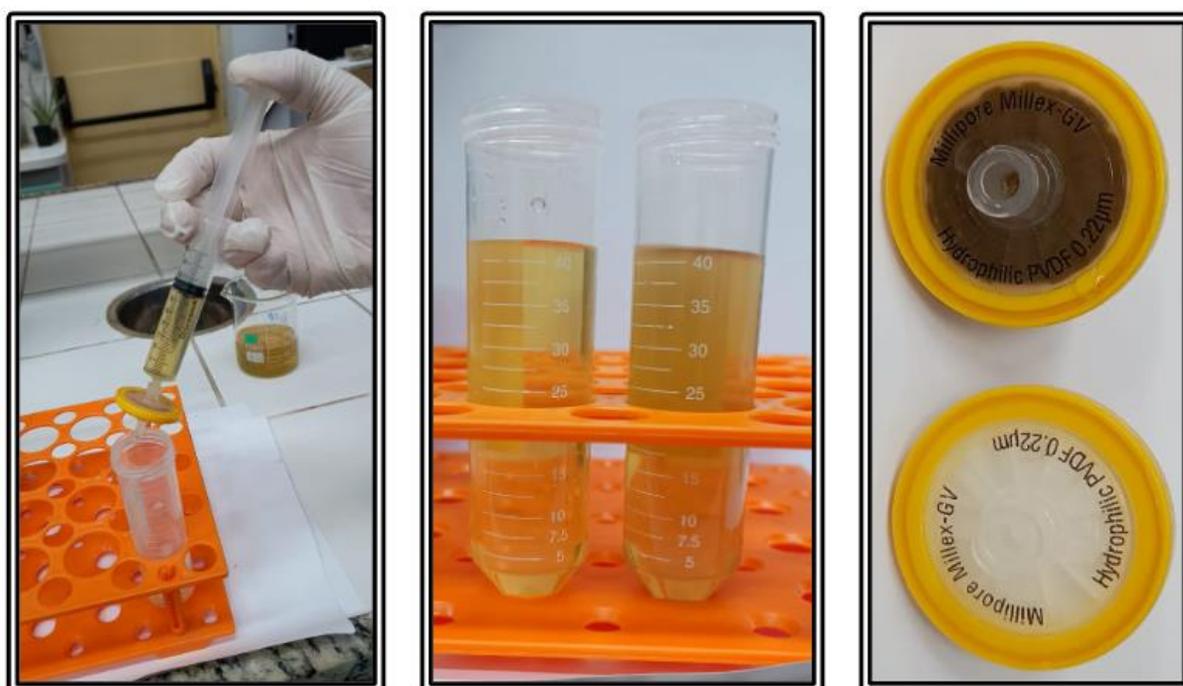


Figura 7 - Filtração da suspensão de CNDs em filtros *millipore*.

Por fim, para a determinação da concentração em g/L de CNDs na suspensão, foi tomada uma alíquota de 20 mL e transferida para um béquer de 50 mL, submetida posteriormente a vaporização em estufa a 80 °C, durante 24 horas. Após a secagem, o material particulado resultante (CNDs + K⁺) foi armazenado em um dessecador para resfriamento e em seguida pesado em balança analítica.

A natureza nanométrica das nanopartículas de carbono sintetizadas foi evidenciada através de Microscopia Eletrônica de Transmissão (MET) de alta resolução.

3.2. Etapa 2: testes de germinação com soluções de *Carbon Dots*

Os objetivos desta etapa é determinar o potencial de germinação máximo das sementes de feijão e milho, investigar a influência dos CNDs sobre a taxa de germinação, e provar a viabilidade técnica do experimento para sua aplicação junto às turmas de alunos do Ensino Médio.

Para a germinação, foram utilizadas sementes de milho e feijão mulato das marcas Cristal e Turquesa, respectivamente. Inicialmente, foram preparadas soluções de concentrações 100, 500 e 1000 µg/mL de CNDs, a partir da solução de CNDs concentrada.

Para o teste de germinação das sementes foram selecionadas 200 sementes de feijão e 200 sementes de milho com características semelhantes, tais como tamanho e aspecto. As 200 sementes de cada espécie foram divididas em quatro grupos de 50 sementes, onde cada grupo foi submetido a uma condição de germinação diferente:

- 1º grupo: grupo de controle, ou seja, sem tratamento com CNDs. Utilização apenas de água da torneira;
- 2º grupo: utilização de suspensão de CNDs com concentração de 100 µg/mL;
- 3º grupo: utilização de suspensão de CNDs com concentração de 500 µg/mL;
- 4º grupo: utilização de suspensão de CNDs com concentração de 1000 µg/mL.

As 50 sementes de cada grupo foram divididas em 5 replicatas contendo 10 sementes cada (Figura 8). Na sequência, cada replicata foi distribuída entre folhas de papel toalha, conforme exposto nas Figuras 9 e 10. Observe que as sementes devem ser posicionadas sobre duas folhas de papel e então uma terceira folha é colocada sobre as sementes. Na sequência, esse “sanduíche” de papel foi umedecido com 16 mL de água ou solução de CND, conforme a

especificação de cada grupo. A quantidade de volume líquido utilizada foi determinada a partir das massas das três folhas de papel. Para tal, foi determinada a massa média de três folhas de papel, a partir da pesagem de cinco grupos de três papéis.

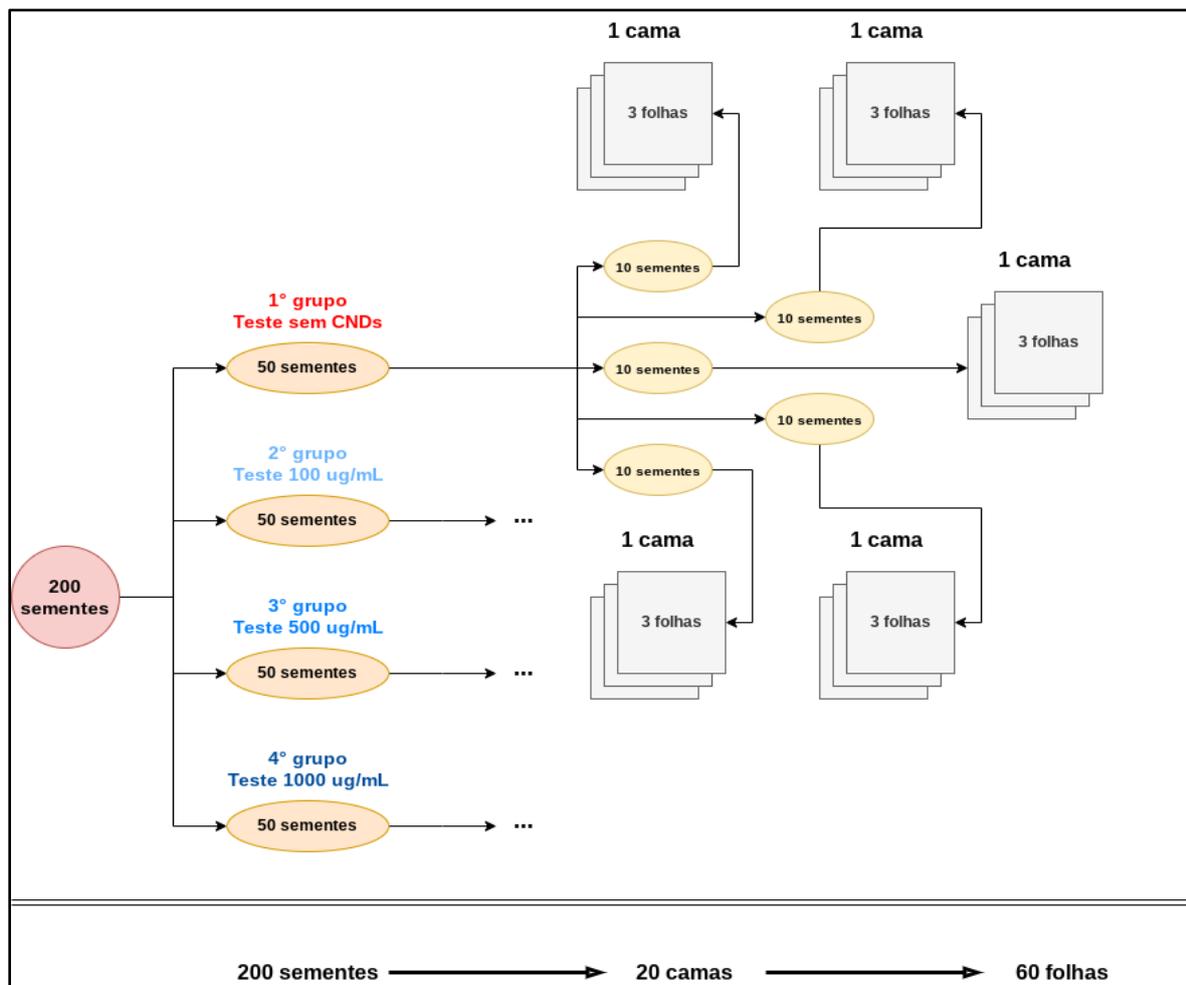


Figura 8 - Esquemático do teste de germinação das sementes em cada solução de CNDs.

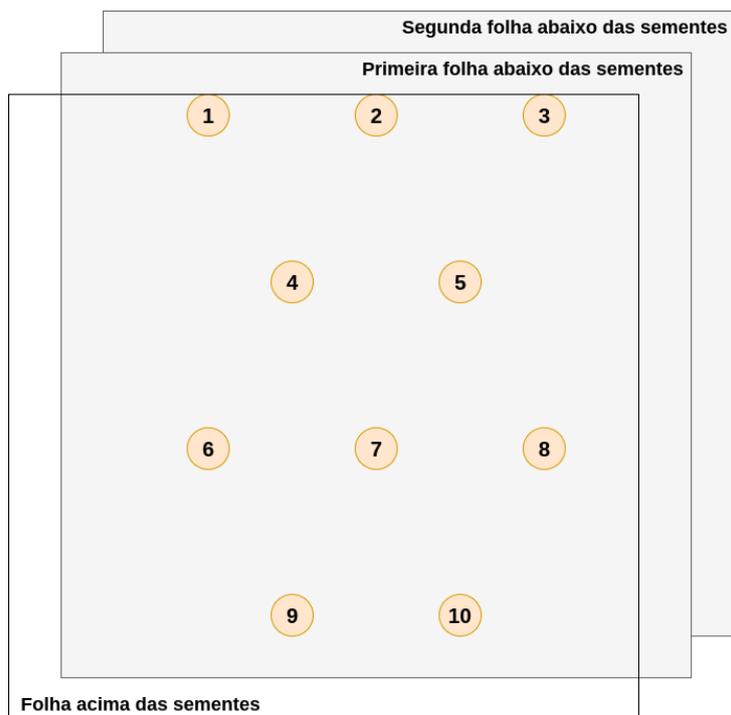


Figura 9 - Esquemático da distribuição das sementes sobre as camadas de papéis.

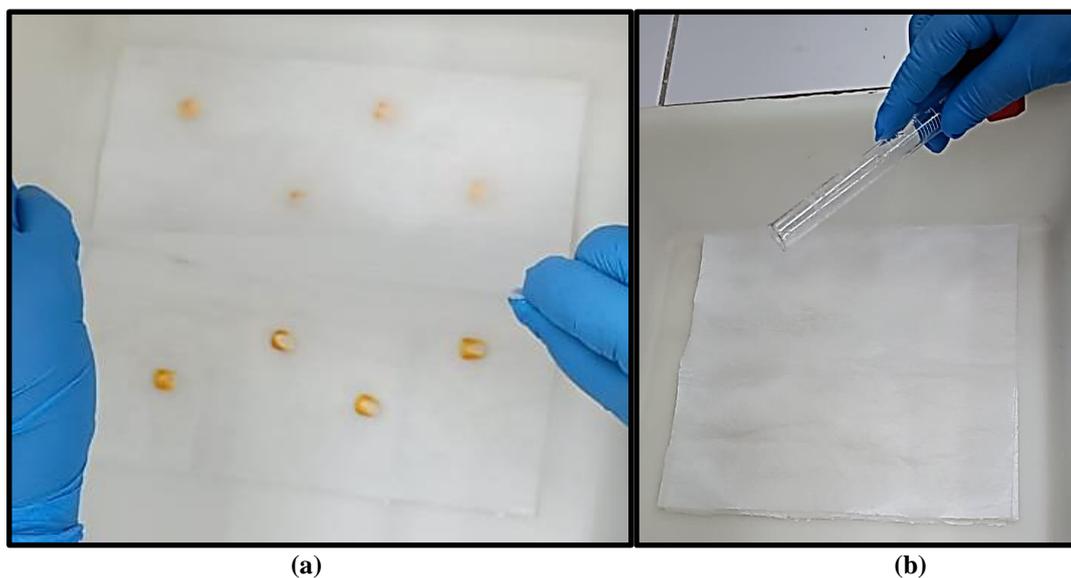


Figura 10 - (a) Construção de uma cama de papel com dez sementes de milho. (b) Umidificação da cama com uma solução de CNDs.

Uma vez umidificada, cada replicata foi enrolada e disposta dentro de uma garrafa de politereftalato de etileno (PET) de 2 litros, previamente limpas e cortadas (Figura 12). Em cada garrafa foram acondicionados os cinco rolos das replicatas de cada grupo, totalizando quatro garrafas (Figura 11).

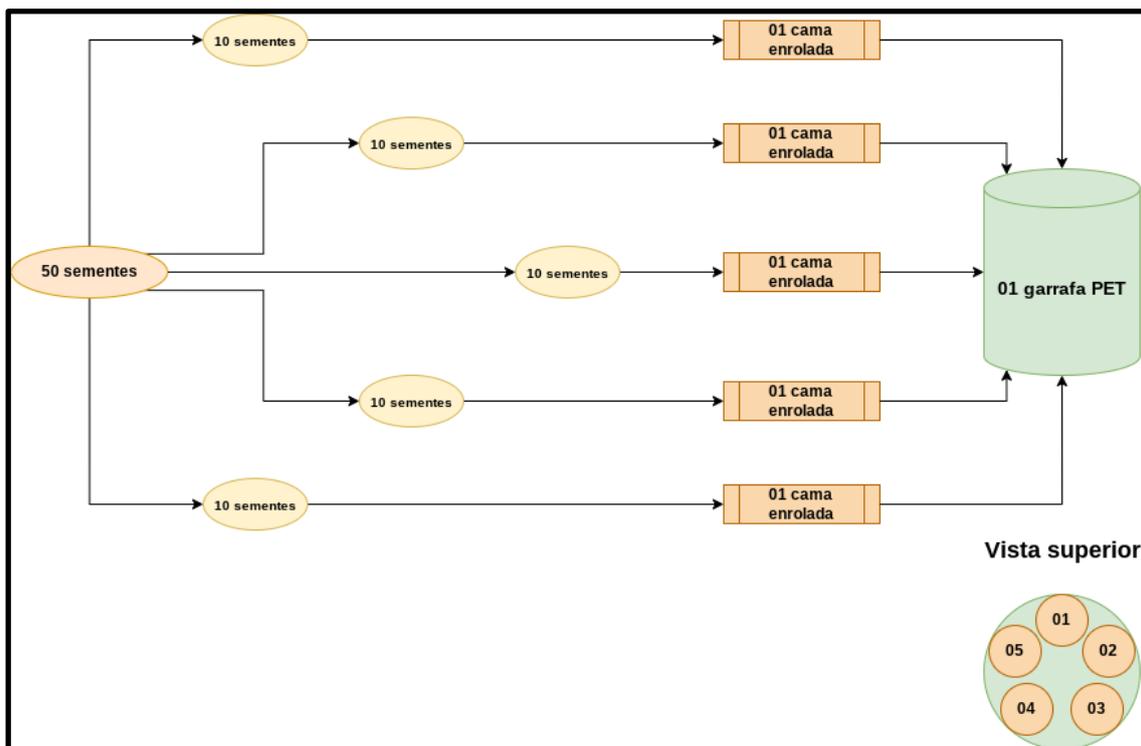


Figura 11 - Esquemático da disposição de um grupo de 50 sementes enrolado em cinco camadas de papel, posteriormente enroladas e alocadas dentro de uma garrafa PET.

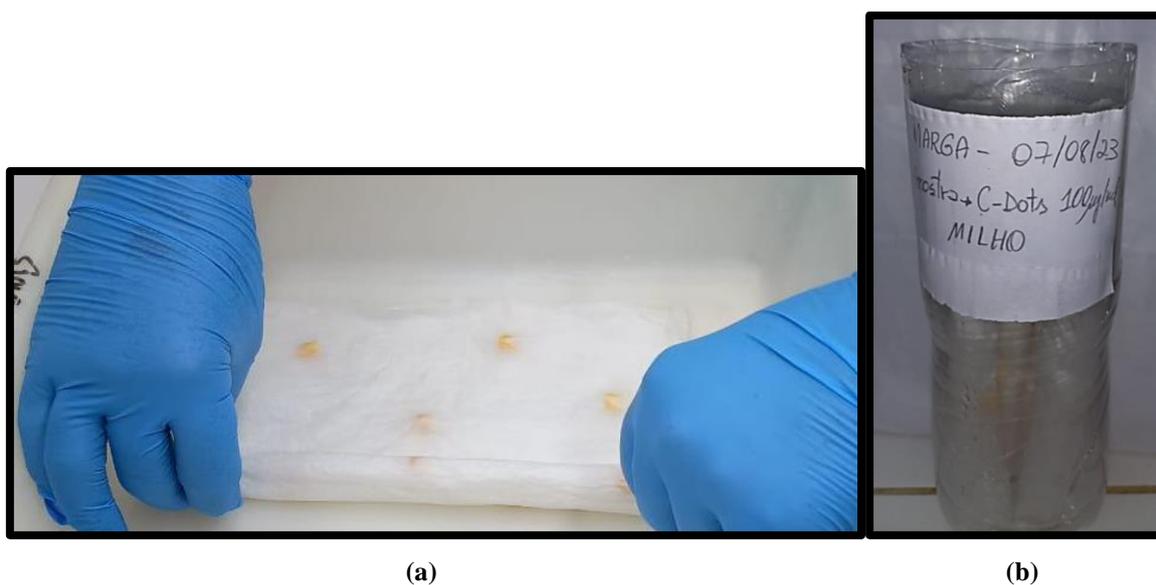


Figura 12 - (a) Cama de papéis com sementes de milho já umedecida sendo enrolada. (b) Garrafa PET contendo cinco camadas de milho enroladas.

Após alocadas as cinco rolas de cada grupo de sementes em cada garrafa PET, a parte superior da garrafa foi vedada com plástico filme e disposta adequadamente em local com incidência indireta de luz solar.

A cada dois dias, as garrafas foram abertas e os rolos desenrolados, para avaliar o a germinação das sementes e, se necessário, os rolos eram novamente umedecidos com suas respectivas soluções. As avaliações consistiram na captura de imagens por fotografia e na classificação das sementes como germinada normal, germinada anormal, não germinação, e não germinação com radícula).

Ao final do experimento, que perdurou dez dias, realizou-se a análise visual das plântulas e a medição dos comprimentos das radículas de cada uma.

Todos os resultados foram devidamente tabelados para posterior tratamento estatístico, a fim de avaliar comparativamente o crescimento das radículas dos diferentes grupos de concentração de solução de *Carbon Dots*.

3.3. Etapa 3: elaboração da proposta de Sequência Didática

Diante da verificação da efetividade dos testes de germinação, visando a viabilidade técnica de aplicação do experimento junto às turmas de alunos do Ensino Médio, a última etapa do projeto consiste na elaboração e desenvolvimento de uma Sequência de Didática como instrumento pedagógico para o ensino do tema estruturador de nanociência e nanotecnologia.

O modelo de SD proposto neste trabalho se baseou nas estruturas observadas nos estudos sobre a área de Sequência Didática para a produção de textos orais e escritos por Dolz *et al.* (2004). Entretanto, a SD aqui trazida será adaptada e voltada exclusivamente para o ensino da temática de nanociências e nanotecnologia.

Por conseguinte, a SD aqui proposta possui objetivos pedagógicos de modo a torná-la um instrumento sistemático a fim de dar-lhe organização tanto para as metodologias aplicadas quanto para a escolha dos momentos que a compõem.

Objetivos pedagógicos:

- Introduzir conceitos de Nanociências e Nanotecnologias através do uso de materiais informativos e do estudo da influência *Carbon Dots* na germinação de sementes de milho e feijão.

- Explorar os aspectos conceituais relacionados ao conteúdo curricular de Química a partir da preparação da solução de *Carbon Dots* até os ensaios de germinação das sementes;
- Utilizar as metodologias de experimentação investigativa e de aprendizagem colaborativa na avaliação da influência de nanopartículas de carbono nos testes de germinação;
- Levar os estudantes a identificarem a necessidade de utilização dos conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Química, Biologia e Matemática para alcançarem os objetivos do trabalho;

Sugere-se que a proposta de ensino constante na Sequência Didática seja dividida em momentos conforme o Quadro 1.

Quadro 1 - Esquema dos momentos pedagógicos.

Momento	Conteúdo
1º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação detalhada da disciplina;
2º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Questionário diagnóstico da compreensão e dos conhecimentos prévios sobre Nanociências e Nanotecnologias; ● Apresentação de conceitos, benefícios e riscos da Nanociência e Nanotecnologia;
3º e 4º Momentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação de conceitos de Química Analítica e Físico-Química;
5º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação de conceitos de Botânica sobre germinação;
6º e 7º Momentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação de conceitos de Matemática e Estatística;
8º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação da síntese da solução concentrada de <i>Carbon Dots</i>; ● Apresentação do preparo das soluções diluídas de <i>Carbon Dots</i>;
9º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação do guia de execução do experimento; ● Formação das equipes de trabalho; ● Preparo e organização do material para o ensaio de germinação das sementes de milho e feijão;
10º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Início dos ensaios de germinação das sementes;
11º ao 14º Momentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Análise da germinação das sementes; ● Socialização dos conhecimentos entre as equipes;
15º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Análise final da germinação; ● Medição do comprimento das raízes das plântulas; ● Encerramento dos ensaios de germinação;
16º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Tratamento dos dados (em laboratório de informática): cálculos, construção de gráficos e análise de resultados;
17º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Apresentação dos resultados;
18º Momento	<ul style="list-style-type: none"> ● Aplicação do questionário final avaliativo; ● Encerramento da pesquisa e da disciplina.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho se fundamentou nos principais desafios no Ensino da Química para o Ensino Médio, tendo como finalidade o desenvolvimento de uma proposta de Sequência Didática a ser aplicada para turmas de 2º ano do Ensino Médio utilizando uma metodologia mais dinâmica ao longo das aulas.

Ademais, a SD foi desenvolvida como ferramenta que propõe uma organização dos temas da disciplina, elencando os principais conteúdos abordados e as formas como serão tratados, bem como os recursos a serem utilizados, os objetivos buscados, os meios avaliativos e por fim a sequência de organização das aulas, sendo a SD modelada com a implementação das metodologias de ensino ativas de Experimentação Investigativa e de Aprendizagem Colaborativa a fim de tornar o aprendizado mais dinâmico e efetivo aos alunos.

Optou-se a abordagem da Nanociência e Nanotecnologia como tema da presente pesquisa e como objeto no desenvolvimento da SD, uma vez que os avanços tecnológicos e os usos de nanomateriais estão cada vez mais evidentes e disponíveis na sociedade moderna.

É válido salientar que antes da elaboração da SD, foi necessária a execução de testes e ensaios em laboratório para verificar a efetividade dos experimentos inseridos nela bem como a viabilidade de realização deles com os alunos das turmas do Ensino Médio.

As metodologias utilizadas na SD foram articuladas a três habilidades constantes na Competência Específica 3 de Ciências da Natureza e suas Tecnologias no Ensino Médio, presente no texto normativo da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), cujos códigos são EM13CNT301, EM13CNT303 e EM13CNT307, ao passo em que é possível realizar a associação da SD aqui proposta ao Eixo Estruturante I de Investigação Científica, também presente na BNCC.

4.1. Síntese das nanopartículas de carbono e formulação das soluções de *Carbon Dots*

Como descrito no item 3.1, na síntese e preparação da solução concentrada dos CNDs, já em condição de pH corrigido a 6,0, através da adição de solução de KOH. A partir de uma alíquota de 20 mL da suspensão de CNDs concentrada foi obtida uma mistura sólida de 1,0295

g (CNDs + K) com teor mássico de **27,58 %m/m de K e 72,42 %m/m de CNDs** (pó resultante após secagem).

Através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MET) foi constatada a natureza nanométrica das nanopartículas de carbono, sendo possível observar nanopartículas esféricas bem dispersas com tamanhos médios de **3,99 ± 0,13 nm**, de acordo com o histograma de distribuição de tamanho, conforme exibido na Figura 13.

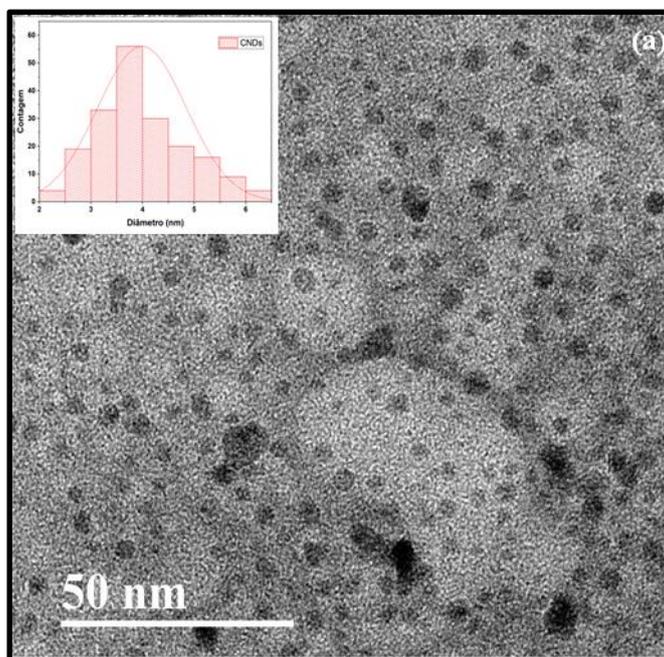


Figura 13 - Distribuição do tamanho das nanopartículas de carbono, obtida por Microscopia Eletrônica de Transmissão.

Uma vez determinada a massa da mistura sólida CNDs + K (que neste trabalho para fins de simplificação será denominada apenas CNDs) resultante da secagem da alíquota de 20 mL, a concentração obtida para a solução base foi de aproximadamente **0,051 g CND/mL**.

A partir desta solução base, foram formuladas outras soluções de 100, 500 e 1000 µg CND/mL em volume de 100 mL. Para tal foram utilizadas alíquotas da solução base de aproximadamente:

- **0,196 mL** para preparo da solução de 100 µg CND/mL;
- **0,980 mL** para preparo da solução de 500 µg CND/mL;
- **1,961 mL** para preparo da solução de 1000 µg CND/mL.

4.2. Testes de germinação de sementes

As 200 sementes de milho e de feijão, como já citado no item 3.2, foram divididas em grupos de 50 sementes, que seriam submetidas ao contato das diferentes concentrações de soluções de CNDs e expostas à incidência de luz solar para os testes de germinação:

- 1º grupo (grupo de controle): 50 sementes borrifadas apenas com água da torneira;
- 2º grupo: 50 sementes borrifadas com solução de 100 µg CND/mL;
- 3º grupo: 50 sementes borrifadas com solução de 500 µg CND/mL;
- 4º grupo: 50 sementes borrifadas com solução de 1000 µg CND/mL.

4.2.1. CLASSIFICAÇÃO DAS SEMENTES GERMINADAS

O teste perdurou **dez dias**, sendo necessária sua interrupção, após ser evidenciada a necrose das plântulas, e a falta de espaço para crescimento nas camas, com consequente diferença de incidência de luz solar em cada plântula. Deste modo, foi possível realizar somente quatro leituras de aspecto das sementes, classificando-as quanto ao seu crescimento em quatro categorias. Uma exemplificação destas categorias está exibida nas Figuras 14 e 15.

- Crescimento normal;
- Crescimento anormal;
- Sem germinação;
- Sem germinação com radícula.

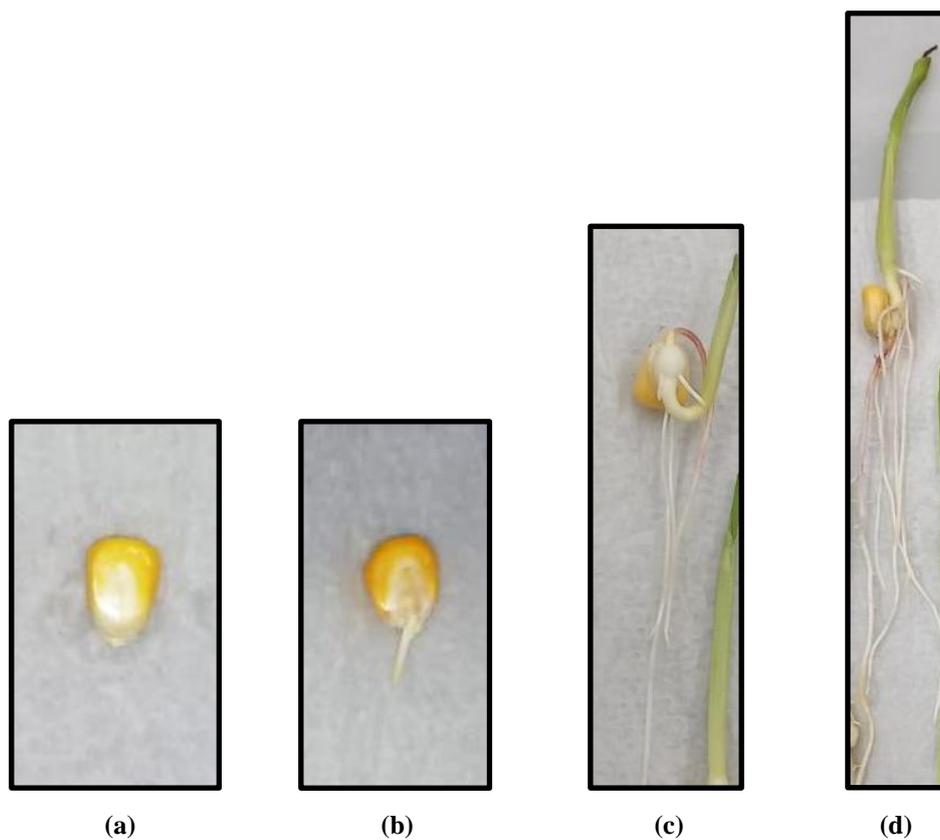
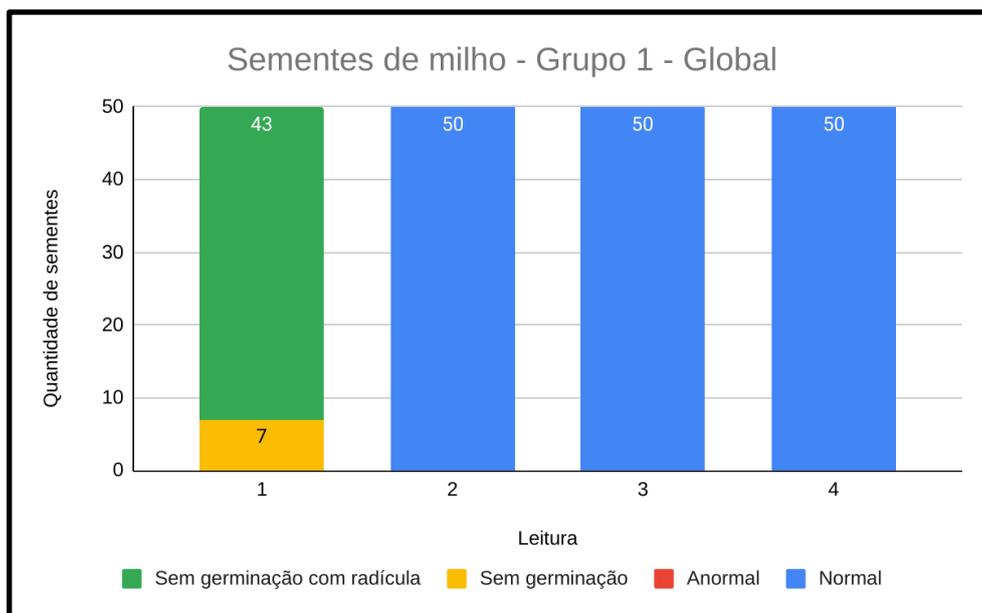


Figura 14 - Semente de milho (a) não germinada, (b) não germinada, porém com radícula, (c) germinada de modo anormal e (d) germinada de modo normal.

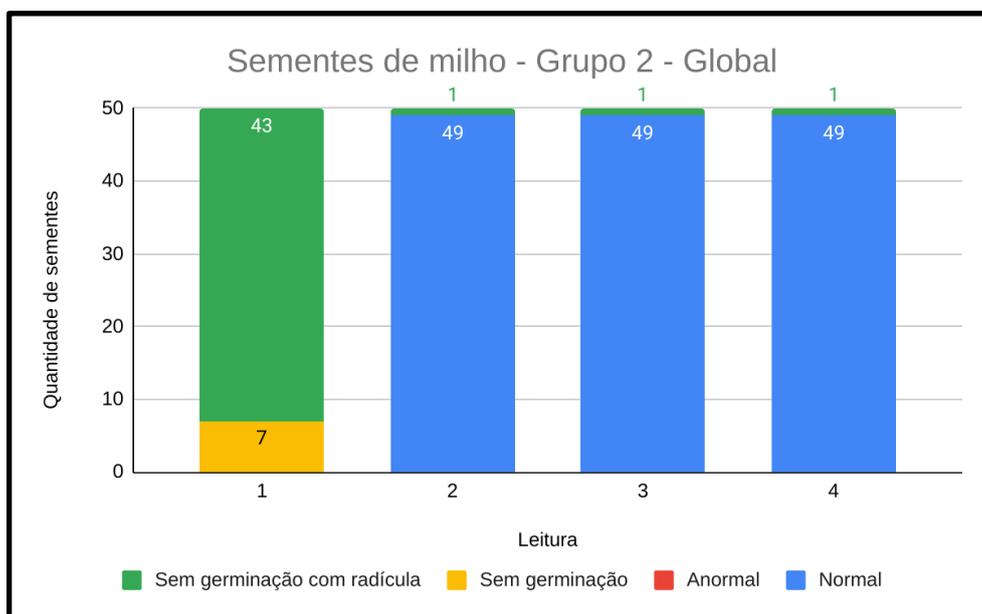


Figura 15 - Semente de feijão (a) não germinada, (b) não germinada, porém com radícula, (c) germinada de modo anormal e (d) germinada de modo normal.

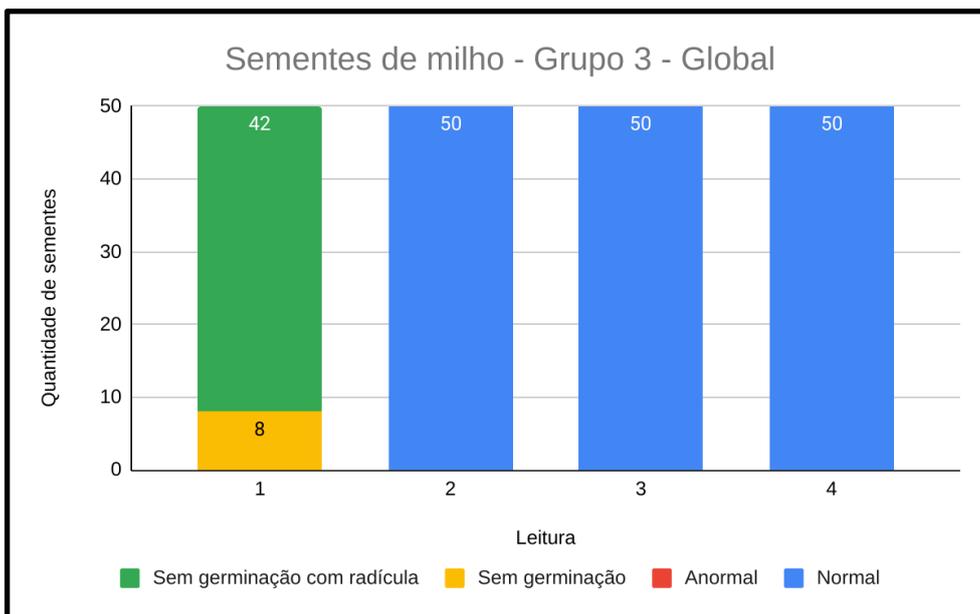
As Figuras 16 e 17 apresentam os resultados do número de sementes de milho e feijão, respectivamente, categorizadas durante os ensaios de germinação para cada grupo de solução de *Carbon Dots*.



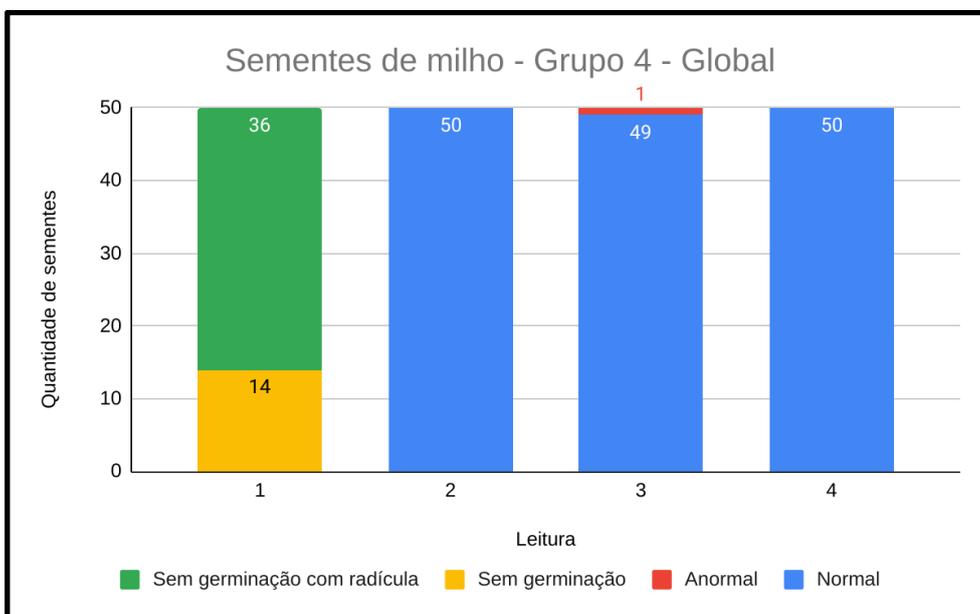
(a)



(b)

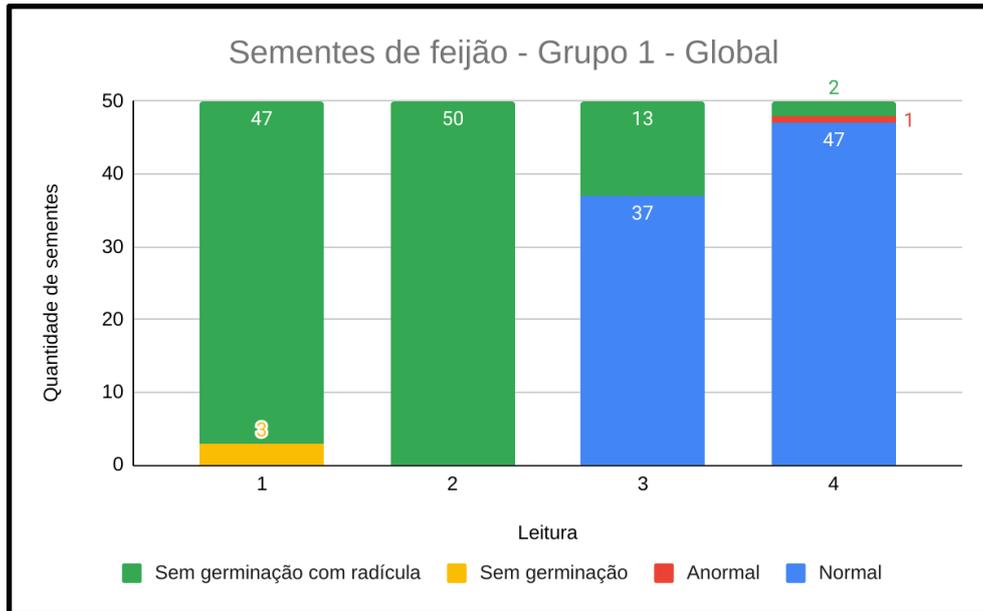


(c)

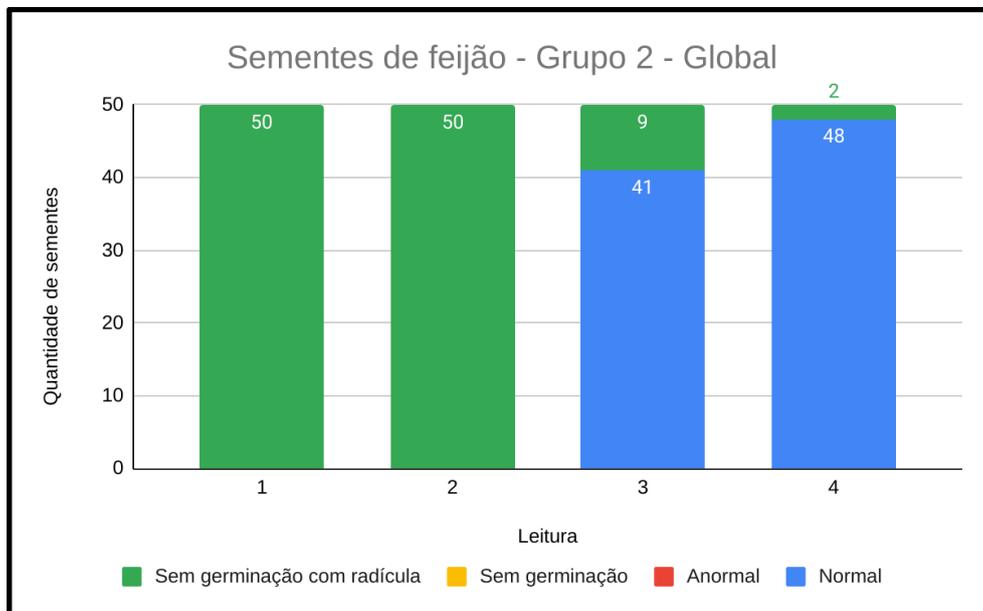


(d)

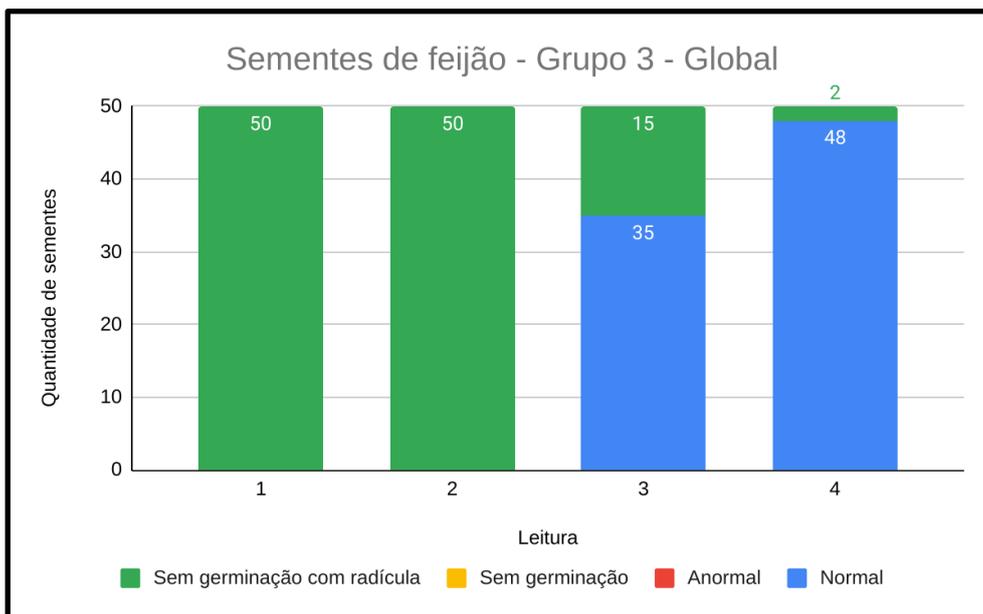
Figura 16 - Crescimento germinativo das sementes de milhos dos grupos (a) 1 (grupo de controle), (b) 2 (solução de 100 μg CND/mL), (c) 3 (solução de 500 μg CND/mL) e (d) 4 (solução de 1000 μg CND/mL).



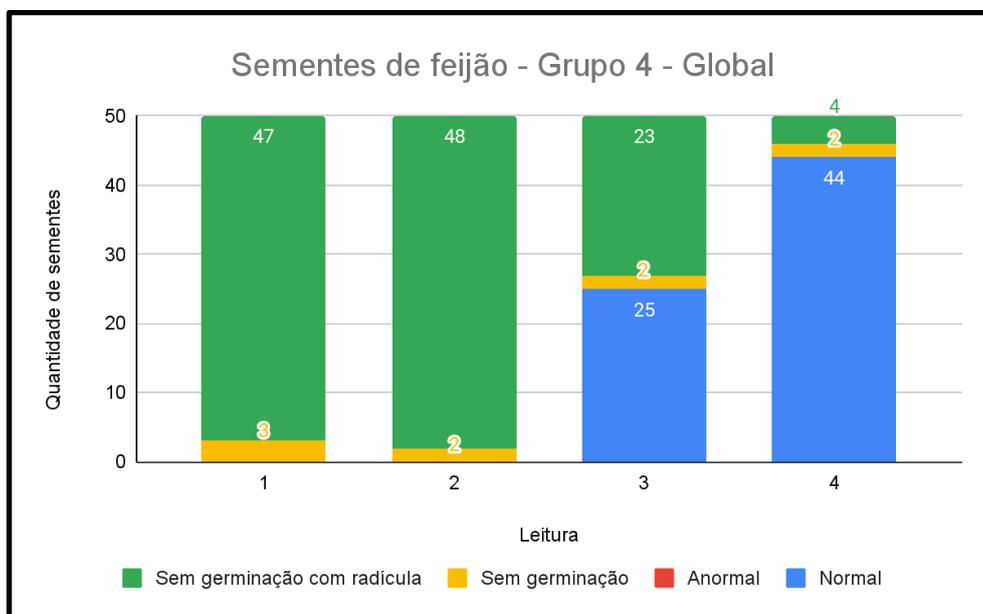
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 17 - Crescimento germinativo das sementes de feijão dos grupos (a) 1 (grupo de controle), (b) 2 (solução de 100 μg CND/mL), (c) 3 (solução de 500 μg CND/mL) e (d) 4 (solução de 1000 μg CND/mL).

Como pode-se evidenciar na Figura 16, a maioria das sementes de milho em todos os grupos de ensaio se desenvolveu a partir da segunda leitura, ou seja, a partir do 4^o dia de teste. Praticamente todas as sementes de milho germinaram de maneira normal nos quatro grupos de concentração, à exceção do grupo 2, em que se usou a solução de 100 μg CND/mL, onde apenas uma das sementes não germinou, porém apresentou crescimento de radícula.

Ainda para as sementes de milho, os resultados da primeira leitura se mostraram bastante similares para os grupos 1 a 3, onde apenas 7 a 8 sementes não germinaram. Enquanto no 4° grupo, com solução mais concentrada de CNDs (1000 µg CND/mL), foram constatadas 14 sementes sem germinação.

Somente uma semente de milho apresentou crescimento anormal durante a terceira leitura do 4° grupo (1000 µg CND/mL), mas que na leitura seguinte e última, voltou a se desenvolver normalmente.

Para as sementes de feijão (ver Figura 17), observou-se que nas duas primeiras leituras quase todas as sementes não germinaram, havendo apenas algumas poucas com radícula. As sementes de feijão apenas começaram a se desenvolver a partir da terceira leitura. Este fenômeno foi evidenciado em todos os grupos de ensaio.

Foi ainda observado que as sementes de feijão tiveram um maior crescimento quando se passou do grupo 1 (molhamento apenas com água da torneira) para os grupos 2 e 3 (molhamento com soluções de 100 e 500 µg CND/mL, respectivamente), indicando a efetividade do uso de *Carbon Dots* na germinação desta espécie.

Por outro lado, quando se aumentou a concentração para a solução de 1000 µg CND/mL no grupo 4, evidenciou-se uma redução do número de sementes que se desenvolveram normalmente, sugerindo uma saturação do crescimento frente a uma maior concentração de CNDs. Este grupo foi o que obteve uma menor quantidade de sementes de feijão germinadas.

Apenas se identificou uma única semente de feijão com crescimento anormal na última leitura do 1° grupo (grupo de controle), que possivelmente foi decorrente da ausência de espaço disponível para seu crescimento na cama n° 4.

Em nenhum grupo de ensaio das sementes de feijão obteve-se uma totalidade das sementes germinadas, sendo contatadas ainda poucas sem germinação ou apenas com radícula, diferentemente daquilo que foi notado nas sementes de milho, em que praticamente todas se desenvolveram.

Em resumo, ao final do experimento, observou-se que 98 a 100 % das sementes de milho germinaram normalmente, ao passo que para as sementes de feijão esta fração reduziu para 88 a 96 %, indicando uma maior resistência à germinação destas sementes.

Para fins de comparação estatística da fração de sementes germinadas, tanto de milho quanto de feijão, entre cada um dos grupos (em pares), foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis (com nível de confiança (NC) de 95,0 %), uma vez que a distribuição do percentual de sementes germinadas não apresentou uma distribuição normal. As hipóteses nula (H_0) e alternativa (H_1) seguem descritas na Equação 1. Para os resultados com diferença significativa ($p_{\text{value adj}} \leq \alpha$ (5,0 %)), foram realizadas comparações utilizando o teste post-hoc Dunn's.

$$\begin{aligned}
 p_{\text{value adj}} > \alpha (5 \%) &\Rightarrow H_0: \text{diferença nula da fração de sementes germinadas entre os grupos} \\
 p_{\text{value adj}} \leq \alpha (5 \%) &\Rightarrow H_1: \text{diferença significativa da fração de sementes germinadas entre os grupos}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Onde:

p_{value} : “ p ” valor do teste estatístico (%);

$p_{\text{value adj}}$: “ p ” valor ajustado do teste estatístico (%);

α : nível de significância do teste estatístico (100 % - NC %) (%);

NC: nível de confiança do teste estatístico (%).

Para ambas as espécies de sementes, o teste de Kruskal-Wallis quanto à fração de sementes germinadas não foi estatisticamente significativo com 95 % de confiança, ou seja, a distribuição de fração de sementes germinadas foi estatisticamente igual em todos os grupos de concentração:

- Milho: $p_{\text{value}} = 39,2 \%$ ($> 5,0 \%$) \Rightarrow Aceitar H_0 (diferença nula de germinação);
- Feijão: $p_{\text{value}} = 44,9 \%$ ($> 5,0 \%$) \Rightarrow Aceitar H_0 (diferença nula de germinação).

Deste modo, **não** houve diferença significativa da fração de sementes germinadas entre os grupos 1 a 4 para as duas espécies de sementes (milho e feijão) com NC = 95 %. Ou seja, tanto para o grupo que sofreu molhamento apenas de água (grupo 1 de controle), quanto para os demais grupos (grupos 2 a 4) que sofreram molhamento com soluções de 100, 500 e 1000 μg CND/mL, a fração de sementes germinadas foi estatisticamente igual com 95 % de confiança.

Portanto, não houve diferença significativa no número relativo de sementes germinadas quando se variava o uso de apenas água ao uso de soluções de CNDs como agentes molhantes. Isto é, o rendimento quanto ao percentual de sementes germinadas foi estatisticamente similar em todos os grupos.

É válido salientar que apenas a avaliação do percentual de sementes germinadas não é suficiente para definir o melhor meio para germinação, uma vez que mesmo que a fração de sementes germinadas pertencentes a diferentes grupos tenha sido estatisticamente igual, não significa dizer que suas raízes se desenvolveram de modo igual comparando os grupos. Por isso, ainda foi necessário avaliar o comprimento das raízes após os testes de germinação.

De maneira geral, foi observado que aquelas sementes que estavam dispostas mais na extremidade superior das camas de papel obtiveram raízes mais desenvolvidas, em virtude de estarem submetidas a uma maior incidência da luz solar, inclusive incidência direta. Este fenômeno foi constatado tanto para as sementes de milho, quanto para as de feijão.

4.2.2. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DAS RAÍZES DAS SEMENTES

Ao final do experimento, as camas das sementes foram abertas pela última vez, e foi realizada a medição do comprimento das raízes, conforme exemplificado na Figura 18.

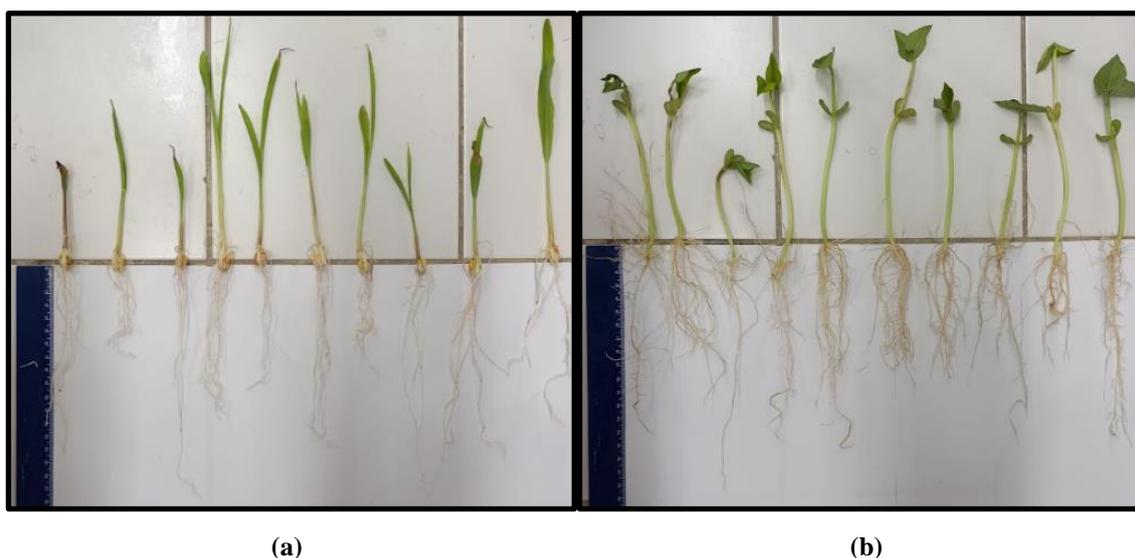


Figura 18 - Procedimento de medição do comprimento das raízes das sementes de (a) milho e (b) feijão.

Para as sementes de milho, na Tabela 1 estão apresentados os resultados de estatística descritiva do crescimento das raízes de cada grupo de testagem.

Tabela 1 - Estatística descritiva do comprimento das raízes das sementes de milho.

Grupo	Concentração da solução (µg CND/mL)	Média (cm)	Desvio padrão (cm)	CV	Mediana (cm)	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Intervalo (cm)
1	0	15,3	3,4	0,22	15,8	6,5	21,0	15,3 ± 3,4
2	100	14,4	4,4	0,31	14,5	0,0	22,0	14,4 ± 4,4
3	500	19,0	3,5	0,18	18,8	12,5	26,0	19,0 ± 3,5
4	1000	10,3	3,2	0,31	11,0	3,5	16,0	10,3 ± 3,2

Pela Tabela 1 pode-se observar que **em média** as sementes do grupo 3, em que se utilizou a solução de 500 µg CND/mL no ensaio de germinação, apresentaram comprimentos maiores de raízes, enquanto aquelas do grupo 4, foram as que exibiram menor comprimento de raízes, sugerindo uma inibição na germinação frente a maiores concentrações de *Carbon Dots*.

Em complemento, o grupo 3 ainda apresentou menor variabilidade nas medidas de comprimento das raízes, indicada pelo coeficiente de variação (CV). Já os grupos 2 e 4 resultaram em medidas com maior variabilidade (maior CV). Dentre os grupos, o segundo grupo foi aquele cujas medições foram menos precisas, determinadas pelo maior desvio padrão, ou seja, as sementes deste grupo germinaram de maneira menos uniforme, exibindo uma ampla faixa de comprimento de raízes.

Já na Tabela 2 são exibidos os resultados de estatística descritiva do crescimento das raízes das sementes de feijão em cada grupo de testagem.

Tabela 2 - Estatística descritiva do comprimento das raízes das sementes de feijão.

Grupo	Concentração da solução (µg CND/mL)	Média (cm)	Desvio padrão (cm)	CV	Mediana (cm)	Mínimo (cm)	Máximo (cm)	Intervalo (cm)
1	0	15,2	3,2	0,21	14,8	9,5	22,0	15,2 ± 3,2
2	100	16,7	3,8	0,23	17,0	9,0	24,0	16,7 ± 3,8
3	500	17,0	3,6	0,21	17,0	8,5	24,5	17,0 ± 3,6
4	1000	14,2	4,8	0,34	15,3	0,0	21,0	14,2 ± 4,8

Como pode-se constatar a partir dos resultados exibidos na Tabela 2, à medida que se aumentava a concentração da solução de *Carbon Dots*, o tamanho **médio** das raízes das sementes de feijão aumentou, à exceção daquelas pertencentes ao grupo 4, onde se havia uma solução mais concentrada de *CDs*, implicando raízes de menor comprimento. Este fenômeno foi análogo ao observado para as sementes de milho, onde sugere novamente uma inibição à germinação em meio muito concentrado de *CDs*.

O meio com solução de 500 µg CND/mL foi o mais propício ao crescimento das raízes, uma vez que resultou em raízes com maior **média** de comprimento.

A variabilidade das medições foi próxima nos três primeiros grupos (determinada pelo CV), sendo o primeiro grupo de sementes o que apresentou melhor precisão de resultados (menor desvio padrão). Já no quarto grupo foram obtidos resultados com maior variabilidade, indicando uma germinação menos uniforme entre as sementes deste grupo, e uma faixa mais ampla de comprimento de raízes.

Para verificar os resultados obtidos pela estatística descritiva, foi realizado o mesmo procedimento de teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis a NC = 95,0 %, uma vez que a distribuição do comprimento das raízes das sementes não apresentou uma distribuição normal na maior parte dos grupos. O teste foi realizado conforme descrito pela Equação 2, e para os resultados com diferença significativa, em que $p_{value\ adj} \leq \alpha$ (5,0 %), foram realizadas comparações utilizando o teste post-hoc Dunn's.

$$\begin{aligned} p_{value\ adj} > \alpha (5\%) &\Rightarrow H_0: \text{diferença nula do comprimento das raízes entre os grupos} \\ p_{value\ adj} \leq \alpha (5\%) &\Rightarrow H_1: \text{diferença significativa do comprimento das raízes entre os grupos} \end{aligned} \quad (2)$$

O objetivo em avaliar este teste para o comprimento das raízes visa identificar a capacidade de captação de nutrientes no solo, uma vez que raízes maiores tendem a captar mais facilmente estes nutrientes.

Como resultado global dos testes foi obtida diferença significativa com confiança de 95 % quanto ao comprimento das raízes das sementes de **milho** ao se variar os grupos de concentração de solução de *Carbon Dots*, isto é, a distribuição do comprimento das raízes foi estatisticamente diferente entre pelo menos dois grupos de concentração. Já para as sementes de **feijão**, o comprimento das raízes foi estatisticamente igual entre todos os grupos de concentração de solução de CDs:

- Milho: $p_{value} < 0,1\%$ ($< 5,0\%$) \Rightarrow Aceitar H_1 (diferença significativa de comprimento de raiz em pelo menos dois grupos de concentração);
- Feijão: $p_{value} = 14,6\%$ ($> 5,0\%$) \Rightarrow Aceitar H_0 (diferença nula de comprimento de raiz entre todos os grupos de concentração).

O resultado dos testes para as sementes de milho está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Teste estatístico de Kruskal-Wallis do comprimento das raízes das sementes de milho.

Grupo amostral A	Grupo amostral B	pvalue (%)	pvalue adj (%)	Hipótese aceita	Conclusão
Grupo 1	Grupo 2	33,6	100,0	H ₀	Diferença nula
Grupo 1	Grupo 3	12,8	76,5	H ₀	Diferença nula
Grupo 1	Grupo 4	1,3	7,7	H ₀	Diferença nula
Grupo 2	Grupo 3	1,3	7,7	H ₀	Diferença nula
Grupo 2	Grupo 4	12,8	76,5	H ₀	Diferença nula
Grupo 3	Grupo 4	< 0,1	0,0	H ₁	Diferença significativa

Pela Tabela 3 é possível observar que para as sementes de milho a variação da concentração de *Carbon Dots* no meio apenas foi estatisticamente significativa com 95 % de confiança ao se variar a concentração de 500 µg CND/mL (grupo 3) para 1000 µg CND/mL (grupo 4). Já ao se comparar os demais grupos de concentração, a variação do comprimento das raízes **não** se demonstrou estatisticamente significativa.

Já para as sementes de feijão a variação da concentração de *CDs* no meio **não** se demonstrou estatisticamente significativa, isto sugere afirmar que tanto ao se utilizar apenas água como meio molhante quanto ao se utilizar soluções de *CDs* nas concentrações testadas, o comprimento das raízes obtidas será similar com 95 % de confiança.

A respeito da seleção da melhor solução de germinação, nada é possível afirmar, uma vez que esta avaliação depende além da contagem de sementes germinadas e do comprimento das raízes das plântulas, requerendo ainda outros estudos que poderão ser abordados em trabalhos futuros. Estes estudos poderão levantar resultados referentes à massa das plântulas para avaliação da formação de matéria, à capacidade de absorção de solução, e à análise de economicidade.

De posse dos resultados obtidos, foi possível constatar que o experimento de germinação a partir do uso de *Carbon Dots* se demonstrou efetivo e possível de ser realizado junto aos alunos do Ensino Médio.

4.3. Proposta de Sequência Didática

A proposta de ensino constante na Sequência Didática está dividida em 18 (dezoito) momentos de 100 (cem) minutos cada, utilizando recursos didáticos como *Data Show*, vídeoaulas, reportagens e materiais para o experimento.

Sequência Didática - Ensino de Nanociências e Nanotecnologia
Componente - Disciplina Eletiva
Eixo Estruturante - Investigação Científica
Série - 2º ano do Ensino Médio

I. TEMA

Investigação Científica: a influência de *Carbon Dots* sobre a germinação de sementes de milho e feijão.

II. COMPONENTES ENVOLVIDOS

Química, Biologia e Matemática.

III. OBJETO DE CONHECIMENTO

Nanociências e Nanotecnologias; materiais com nanopartículas; *Carbon Dots* e sua aplicação na agricultura.

IV. CONTEÚDOS A SEREM TRABALHADOS

Conceitos de metodologia de pesquisa científica; substâncias puras, simples e compostas; concentrações de soluções; diluição de soluções; acidez e basicidade; potencial hidrogeniônico e potencial hidroxiliônico (pH e pOH); reações de neutralização; preparação de soluções; umidade; quantidade de matéria (mol); massa atômica; massa molar; separação de misturas; estudo de frações, escalas e porcentagem; unidade de medidas (comprimento, massa e volume); amostra e população; representação gráfica; variância; desvio padrão; média aritmética; tipos de erros; exatidão e precisão; estudo das estruturas das sementes monocotiledôneas e eudicotiledôneas; estudo de germinação.

A exposição de tais conteúdos objetiva que os alunos adquiram o mínimo de conhecimento necessário para que sejam executadas as práticas.

V. PROPOSTA DE ENSINO

❖ 1º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)

➤ Objetivos:

- Apresentar de modo geral a disciplina;
- Apresentar as ferramentas de avaliação;
- Apresentar as referências bibliográficas base da disciplina.

➤ Detalhamento:

Neste momento, serão apresentados as propostas e os objetivos que serão desenvolvidos para que o estudante tenha uma visão detalhada da disciplina e de seu percurso, de modo que, através dessas atividades, o contato inicial dos alunos com a matéria seja realizado.

Durante a apresentação da disciplina, o professor enfatizará as matérias que serão utilizadas como base: Química, Biologia e Matemática, cujos conteúdos necessários serão ministrados em outros momentos.

Em adição o professor ainda deverá expor aos estudantes as ferramentas que serão utilizadas para avaliação, como por exemplo, seminários, provas avaliativas ou outras atividades complementares. A metodologia a ser utilizada para a avaliação dos alunos fica a critério de escolha do professor.

Após a exposição dos objetivos da disciplina, o professor irá apresentar as fontes bibliográficas que poderão ser utilizadas para consulta no decorrer das aulas.

Neste momento, o professor deve ainda reservar momentos para que os estudantes tirem suas dúvidas a respeito da disciplina.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*.

❖ 2º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)

➤ Objetivos:

- Aplicar um questionário diagnóstico abordando os conhecimentos prévios de Nanociência e Nanotecnologia;
- Apresentar os conceitos básicos de Nanociência e Nanotecnologia.

➤ Conteúdo programático:

- Evolução histórica de Nanociência e Nanotecnologia, e seus conceitos;
- Aplicações e consequências de Nanociência e Nanotecnologia;
- Unidades de medida de comprimento.

➤ Detalhamento:

Este momento será composto por uma produção inicial, a qual será constituída por um questionário diagnóstico com fim de identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema a ser abordado na matéria. Para fins didáticos, este questionário será denominado de pré-teste, composto por questões abertas e/ou fechadas, cuja nota não deverá ser considerada no cálculo da nota final da disciplina. Um exemplo de pré-teste está exibido no Apêndice A.

Após a aplicação do questionário, o professor iniciará o conteúdo programático da disciplina, abordando neste momento assuntos relacionados à nanociência e nanotecnologia.

A abordagem deve ser iniciada com perguntas relevantes ao tema, buscando elaborar a socialização dos estudantes e a introdução ao tema.

Antes da abordagem sobre nanociência, deve-se realizar uma revisão de unidades de medida de comprimento, a fim de facilitar a compreensão dos alunos sobre o uso da escala nanométrica.

Em seguida, o professor deve iniciar a exposição dos assuntos pelo histórico e evolução da nanociência e nanotecnologia ao longo dos anos até os dias atuais, passando pelas principais descobertas. Na sequência, devem ser ainda expostas as principais aplicações da nanociência e nanotecnologia, onde o professor deverá trazer exemplos do cotidiano à vista dos alunos e facilitar a socialização da turma através de debates. Em adição, é importante ainda que sejam levantadas em sala de aula os riscos e consequência do uso de nanotecnologia.

Por fim, o professor deverá solicitar aos estudantes que pesquisem a respeito das principais aplicações da nanotecnologia.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*;
- Debates e discussões.

➤ Referências de consulta:

- CARVALHO, A.B.M. Introdução à Nanociência e Nanotecnologia para o Ensino Médio. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008;
- SILVA, S.L.A; VIANA, M.M.; MOHALLEM, N.D.S. Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio. Química Nova na Escola, v. 31 (3), 2009.

➤ Modelo de avaliação:

- Pré-teste;
- Avaliação processual.

❖ **3° e 4° Momentos (4 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Apresentar os conceitos básicos de Química Analítica e Físico-Química.

➤ Conteúdo programático:

- Conceitos de metodologia de pesquisa científica;
- Quantidade de matéria (mol), massa atômica, massa molar.
- Substâncias puras, simples e compostas;
- Concentrações de soluções;
- Preparação e diluição de soluções;
- Separação de misturas;
- Acidez e basicidade: potencial hidrogeniônico potencial hidroxiliônico (pH e pOH);
- Reações de neutralização;
- Indicadores de acidez e basicidade.

➤ Detalhamento:

Nestes momentos deverão ser abordados temas relacionados à Química, especificamente Química Analítica e Físico-Química, que servirão de base para a realização dos experimentos.

O professor deverá iniciar a abordagem por conceitos de metodologia científica, expondo aos alunos a importância do tema e explicando de modo introdutório os requisitos

básicos para se realizar uma pesquisa bibliográfica com qualidade, apresentando ainda diferenças entre as principais fontes de pesquisa, como livros, artigos, *websites* e trabalhos. Deve-se ainda exemplificar aos estudantes como devem ser realizadas citações em trabalhos científicos, fazer menção de tabelas e figuras, e ainda referenciar as fontes bibliográficas.

Em seguida, o professor deve trabalhar os conteúdos relacionados à Química, iniciando por Físico-Química, onde o professor irá abordar conceitos básicos de Química Nuclear (como quantidade de matéria, massa atômica e massa molar), diferenças entre substâncias puras, simples e compostas, preparo de soluções e misturas, e métodos de separação de misturas, apresentando fórmulas relacionadas aos temas e realizando exercícios a serem resolvidos em sala de aula.

No momento seguinte, o professor deverá abordar os assuntos relacionados à Química Analítica, trabalhando apenas temas relativos a acidez e basicidade, onde deverão ser apresentadas as escalas de potencial hidrogenônico (pH) e potencial hidroxiliônico (pOH), e ainda abordar as principais reações de neutralização, e ainda expor de modo experimental a atuação dos principais indicadores ácido-base (como fenolftaleína, alaranjado de metila e azul de bromotimol). Estes temas também poderão ser trabalhados com o auxílio de exercícios resolvidos em própria sala de aula.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*;
- Quadro-branco;
- Materiais de laboratório de química.

➤ Referências de consulta:

- FELTRE. R. Química, vol. 1 - Química Geral. Editora Moderna, 7^a ed., 2008;
- FELTRE. R. Química, vol. 2 - Físico-Química. Editora Moderna, 7^a ed., 2008.

➤ Modelo de avaliação:

- Exercícios;
- Avaliação processual.

❖ **5º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Apresentar os conceitos de Botânica sobre germinação.

➤ Conteúdo programático:

- Classificação e partes das plantas;
- Estruturas das sementes monocotiledôneas e eudicotiledôneas;
- Germinação.

➤ Detalhamento:

O quinto momento, assim como os dois anteriores, terá caráter também expositivo, onde o professor regente da disciplina contará com o apoio de um professor auxiliar de Biologia, que por sua vez deverá abordar temas relacionados à Botânica.

O professor auxiliar deverá iniciar as aulas introduzindo os estudantes aos principais temas de botânica, como o reino vegetal e a classificação das plantas (briófitas, pteridófitas, gimnospermas e angiospermas). Em seguida, devem ser apresentadas as principais partes das plantas (raízes, caule, folhas, flores, frutos e sementes) e suas principais funções nestes organismos vivos.

Como as sementes são uma parte pertencente apenas às plantas das classes gimnospermas e angiospermas, após a parte introdutória, o professor deverá conduzir a turma apenas ao estudo destas classes de plantas, uma vez que o foco da etapa experimental da disciplina trabalhará com o estudo das sementes.

Aqui o professor irá abordar a classificação das plantas angiospermas quanto à morfologia das sementes: monocotiledôneas e eudicotiledôneas, devendo ser apresentadas as principais características e diferenças de cada uma das classes.

Por fim, devem ser trabalhados ainda os processos de germinação e suas fases, os processos de captação de água e absorção de nutrientes, os fatores que afetam a germinação, os tipos de raízes e os aspectos básicos de bioquímica.

Como complemento, o professor pode ainda trabalhar os assuntos com a turma através de exercícios resolvidos em sala de aula, e solicitar que os estudantes pesquisem mais a respeito de germinação de plantas, que será tratado mais profundamente durante as aulas experimentais.

- Recursos didáticos e metodologia:
 - Aula expositiva dialogada em *Data Show*;
 - Quadro-branco.
- Referências de consulta:
 - AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. *Biologia dos Organismos*, vol. 2. Editora Moderna, 2ª ed., 2004;
 - CARVALHO, C.P. Germinação. InfoEscola. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/plantas/germinacao>>;
 - LOPES, S.; ROSSO, S. *BIO - Volume Único*. Editora Saraiva, 3ª ed., 2013.
- Modelo de avaliação:
 - Exercícios;
 - Avaliação processual.

❖ **6º e 7º Momentos (4 aulas de 50 minutos cada)**

- Objetivos:
 - Apresentar os conceitos de Matemática e Estatística.
- Conteúdo programático:
 - Conceitos básicos de Aritmética: estudo de frações, escalas e porcentagem;
 - Unidade de medidas (comprimento, massa e volume);
 - Conceitos básicos de Estatística: amostra e população, média, variância, desvio padrão, mediana, moda, máximo e mínimo, amplitude, intervalo;
 - Estudo dos erros;
 - Conceitos de exatidão e precisão;
 - Conceitos de repetibilidade e reprodutibilidade;
 - Representação e análise gráfica.
- Detalhamento:

Bem como no quinto momento, será necessário um professor auxiliar da área de Matemática para ministrar as aulas destes dois momentos.

No sexto momento serão trabalhados junto aos alunos conceitos de Aritmética, que serão abordados de maneira lúdica através de problemas matemáticos que busquem uma resolução simplificada. Em seguida, deve-se ainda aprofundar mais os assuntos da Aritmética através da resolução de problemas que tratem de frações, escalas e porcentagem.

Em seguida, o professor deve ainda expor aos alunos assuntos relacionados às unidades básicas de medidas, como comprimento, massa e volume, sendo abordadas as escalas e conversão de medidas. Tais assuntos também poderão ser tratados de maneira lúdica através de resolução de problemas.

No momento seguinte, deverão ser trabalhados conceitos de Estatística, como amostra e população, média aritmética, variância, desvio padrão, mediana, moda, máximo e mínimo, amplitude e intervalo. Posteriormente estes temas deverão ser trabalhados em formato de resolução de problemas.

Na sequência, deverão ser abordados temas relacionados ao estudo de erros, apresentando os principais tipos de erros de medição (sistemático, aleatório e grosseiro), conceitos de exatidão e precisão, e ainda conceitos de repetibilidade e reprodutibilidade.

Por fim, deve ser ainda trabalhado com os alunos a análise e representação gráfica, onde podem ser apresentados os principais tipos de gráficos para a exposição de resultados, como gráfico de linhas, de barras e colunas, de dispersão, de pizza e histogramas. Especificamente para a análise de histograma, devem ser apresentados aos alunos conceitos de frequência absoluta, frequência relativa e frequência acumulada.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*;
- Quadro-branco.

➤ Referências de consulta:

- DANTE, L.R. Matemática - Contexto & Aplicações, vol. 2. Editora Ática, 5ª ed., 2019;
- Estatística Básica. EducaBras. Disponível em: <<https://www.educabras.com/aula/estatistica-basica>>;
- LUIZ, R. Estatística. Brasil Escola, 2024. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/matematica/estatistica-2.htm>>.

- Modelo de avaliação:
 - Exercícios;
 - Avaliação processual.

❖ **8º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

- Objetivos:
 - Apresentar a síntese da solução concentrada de *Carbon Dots*;
 - Apresentar o preparo das soluções diluídas de *Carbon Dots*.
- Conteúdo programático:
 - Conceitos e tipos de nanopartículas de carbono;
 - Aplicações, benefícios e riscos no uso de nanopartículas de carbono na agricultura;
 - Formulação experimental da síntese de *Carbon Dots*;
 - Diluição das soluções de *Carbon Dots*.
- Detalhamento:

Neste momento, será introduzido aos alunos os principais conceitos de nanopartículas de carbono, como informação adicional aos temas de Nanociência já trabalhados no segundo momento.

Serão apresentados aos alunos as duas principais classes de partículas de carbono: os fullerenos e os nanotubos de carbono, indicando ainda suas principais aplicações, as vantagens e desvantagens de seus usos na área da agricultura. Também deverá ser abordado como os *CDs* podem atuar como agentes da germinação de sementes, exemplificando o modelo de absorção e seus efeitos ao longo do processo de germinação.

Após a parte introdutória, o professor deverá apresentar em formato de imagens o método de síntese dos *CDs*, utilizado no presente trabalho, devendo ser expostos em detalhes os materiais e reagentes utilizados, bem como o procedimento experimental para a formulação da suspensão de nanopartículas de carbono.

Em seguida, será apresentada também a formulação das demais soluções de *CDs* a partir do processo de diluição de soluções, também em formato de imagens.

Neste momento serão abordados assuntos de Química previamente ministrados, como acidez e basicidade, separação de misturas, concentração e diluição de soluções.

É válido salientar que os estudantes não elaborarão em laboratório a síntese das nanopartículas de carbono, tampouco a formulação das diluições, que por sua vez já serão previamente preparadas pelo professor e fornecidas no momento da germinação das sementes.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*;
- Imagens em formato de fotografias e vídeos dos experimentos de síntese de *Carbon Dots* e formulação das soluções.

➤ Referências de consulta:

- CARVALHO, A.B.M. Introdução à Nanociência e Nanotecnologia para o Ensino Médio. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008;
- FELTRE, R. Química, vol. 2 - Físico-Química. Editora Moderna, 7ª ed., 2008;
- JIANG, K.; WANG, Y.; GAO, X.; CAI, C.; LIN, H. Facile, Quick, and Gram-Scale Synthesis of Ultralong-Lifetime Room-Temperature-Phosphorescent Carbon Dots by Microwave Irradiation. *A Journal of the German Chemical Society*, v. 57, p. 1-6, 2018;
- SCHULZ, P.A.B. Nanociência de baixo custo em cada e na escola. *Física na Escola*, v. 8 (1), p. 4-9, 2007;
- SILVA, S.L.A; VIANA, M.M.; MOHALLEM, N.D.S. Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio. *Química Nova na Escola*, v. 31 (3), 2009.

➤ Modelo de avaliação:

- Avaliação processual.

❖ **9º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Apresentar o guia de execução do experimento;
- Formar as equipes de trabalho;
- Preparar e organizar o material para o ensaio de germinação das sementes de milho e feijão.

➤ Detalhamento:

A partir deste momento é iniciada a etapa experimental da disciplina, onde o primeiramente o professor deve fornecer aos estudantes o guia experimental, contendo o detalhamento de todo o experimento.

O guia do estudante deverá conter informações detalhadas a respeito do objetivo do experimento, conceitos de germinação, materiais e métodos de ensaio, o procedimento experimental, tabelas e fórmulas para tratamento dos dados e obtenção dos resultados, e referências.

Ao início da aula, o professor deve ler em conjunto com a turma todo o guia do estudante para que sejam explicados de modo detalhado a execução e as etapas do experimento, o tratamento dos dados e a análise dos resultados, a fim de que sejam sanadas as dúvidas a respeito do mesmo.

Uma vez apresentado o guia do experimento, a turma deverá ser dividida em equipes de alunos, que irão trabalhar conjuntamente durante toda a execução do experimento, desde a fase de preparação e seleção das sementes, passando pela germinação das mesmas, até o tratamento dos dados.

Após a divisão das equipes, será realizada a preparação do experimento, que consistirá na seleção das 200 sementes de milho e 200 sementes de feijão de aspectos similares, separação das folhas de papel toalha que formarão as camas de germinação, e construção das estufas caseiras a partir das garrafas PET.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Guia experimental do estudante;
- Sementes de milho e de feijão;
- Rolos de papel toalha;

- Garrafas PET.

➤ Modelo de avaliação:

- Avaliação processual.

❖ **10º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Iniciar os ensaios de germinação.

➤ Conteúdo programático:

- Diluição de soluções;
- Germinação de sementes.

➤ Detalhamento:

Uma vez os estudantes já tendo conhecimento das etapas do experimento, no atual momento serão iniciados os ensaios de germinação.

Inicialmente, o professor disponibilizará as soluções de *Carbon Dots* diluídas nas concentrações de 100, 500 e 1000 µg CND/mL aos grupos de alunos.

Na sequência, as equipes deverão formar e pesar as camas constituídas de três folhas de papel em balança analítica, para calcular a massa média a partir da escolha de três camas, a fim de determinar o volume de solução a ser borrifado durante os testes de germinação. Deve-se lembrar aos alunos que em caso de mudança do rolo de papel, deve-se calcular uma nova média com outras três camas oriundas do novo rolo.

Após a pesagem, cada equipe deverá preparar as 20 camas de milho e 20 camas de feijão distribuindo as sementes conforme a representação exposta na Figura 10, e em seguida segregá-las nos grupos de germinação:

- 5 camas de milho e 5 camas de feijão no grupo 1 (grupo de controle): molhamento apenas com água da torneira;
- 5 camas de milho e 5 camas de feijão no grupo 2: molhamento com solução de 100 µg CNDs/mL;
- 5 camas de milho e 5 camas de feijão no grupo 3: molhamento com solução de 500 µg CNDs/mL;

- 5 camas de milho e 5 camas de feijão no grupo 2: molhamento com solução de 1000 µg CNDs/mL.

As equipes deverão calcular o volume de solução a ser utilizado no molhamento das camas, realizar a medição do respectivo volume com o auxílio de provetas, e por fim molhar todas as camas de cada grupo com suas respectivas soluções.

Por fim, as camas já molhadas devem ser enroladas (conforme apresentado nas Figuras 11 e 12) e distribuídas dentro das garrafas PET, que posteriormente devem ser enroladas com plástico filme para construção das estufas caseiras e adequadamente identificadas (com a espécie da semente, o número do grupo de germinação, e o nome de um representante das equipes).

Ao final da aula, as estufas devem ser dispostas adequadamente em local com incidência de luz solar.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Guia experimental do estudante;
- Sementes de milho e de feijão;
- Rolos de papel toalha;
- Garrafas PET;
- Plástico filme;
- Água da torneira;
- Soluções de *cardon dots*;
- Proveta;
- Balança analítica.

➤ Modelo de avaliação:

- Avaliação processual.

❖ **11° ao 14° Momentos (4 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Analisar a germinação das sementes de milho e feijão;
- Socializar as equipes de alunos.

➤ Conteúdo programático:

- Germinação de sementes.

➤ Detalhamento:

Estes momentos serão reservados para que as equipes analisem o crescimento das sementes ao longo dos testes de germinação, realizando avaliações qualitativas de classificação das sementes quanto ao aspecto de evolução, assim como foi realizado no item 4.2.1 deste trabalho.

Em cada momento constituirá uma análise, em que as equipes irão abrir as suas estufas caseiras, avaliar o desenvolvimento das sementes e quantificar o número das sementes nas seguintes categorias: crescimento normal, crescimento anormal, sem germinação, sem germinação com radícula. As equipes deverão preencher simultaneamente uma tabela de contagem contida no guia experimental do estudante para posterior tratamento dos dados.

Antes dos alunos iniciarem a categorização das sementes, o professor deve apresentar fotos ilustrativas do aspecto esperado das sementes em cada classificação.

E ao longo das análises, o professor deve prestar total apoio às equipes, ajudando-as na classificação das sementes e no preenchimento da tabela de contagem.

Ao término das análises de determinado momento, as equipes deverão novamente medir o volume de soluções já determinado anteriormente, molhar e enrolar as camas, e por fim montar mais uma vez as estufas caseiras. Este processo se repetirá até o 15° momento, em que os alunos irão realizar a última análise da germinação.

Ao longo destes quatro momentos, o professor deverá promover o debate e a discussão entre as equipes a fim de estimular a troca de informações e a análise crítica de resultados. Estes debates deverão abordar os aspectos relevantes na germinação das sementes identificados pelos alunos, tais como:

- Quantidade de sementes germinadas e não germinadas, e evolução das plântulas;
- Presença de sementes germinadas de maneira anômala;
- Diferenças de germinação entre duas análises consecutivas;
- Presença de raízes e folhas;
- Diferenças de germinação entre sementes de mesmo grupo e mesma espécie, porém em camas distintas;
- Diferenças de germinação entre sementes de mesma espécie em grupos distintos;
- Mudança de forma e coloração das sementes;
- Diferenças de germinação entre sementes de mesmo grupo e mesma espécie, porém em equipes de alunos diferentes;
- Entre demais características.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Guia experimental do estudante;
- Sementes de milho e de feijão;
- Camas de germinação;
- Estufas caseiras de germinação;
- Água da torneira;
- Soluções de *Cardon Dots*;
- Proveta.

➤ Modelo de avaliação:

- Preenchimento das tabelas de registros de dados;
- Debates e discussões;
- Avaliação processual.

❖ 15° Momento (2 aulas de 50 minutos cada)

➤ Objetivos:

- Realizar a análise final da germinação das sementes de milho e feijão;
- Medir o comprimento das raízes das plântulas;
- Encerrar os ensaios de germinação.

- Conteúdo programático:
 - Germinação de sementes;
 - Unidades de comprimento.
- Detalhamento:

No último momento dos ensaios de germinação os alunos irão abrir pela última vez as estufas caseiras e realizar a análise final das germinações das sementes, bem como havia sido realizado nos momentos 11 a 14, com o preenchimento do modelo da Tabela 4.

Em seguida, as equipes irão dispor as dez plântulas de cada grupo lado a lado sobre uma folha de papel ofício e realizar a medição do comprimento das raízes com o auxílio de uma régua, conforme exemplificado na Figura 18. Os resultados do comprimento das raízes deverão ser registrados em uma tabela específica que deverá constar no guia experimental do estudante. O professor deverá auxiliar as equipes na realização destas medições.

Ao final do momento, o professor encerrará os testes de germinação e irá promoverá um novo debate entre as equipes, no qual deverá abordar aspectos evidenciados quanto ao comprimento das raízes das plântulas e a respeito da quantidade de sementes não germinadas em cada grupo ao final dos testes de germinação.

É importante salientar que os momentos 10 a 15 deverão ser realizados no laboratório de Química da escola, por se tratar da etapa experimental da disciplina.

- Recursos didáticos e metodologia:
 - Guia experimental do estudante;
 - Plântulas de milho e de feijão;
 - Papel de ofício;
 - Régua.
- Modelo de avaliação:
 - Preenchimento das tabelas de registros de dados;
 - Debates e discussões;
 - Avaliação processual.

❖ **16º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Realizar o tratamento de dados.

➤ Conteúdo programático:

- Conceitos básicos de Estatística: amostra e população, média, variância, desvio padrão, mediana, moda, máximo e mínimo, amplitude, intervalo;
- Representação e análise gráfica.

➤ Detalhamento:

Este momento será reservado para o tratamento e análise dos dados obtidos nos testes de germinação com o objetivo de extrair resultados e interpretações quanto aos experimentos realizados. É importante que o momento seja realizado no laboratório de Informática, com o auxílio de planilhas automáticas já previamente configuradas no *software Microsoft Excel*, nas quais os alunos deverão apenas preencher as tabelas e os resultados serão automaticamente calculados, a fim de facilitar a obtenção dos resultados para posterior interpretação.

O tratamento dos dados deverá constituir cálculos básicos de estatística descritiva, tais como dados de contagem, cálculos de média aritmética, desvio padrão, mediana, moda, valores de máximo e mínimo, amplitude e intervalo, que irão prover aos alunos resultados mínimos para interpretação dos resultados.

Na primeira aula, para os dados obtidos na quantificação das sementes classificadas quanto à germinação, as equipes irão construir gráficos de coluna acumulada (com o auxílio do *software* citado) para avaliar a evolução do número de sementes que germinaram ao longo das leituras realizadas, bem como exibido nas Figuras 16 e 17 do presente trabalho.

Na segunda aula, as equipes deverão calcular resultados de estatística descritiva dos comprimentos das raízes de cada grupo de sementes com o auxílio do computador, através do *Excel*. Os principais resultados que os estudantes deverão extrair serão a média, o desvio padrão, os valores de máximo e mínimo, a amplitude e o intervalo. As equações utilizadas nestes cálculos deverão estar dispostas no guia experimental do estudante.

Em adição deverão ainda construir gráficos do tipo histograma (também com o auxílio do programa citado) a partir dos dados de comprimento de raízes, com o intuito de avaliar a distribuição desta variável em relação ao número de sementes, identificando a simetria ou assimetria (à direita ou à esquerda) dos histogramas. A partir dos histogramas, o professor

deverá ainda explicar aos alunos como é possível extrair valores aproximados de média, mediana e moda do comprimento das raízes.

Após a obtenção dos resultados estatísticos, o professor deverá realizar um debate com a turma abordando questionamentos que estimulem a interpretação de resultados por parte dos estudantes, trazendo para as discussões alguns dos resultados obtidos pelas equipes.

Por fim, o professor demandará das equipes que organizem seus resultados em casa no formato de seminários em *Data Show* (formato *Power Point*), que deverão ser apresentados nas duas aulas seguintes. É importante que seja explicado à turma o tempo disponível para a apresentação de cada equipe e as informações necessárias que deverão constar nos respectivos seminários, tais como, introdução, objetivos, metodologia experimental, resultados e conclusão.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Guia experimental do estudante;
- Calculadora científicas;
- *Software Microsoft Excel* (ferramenta disponível em computador).

➤ Modelo de avaliação:

- Geração e interpretação de resultados e gráficos;
- Debates e discussões;
- Avaliação processual.

❖ **17º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

➤ Objetivos:

- Apresentar os resultados das equipes.

➤ Conteúdo programático:

- Conceitos básicos de Estatística: amostra e população, média, variância, desvio padrão, mediana, moda, máximo e mínimo, amplitude, intervalo;
- Representação e análise gráfica.

➤ Detalhamento:

Cada equipe deverá previamente elaborar seus seminários em casa a partir dos resultados estatísticos coletados no laboratório de informática, que serão apresentados nestes momentos.

Antes das apresentações, o professor deverá explicar à turma que cada equipe formule pelo menos uma pergunta às demais equipes com base nos seminários apresentados. Por exemplo, esteja uma equipe “A” apresentando seu seminário, enquanto as demais equipes da turma deverão formular perguntas sobre a apresentação a esta equipe. Este método visa buscar a atenção de todos os estudantes aos seminários apresentados e aos conteúdos já tratados em sala.

Os seminários deverão ser apresentados por todos os integrantes de cada equipe. Ao final de cada apresentação, deverá ser reservado um tempo para as perguntas e respostas. O professor deverá iniciar realizando os seus questionamentos à equipe apresentadora e em seguida passar a palavra às demais equipes ouvintes, para que as mesmas façam suas respectivas perguntas.

Uma das conclusões que deverão ser levantadas pelas equipes é a seleção do melhor grupo de germinação (ou melhor solução de molhamento) com base nos resultados obtidos de contagem de sementes germinadas e comprimento das raízes das plântulas.

Tanto as apresentações, quanto os debates compostos por perguntas e respostas ao final de cada uma, têm por objetivo que o professor avalie o grau de conhecimento adquirido pelos estudantes a partir dos experimentos realizados e da interpretação dos resultados.

É válido salientar que a quantidade de momentos utilizados para a apresentação dos seminários irá depender do número de alunos matriculados na disciplina e do número de equipes. Deste modo, no caso de apenas um único momento não ser suficiente para a apresentação de todos os seminários, devem ser reservados mais alguns momentos para que todos os demais seminários sejam realizados.

➤ Recursos didáticos e metodologia:

- Aula expositiva dialogada em *Data Show*.

- Modelo de avaliação:
 - Seminários;
 - Debates e discussões;
 - Avaliação processual.

❖ **18º Momento (2 aulas de 50 minutos cada)**

- Objetivos:
 - Aplicar o questionário final avaliativo;
 - Realizar o encerramento da pesquisa e da disciplina.
- Conteúdo programático:
 - Conceitos de Nanociência e Nanotecnologia;
 - Conceitos de Química (Química Analítica e Físico-Química);
 - Conceitos de Botânica;
 - Conceitos de Matemática e Estatística.

➤ Detalhamento:

O último momento da disciplina consistirá na avaliação final, formada por um questionário contendo questões abertas e/ou fechadas, abordando os conceitos lecionados em sala de aula e em laboratório, tais como Nanociência e Nanotecnologia, Química Analítica, Físico-Química, Botânica, Matemática e Estatística. Um exemplo de questionário final avaliativo está apresentado no Apêndice C.

Os assuntos contemplados no questionário deverão ser os mesmos anteriormente abordados nas aulas da disciplina, podendo ser formado por questões teóricas e/ou de cálculo.

O questionário avaliativo poderá ainda trazer perguntas relacionadas aos experimentos realizados, trazendo, por exemplo, resultados obtidos por algumas equipes e solicitando a interpretação dos mesmos, ou ainda perguntas relativas ao procedimento experimental, à síntese de *Carbon Dots* e ao preparo das soluções de suspensão de *CDs*.

Bem como os seminários, o questionário avaliativo também tem por objetivo avaliar o grau de conhecimento adquirido pelos estudantes a partir dos temas abordados em sala de aula e dos experimentos realizados em laboratório.

Ao final da aula, o professor deverá realizar o encerramento da pesquisa e da disciplina, solicitando aos estudantes um *feedback* a respeito da matéria, coletando suas opiniões em formato de críticas, elogios ou questionamento, com o intuito de buscar melhorar a abordagem da disciplina em turmas futuras.

➤ Modelo de avaliação:

- Questionário final avaliativo.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivo principal elaborar uma disciplina de Nanociências e Nanotecnologia para o Ensino Médio através da utilização de uma Sequência Didática como ferramenta de experimentação investigativa.

A partir dos experimentos de germinação de sementes de milho e feijão realizados em laboratório foi constatada a viabilidade da aplicação dos ensaios de germinação junto aos alunos do Ensino Médio, uma vez que foi evidenciada a evolução das sementes e o desenvolvimento das plântulas com o uso de soluções de *Carbon Dots* como agente molhante. Estes ensaios de germinação consistiam na análise quantitativa do número de sementes germinadas e no comprimento das raízes das plântulas.

Logicamente que apenas estes resultados não eram suficientes para definir o melhor meio de germinação, uma vez que seria ainda necessária a avaliação da massa das plântulas para estudo do potencial de formação de matéria durante a germinação, a avaliação da capacidade de absorção de solução, e a avaliação de economicidade. Estas análises podem ser escopo de trabalhos futuros.

Os testes foram interrompidos antes do previsto devido ao processo de necrose das plântulas e a falta de espaço para crescimento nas camas. Deste modo, para outros trabalhos futuros sugere-se que as camas formadas sejam maiores para favorecer o desenvolvimento das plântulas.

A etapa seguinte foi relativa à elaboração da Sequência Didática, abordando o ensino da Nanociência e Nanotecnologia aplicada ao Ensino Médio. Esta sequência consistiu no detalhamento de modo organizado das aulas da disciplina, que iam desde o eixo teórico, a partir da explanação de conceitos de Química, Biologia, Matemática e Nanociência, passando pelo

eixo prático, onde era proposta a realização do experimento de germinação de sementes utilizando soluções de *Carbon Dots* (bem como o realizado anteriormente em laboratório), e finalizando no eixo avaliativo, no qual seria trabalhado o tratamento dados para a extração e a interpretação dos resultados experimentais, e a realização de outras atividades, como seminários e questionário avaliativo.

A sequência proposta objetivava abordar de modo mais didático e interativo os conceitos de Nanociência e Nanotecnologia, aplicados da maneira experimental, uma vez que ainda se tratam de temas abstratos para os estudantes imersos no modelo tradicional de ensino. O modelo proposto buscava um maior dinamismo nas aulas, a fim de favorecer a absorção e a disseminação do conhecimento dentro do processo de ensino-aprendizagem.

Por fim, após as explicações anteriormente mencionadas neste trabalho, resta evidente que a aplicação de Sequências Didáticas no ensino de Química é uma estratégia essencial e eficaz para superar as dificuldades encontradas pelos estudantes no modelo tradicional de ensino, que é predominantemente expositivo e abstrato.

A complexidade dos conceitos químicos muitas vezes se perde em um ambiente puramente teórico, deixando os alunos desmotivados e confusos, mas, em sentido oposto, as SDs oferecem uma abordagem dinâmica e interativa de modo que não apenas respeitam o ritmo individual de aprendizado dos alunos, mas também os envolvem ativamente em atividades contextualizadas, relacionando a teoria à prática e ao mundo real não só tornando o conteúdo mais acessível, mas também estimulando a curiosidade, a investigação e a participação ativa dos estudantes em seu próprio processo de aprendizagem.

Além disso, as SDs proporcionam uma estrutura clara e ordenada para o desenvolvimento das aulas, permitindo que os professores ajam como mediadores, guiando os alunos de maneira eficaz através do conteúdo complexo da Química. Ao adaptar as atividades de acordo com as necessidades e interesses dos estudantes, as Sequências Didáticas criam um ambiente de aprendizado mais envolvente e significativo. Assim, ao reconhecermos a importância das SDs como uma estratégia didática poderosa, podemos transformar não apenas a forma como ensinamos Química, mas também como os estudantes aprendem essa matéria tão estigmatizada.

Introduzindo uma abordagem mais interativa e contextualizada, as Sequências Didáticas não apenas superam as barreiras tradicionais de ensino, mas também cultivam uma

paixão duradoura pelo aprendizado, preparando os alunos para enfrentar os desafios complexos e fascinantes do mundo da Química.

REFERÊNCIAS

AL-JAMAL, A.N. **Nanotechnology: Fundamentals and Applications**. 2020. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/357062360_Nanotechnology_Fundamentals_and_Applications>. Acesso em: 16 jul. 2023;

ALVES, J.V.; LIMA, M.C.A. Uma abordagem sobre nanociência e nanotecnologia na Educação Básica. **Ensino & Multidisciplinariedade**, v. 4 (2), p. 33-52, 2018;

ARAÚJO, M.S.T.; ABIB, M.L.V.S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25 (2), p. 176-194, 2003;

AZEVEDO, Maria Cristina Stella. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A.M.P. **Ensino de Ciências: Unindo a pesquisa e a prática**. Editora Thomson Learning, 1ª ed., São Paulo, 2004;

BAKER, S.N.; BAKER, G.A. Luminescent Carbon Nanodots: Emergent Nanolights. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 49 (38), p. 6726-6744, 2009;

BASTOS, C. C. **Metodologias Ativas**. Educação & Medicina, 2006. Disponível em: <<http://educacaoemedicina.blogspot.com.br/2006/02/metodologias-ativas.html>>. Acesso em: 21 set. 2023;

BATISTA, R.S.; SILVA, L.M.; SOUZA, R.R.M.; PRADO, H.J.P.; SILVA, C.A.; RÔÇAS, G.; OLIVEIRA, A.L.; HELAYËL-NETO, J.A. Nanociência e nanotecnologia como temáticas para discussão de ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. **Ciência & Educação**, v. 16 (2), p. 479-490, 2010;

BAYDA, S.; ADEEL, M.; TUCCINARDI, T.; CORDANI, M.; RIZZOLIO, F. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. **Molecules**, v. 25 (1), p. 112-127, 2020;

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Ministério da Educação, 2018;

BRASIL. **PCN+ Ensino Médio - Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Ministério da Educação, 2000;

BRASIL. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio - Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Ministério da Educação, 2006;

CALLISTER JR., W.D.; RETHWISCH, D.G. **Ciência e Engenharia de Materiais - Uma Introdução**. Editora LTC, 8ª ed., Rio de Janeiro, 2012;

CARVALHO, A.B.M. **Introdução à Nanociência e Nanotecnologia para o Ensino Médio**. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008;

CARVALHO, A. M. P. de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 765–794, 2018. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4852>. Acesso em: 05 mar. 2024.

DASGUPTA, N.; RANJAN, S.; RAMALINGAM, C. Applications of nanotechnology in agriculture and water quality management. **Environmental Chemistry Letters**, v. 15, p. 591-605, 2017;

DEROSA, M.C.; MONREAL, C.; SCHNITZER, M.; WALSH, R.; SULTAN, Y. Nanotechnology in fertilizers. **Nature Nanotechnology**, v. 5 (91), 2010;

DILLENBOURG, P. Introduction: What Do You Mean By Collaborative Learning? In: _____ . **Collaborative Learning: Cognitive and Computational Approaches**. Editora Emerald Publishing Limited, 2ª ed., Amsterdam, 1999;

DITTA, A. How helpful is nanotechnology in agriculture? **Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology**, v. 3, p. 1-10, 2012;

DOLZ J.; NOVERRAZ, M.; SCHNEUWLY, B. Sequências didáticas para o oral e escrita: apresentação de um procedimento. In: SCHNEUWLY, B.; DOLZ J. **Gêneros orais e escritos na escola**. Editora Mercado de Letras, 1ª ed., p. 95-128, Campinas, 2004;

DOLZ, J.; SCHNEUWLY, B. Gêneros e progressão em expressão oral e escrita. Elementos para reflexões sobre uma experiência suíça (francófona). In: _____. **Gêneros Orais e escritos na escola**. Editora Mercado de Letras, 1ª ed., Campinas, 2004;

FERREIRA, L.H.; HARTWIG, D.R.; OLIVEIRA, R.C. Ensino experimental de química: uma abordagem contextualizada. **Química Nova na Escola**, v. 32 (2), p. 101-106, 2010;

FRAGELLI, R.R. Trezentos: Aprendizagem Ativa e Colaborativa como uma alternativa ao Problema da Ansiedade em provas. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde do ISSN**, v. 6, p. 860-72, 2015;

GNACH, A.; LIPINSKI, T.; BEDNARKIEWICZ, A.; RYBKA, J.; CAPOBIANCO, J.A. Upconverting nanoparticles: assessing the toxicity. **Chemical Society Reviews**, v. 44 (6), 2014;

GOGOS, A.; KNAUER, K.; BUCHELI, T.D. Nanomaterials in Plant Protection and Fertilization: Current State, Foreseen Applications, and Research Priorities. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60 (39), p. 9781-9792, 2012;

GONÇALVES, A.V.; FERRAZ, M.R.R. Sequências Didáticas como instrumento potencial da formação docente reflexiva. **DELTA: Documentação de Estudos em Linguística Teórica e Aplicada**, v. 32 (1), p. 119–141. 2016;

HULLA, J.E.; SAHU, S.C.; HAYES, A.W. Nanotechnology: History and future. **Human and Experimental Toxicology**, v. 34 (12), p. 1318-1321, 2015;

Iavicoli, I.; LESO, V.; BEEZHOLD, D.H.; SHVEDOVA, A.A. Nanotechnology in agriculture: Opportunities, toxicological implications, and occupational risks. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 329, p. 96-111, 2017;

JIANG, K.; WANG, Y.; GAO, X.; CAI, C.; LIN, H. Facile, Quick, and Gram-Scale Synthesis of Ultralong Room Temperature Phosphorescent Carbon Dots by Microwave Irradiation. **Angewandte Chemie International Edition**, v. 57, p. 1-6, 2018;

JORNADA EDU. **Teoria de Vygotsky: como os alunos aprendem?** 2019. Disponível em: <<https://jornadaedu.com.br/praticas-pedagogicas/teoria-de->

_____. **Active learning strategies in higher education: teaching for leadership, innovation, and creativity.** Editora Emerald Publishing, 1ª ed., p. 75-105, Bingley, 2018;

MOREIRA, A.E.R. **O sol, a terra e os seres vivos: uma proposta de sequência didática para o ensino de Ciências na Educação de Jovens e Adultos.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015;

NOUAILHAT, A. **An Introduction to Nanoscience and Nanotechnology.** Editora Wiley-Iste, 1ª ed., Hoboken, 2008;

OLIVEIRA, J.R.S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12 (1), p. 139-153, 2010;

OLIVEIRA, R.C. **Química e cidadania: uma abordagem a partir do desenvolvimento de atividades experimentais investigativas.** Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009;

PRSYBYCIEM, M.; SILVEIRA, R.M.C.F.; SAUER, E. Experimentação investigativa no ensino de química em um enfoque CTS a partir de um tema sociocientífico no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 17 (3), p. 602-625, 2018;

QU, X.; ALVAREZ, P.J.J.; LI, Q. Application of nanotechnology in water and wastewater treatment. **Water Research**, v. 47 (12), p. 3931-3946, 2013;

ROCO, M.C. **Nanotechnology Research Directions: IWGN Workshop Report - Vision for Nanotechnology R&D in the Next Decade.** National Science and Technology Council, Washington, D.C., 1999;

ROCO, M.C. The long view of nanotechnology development: the National Nanotechnology Initiative at 10 years. **Journal of Nanoparticle Research**, v. 13, p. 427-445, 2011;

SCHULZ, P.A.B. Nanociência de baixo custo em cada e na escola. **Física na Escola**, v. 8 (1), p. 4-9, 2007;

SILVA, L.A.; SILVA, F.C.V. **A contextualização do conteúdo de eletroquímica: um olhar para o livro didático e para concepções de professores de química.** In: XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química, Florianópolis, 2016;

SILVA, S.B. **Proposta de uma sequência didática para o ensino de eletroquímica: biossensor como ferramenta de intervenção didática no processo de ensino-aprendizagem.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2020;

SILVA, S.L.A.; VIANA, M.M.; MOHALLEM, N.D.S. Afinal, o que é Nanociência e Nanotecnologia? Uma Abordagem para o Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, v. 31 (3), 2009;

SZOLLOSI, R.; MOLNÁR, Á.; KONDAK, S.; KOLBERT, Z. Dual Effect of Nanomaterials on Germination and Seedling Growth: Stimulation vs. Phytotoxicity. **Plants**, v. 9 (12), p. 1745-1776, 2020;

TOMKELSKI, M.L.; SCREMIN, G.; FAGAN, S.B. Ensino de Nanociência e Nanotecnologia: perspectivas manifestadas por professores da educação básica e superior. **Ciência & Educação**, v. 25 (3), p. 665-683, 2019;

TORRES, P.L.; IRALA, E.A.F. Aprendizagem colaborativa: teoria e prática. In: ANDREOLI, C.V.; TORRES, P.L (org.). **Complexidade: redes e conexões na produção do conhecimento [Coleção Agrinho]**. Curitiba: Editora Kairós, 1ª ed., p. 61-93, Curitiba, 2014;

TRANQUILINO, I.G.; SILVA, C.A.; MALTA, E.O. **Sequência didática no ensino de química: relato de experiência da residência pedagógica**. In: VII ENID & V ENFOPROF, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2019;

YANG, S.T.; WANG, X.; LU, F.; LUO, P.G.; CAO, L.; MEZIANI, M.J.; LIU, J.H.; LIU, Y.; CHEN, M.; HUANG, Y.; SUN, Y.P. Carbon Dots as Nontoxic and High-Performance Fluorescence Imaging Agents. **The Journal of Physical Chemistry C, Nanomater Interfaces**, v. 113 (42), p. 18110–18114, 2009;

ZABALA, A. **A Prática Educativa: Como Ensinar**. Editora Artmed, 1ª ed., Porto Alegre, 1998;

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO PRÉVIO

1. Você já deve ter assistido aulas sobre unidades de medidas. Qual a dimensão dos objetos medidos em nanômetros?

- (a) 10^{-3} m (c) 10^{-9} m (e) 10^{-15} m
(b) 10^{-6} m (d) 10^{-12} m

2. Você já leu, assistiu ou teve a curiosidade de pesquisar o que significa a palavra “Nanotecnologia”?

- () Não () Sim () Não tenho certeza

3. Se você respondeu “sim” na pergunta anterior, onde você teve acesso a essa informação?

- (a) Livros ou apostilas (d) Aula ou palestra
(b) Sites de Internet (e) Trabalho escola
(c) Redes sociais

4. Com suas palavras, qual o significado da Palavra Nanotecnologia?

5. Quais áreas você acredita que empregam os avanços Nanotecnológicos?

- (a) Saúde, diagnósticos e produção de alimentos
(b) Eletroeletrônicos e Ciência da Computação
(c) Engenharia de materiais, Química, Física e Biologia
(d) Todas as alternativas anteriores
(e) Nenhuma das alternativas anteriores

6. Durante sua vida escolar você realizou algum experimento de germinação de sementes como, por exemplo, milho ou feijão?

() Não

() Sim

() Não lembro

7. Que fatores você acredita serem importantes para propiciar a germinação de grãos?

- (a) A incidência de luz
- (b) A presença de umidade
- (c) O ambiente controlado
- (d) Todas as alternativas anteriores
- (e) Nenhuma das alternativas anteriores

8. O que você acha que é um cientista?

9. Como você acha que é o dia a dia de um cientista?

APÊNDICE B - QUESTIONÁRIO FINAL AVALIATIVO

1. Com suas palavras, o que são Nanomateriais? Cite algumas aplicações do uso destes materiais.

2. Explique como ocorre o processo de absorção de nanopartículas de fertilizantes no processo de germinação de plantas.

3. Qual o volume da alíquota necessária a se usar de uma solução de *Carbon Dots* de 0,05 g CND/mL para se preparar uma solução de 100 mL com concentração 1000 µg CND/mL?

- | | |
|----------|-----------|
| (a) 1 mL | (d) 10 mL |
| (b) 2 mL | (e) 20 mL |
| (c) 5 mL | |

4. Qual o pH de uma solução de KOH 0,01 mol/L?

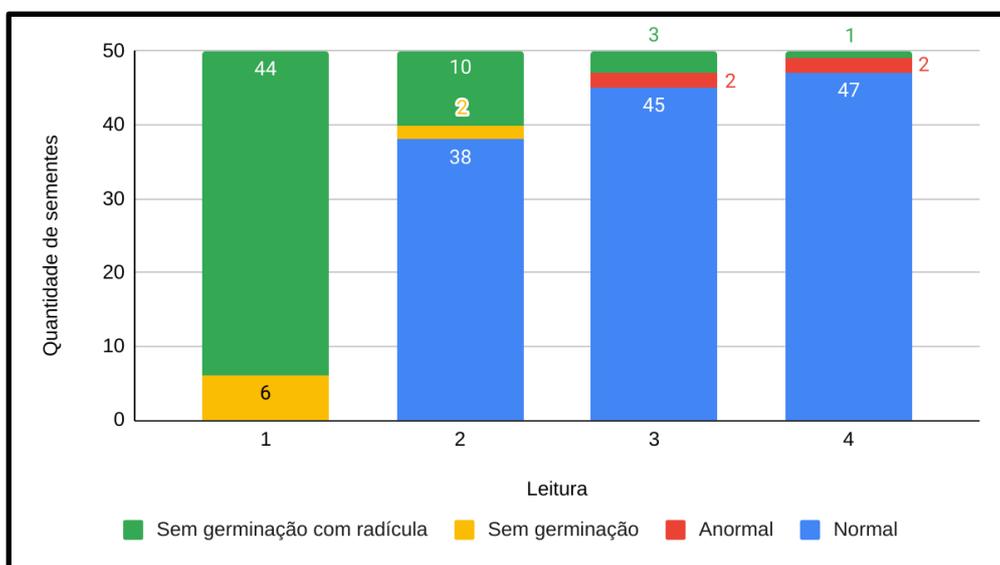
- | | |
|---------|----------|
| (a) 2,0 | (d) 10,0 |
| (b) 4,0 | (e) 12,0 |
| (c) 7,0 | |

5. Ao final de um teste de germinação com 50 sementes de milho, apenas 35 sementes germinaram. Qual o percentual de sementes não germinadas?

- (a) 10,0 % (d) 50,0 %
 (b) 15,0 % (e) 70,0 %
 (c) 30,0 %

6. Em teste de germinação com 50 sementes de milho, no qual foram realizadas quatro leituras, foi obtido o gráfico de colunas abaixo com a contagem de sementes classificadas nas categorias:

- Germinadas de modo normal;
- Germinadas de modo anormal;
- Não germinadas;
- Não germinadas, porém com radícula.



O teste foi finalizado na 4ª leitura. Desta maneira, a partir do gráfico obtido, assinale a alternativa correta:

- (a) Todas as sementes germinaram ao final do teste.
 (b) Na primeira leitura realizada, 12 % das sementes germinaram normalmente.
 (c) Entre a segunda e a terceira leituras, houve um aumento de 2 sementes germinadas.
 (d) Ao final do teste, foram obtidas 49 sementes germinadas.
 (e) Na segunda leitura, apenas 4 % das sementes não germinaram.

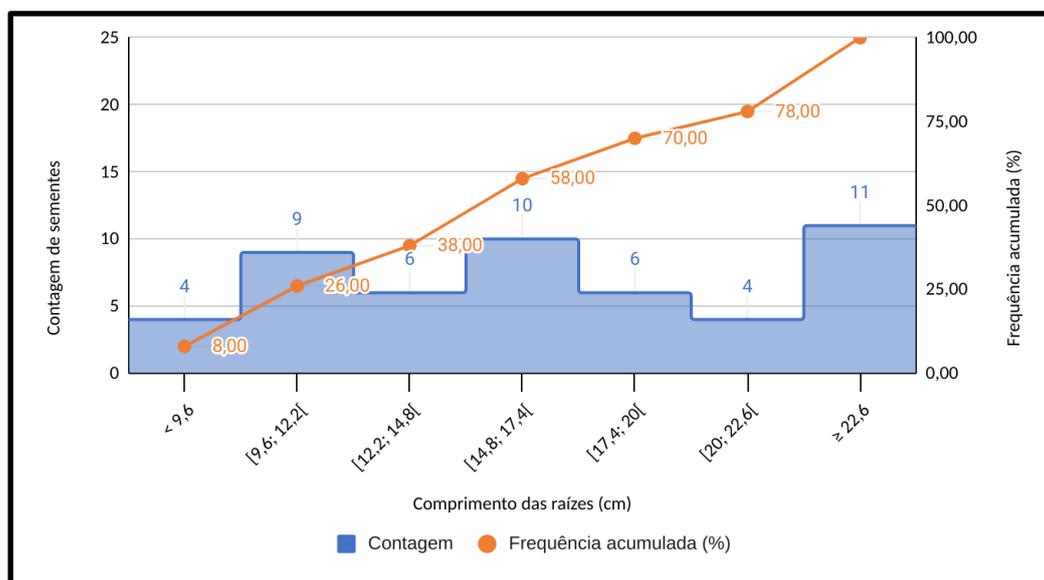
7. Em um teste de germinação com 50 sementes de feijão, apenas 20 sementes germinaram, a partir das quais foram realizadas as medidas do comprimento das raízes em centímetros, cujos resultados seguem abaixo:

12,5 cm	11,0 cm	9,5 cm	11,0 cm
14,0 cm	11,5 cm	12,5 cm	14,5 cm
10,0 cm	13,0 cm	11,0 cm	15,0 cm
10,5 cm	14,5 cm	13,0 cm	12,5 cm
12,0 cm	10,5 cm	9,5 cm	13,5 cm

Com base na medida das raízes das sementes germinadas, assinale a alternativa correta:

- (a) A raiz mais longa tinha 14,5 cm.
- (b) A média do comprimento das raízes foi de 13,0 cm.
- (c) A raiz mais curta tinha 9,5 cm.
- (d) A amplitude do conjunto de dados é de 5,0 cm.
- (e) A mediana do conjunto de dados é de 12,0 cm.

8. A partir de um teste de germinação com 50 sementes de feijão foi construído o histograma abaixo com a distribuição do comprimento das raízes:



Apenas observando o gráfico obtido no teste, assinale a alternativa correta:

- (a) 40 % das raízes tiveram comprimento no intervalo $[14,8; 22,6[$ cm.
- (b) É possível afirmar que todas as sementes germinaram.
- (c) A maioria das raízes teve comprimento no intervalo $[14,8; 17,4[$ cm.
- (d) Pode-se afirmar que o maior comprimento de raiz obtido foi de 22,6 cm.
- (e) Pode-se afirmar que 38 % das raízes tiveram comprimento menor que 12,2 cm.