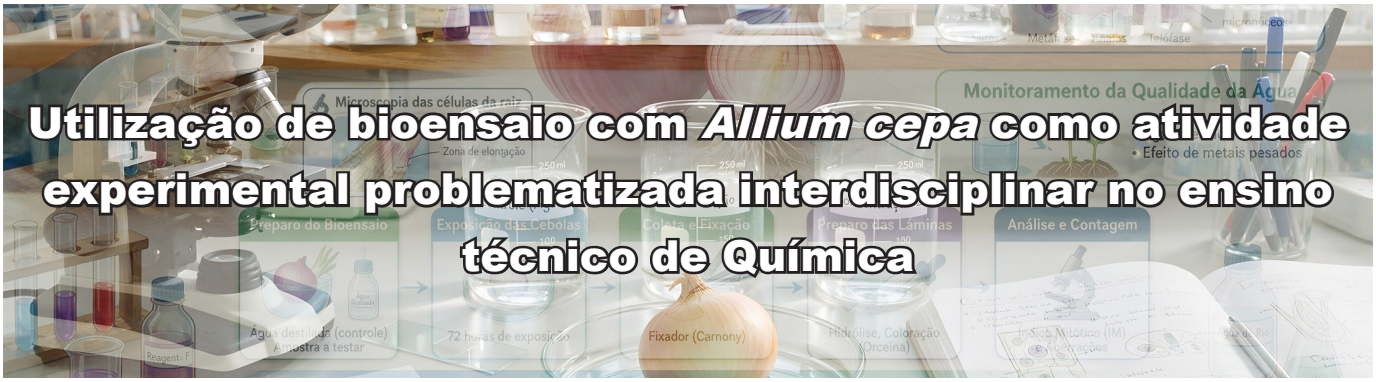
Química Nova na Escola, v. 48, n. 4, p. 420-428, 2026 – http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160516



Utilização de bioensaio com *Allium cepa* como atividade experimental problematizada interdisciplinar no ensino técnico de Química

Douglas C. da Silva e Márjore Antunes

Este trabalho relata e analisa a elaboração e aplicação de uma Atividade Experimental Problematizada (AEP) interdisciplinar desenvolvida em um curso Técnico em Química integrado ao Ensino Médio. A proposta, baseada em bioensaios com cebolas (*Allium cepa*), envolveu as disciplinas de Química Inorgânica, Química Analítica I e Metrologia Química, articulando a resolução de um problema, a experimentação, a análise estatística dos dados e a pesquisa bibliográfica. A atividade foi estruturada como uma sequência didática e aplicada a turmas do segundo ano do curso. A análise das produções escritas e das apresentações orais dos estudantes evidenciou a mobilização de conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, bem como elevados graus de liberdade intelectual discente, caracterizando a proposta como investigativa. Os resultados indicam que a AEP favorece a interdisciplinaridade, a autonomia dos estudantes e o desenvolvimento do raciocínio científico na formação de técnicos em Química.

▶ atividade experimental problematizada, interdisciplinaridade, graus de liberdade intelectual discente ◀

Recebido em 13/01/2026; aceito em 06/07/2026

Introdução

Um dos desafios da prática docente é a articulação de conceitos de diferentes disciplinas para a resolução de problemas reais. Esse desafio se dá por diversos fatores, como especificidade dos conteúdos, carga horária limitada e pelo fato de os estudantes não terem tido contato com temas de outras áreas que muitas vezes são necessários.

A resolução de problemas pode favorecer os processos de ensino e de aprendizagem de ciências, desde que o problema seja contextualizado, motivador, promova uma reflexão crítica e exija uma investigação (Ribeiro *et al*., 2020). Essa abordagem é relevante em qualquer nível de ensino, mas adquire uma importância ainda maior quando se trata do Ensino Técnico integrado ao Ensino Médio, uma vez que os egressos deverão mobilizar conceitos e habilidades característicos de diferentes disciplinas para resolver problemas do mundo do trabalho.

Muitos dos desafios da articulação de conceitos podem ser superados por meio da prática interdisciplinar, que "pressupõe a inter-relação dos conceitos de várias disciplinas de maneira a aprofundar o conhecimento de determinado objeto de estudo" (Mozena e Ostermann, 2014, p. 187). Essa prática exige planejamento e organização dos professores das diferentes disciplinas envolvidas.

Uma das formas de aliar a interdisciplinaridade à resolução de problemas é por meio da Atividade Experimental Problematizada (AEP) que, de acordo com Silva *et al*. (2017) e Ferreira *et al.* (2022), utiliza da experimentação para articular um problema, procedimentos experimentais e propostas de soluções. Esse processo envolve a elaboração de hipóteses, mobilização de conceitos e realização de pesquisas que balizarão a elaboração de procedimentos experimentais e a realização do experimento propriamente dito, em uma estrutura que envolve movimentos de planejamento e execução.

A AEP é um tipo de proposta investigativa, uma vez que é pautada na elaboração de um problema que visa que os estudantes partam de ações manipulativas em direção às ações intelectuais, tais como elaboração e teste de hipóteses e raciocínio científico; e que os levem a construir explicações baseadas em relações causais, conceitos e leis. Além disso, destaca-se que a atividade objetiva, também, conferir graus de liberdade intelectual aos discentes. Tais características são as diretrizes principais de uma atividade investigativa (Carvalho, 2018) e a AEP, como tal, tem potencial para favorecer o desenvolvimento de habilidades relacionadas à

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

organização e relações entre variáveis, trabalho em equipe e comunicação científica escrita. Essas são habilidades fundamentais para um técnico em Química.

Os conteúdos abordados durante uma AEP são diversos e não só em relação à multiplicidade de conceitos, mas também no que diz respeito a procedimentos e atitudes. De acordo com Zabala (2014), o termo conteúdo pode ser entendido como tudo aquilo que é aprendido para alcançar um determinado objetivo, envolvendo o desenvolvimento de capacidades motoras, afetivas e de trabalho em equipe. Esses conteúdos são categorizados pelo autor como conceituais, procedimentais e atitudinais. Os primeiros estão relacionados à aprendizagem de fatos, conceitos e princípios; os segundos envolvem o domínio de procedimentos, técnicas e métodos; enquanto os últimos associam-se ao desenvolvimento de valores, atitudes e respeito às normas.

Diante do exposto, este trabalho relata e analisa a experiência da elaboração e aplicação de uma sequência didática interdisciplinar baseada na AEP envolvendo, diretamente, as disciplinas de Química Inorgânica, Química Analítica I e Metrologia Química de um curso técnico em Química integrado ao Ensino Médio de uma instituição pública de ensino. A atividade consistiu na realização de bioensaios nos quais foram testadas soluções aquosas contendo íons cobre (II) e zinco em diferentes concentrações de forma a avaliar a influência de diferentes íons metálicos no crescimento das raízes da cebola (*Allium cepa*).

A justificativa para a escolha destes cátions se dá porque estes elementos, juntamente com boro, cloro, ferro, manganês, molibdênio e níquel, são considerados micronutrientes para as plantas, ou seja, são requeridos em baixas concentrações para o seu adequado crescimento e desenvolvimento. Em relação ao cobre, ele está presente em proteínas que atuam na fotossíntese, respiração, desintoxicação de radicais superóxido e lignificação. Já o zinco atua na ativação de enzimas relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas e auxinas, bem como na integridade das membranas celulares (Kirkby e Römheld, 2007).

Metodologia

A sequência de ensino foi elaborada conforme as diretrizes de organização de uma AEP propostas no trabalho de Ferreira *et al* (2022). Esses autores sugerem que a etapa de planejamento da atividade envolva: (i) a elaboração do problema, que privilegie processos e não necessariamente uma única solução possível; (ii) a definição de objetivos experimentais, a partir dos quais será definido o experimento a ser realizado; e (iii) a definição das diretrizes metodológicas, que se assemelhem à estruturação de um roteiro experimental, mas que não seja prescritivo e oriente não só a realização do experimento, como também a metodologia de tratamento dos resultados.

A proposta foi construída colaborativamente entre os professores das disciplinas de Química Inorgânica, Química Analítica I e Metrologia Química, do referido curso técnico em Química, tendo como inspiração o bioensaio desenvolvido por Palácio *et al.* (2013). Na AEP desenvolvida neste trabalho, o problema norteador foi: soluções de íons cobre (Cu^{2+}) ou zinco (Zn^{2+}) nas concentrações de 0,05 e 0,5 mg/L influenciam no crescimento de raízes da cebola (*Allium cepa*)? A AEP interdisciplinar desenvolvida foi aplicada para duas turmas de estudantes do segundo ano.

Por meio dessa proposta, o objetivo era que os estudantes mobilizassem e articulassem diferentes conteúdos das disciplinas envolvidas para resolver o problema. Para isso, os estudantes foram divididos em grupos de até cinco membros. Metade dos grupos ficou responsável por testar a influência do íon cobre (II) e os demais a influência do íon zinco no crescimento das raízes da cebola.

As atividades foram executadas de acordo com as sugestões metodológicas da AEP propostas por Ferreira *et al* (2022), realizando: (i) uma discussão prévia acerca dos bioensaios e a apresentação do problema; (ii) divisão dos grupos e elaboração das propostas de realização do experimento para resolução do problema por parte dos estudantes; (iii) comparação das propostas com o procedimento a ser realizado para a realização dos bioensaios; (iv) realização dos experimentos — preparo de soluções e montagem do bioensaio; (v) realização dos testes estatísticos; (vi) pesquisa bibliográfica nas referências indicadas e (vii) elaboração de um relatório e apresentação de um seminário para os professores envolvidos. A sequência de ações planejadas na atividade, assim como a correspondência com as fases do desenvolvimento da AEP propostas por Ferreira *et al* (2022), estão listadas no Quadro 1.

É importante destacar que a fase de retorno ao grupo de trabalho, na qual os estudantes organizam os resultados experimentais para elaborar a resposta para o problema proposto, foi realizada pelos grupos de forma extraclasse. Para essa etapa, os grupos deveriam fazer os testes estatísticos, que foram trabalhados nas aulas de Metrologia Química, e avaliar se as concentrações dos íons metálicos afetaram de forma significativa o crescimento das raízes das cebolas para um nível de 95 % de confiança.

O teste t de Student foi utilizado para esse fim. Como no bioensaio há amostras independentes (diferentes cebolas em diferentes soluções aquosas), a aplicação dos testes estatísticos seguiu uma ordem pré-definida, que se inicia pela comparação das variâncias, realizada pelo teste de Fisher (teste F) (Figura 1). Os cálculos realizados levaram em consideração que o número de raízes (N) para todos os ensaios foi igual a 9 (3 raízes de cada uma das 3 cebolas).

Os resultados deveriam ser interpretados com base na influência dos íons metálicos na fisiologia celular tratados em Lippard e Berg (1994) e em Taiz e Zeiger (2013), que discutem a Química Bioinorgânica dos íons cobre e zinco. Esses materiais foram disponibilizados pelos professores para os grupos. Além disso, foi indicado que fossem feitas pesquisas em outros materiais, de livre escolha. Os resultados encontrados e as justificativas para eles baseadas na Química Bioinorgânica foram apresentados na forma de um relatório

Quadro 1: Organização das tarefas que compõem a AEP e a distribuição entre os componentes curriculares

Encontro (Duração)	Tópico	Componente Curricular	Fase de Execução da AEP
1 (50 min)	Apresentação da proposta e organização dos grupos.	Química Inorgânica	Discussão prévia, organização e desenvolvimento
2 (50 min)	Preparo das soluções aquosas de íons Cu^{2+} e Zn^{2+} nas concentrações de 0,05 mg/L e 0,5 mg/L para uso nos bioensaios; as soluções foram preparadas pela diluição de soluções-estoque de sulfato de cobre (II) pentaidratado e de sulfato de zinco heptaidratado, usando água da torneira como solvente.	Química Analítica I	Organização e desenvolvimento
3 (50 min)	Montagem do bioensaio em triplicata, utilizando cebolas de tamanho médio de 4 cm adquiridas no comércio local: a parte radicular das cebolas foi imersa nas soluções; também foi utilizada água da torneira como teste controle; as amostras de cebola permaneceram por sete dias em contato com as soluções aquosas.	Química Inorgânica	Organização e desenvolvimento
4 (50 min)	Realização do registro fotográfico das raízes das cebolas para análise posterior: as cebolas foram posicionadas em cima de um papel milimetrado e um aparelho *smartphone* foi posicionado em um tripé para a obtenção dos registros.	Metrologia Química	Organização e desenvolvimento
5 (50 min)	Análise das imagens por meio do programa gratuito e de domínio público *ImageJ* (https://imagej.net/ij/): após a calibração do aplicativo a partir da escala presente no papel milimetrado, os estudantes realizaram a medição do comprimento das três maiores raízes de cada cebola e anotaram os dados para a realização posterior dos cálculos de média aritmética, desvio-padrão e dos testes estatísticos de Fisher (para análise de variância) e t de Student (para comparação das médias de dados independentes) para a análise dos resultados (Cienfuegos, 2005).	Metrologia Química	Organização e desenvolvimento
6 (1 h 40 min)	Entrega e apresentação dos relatórios.	Química Inorgânica	Socialização

escrito e por meio de uma apresentação de seminário. Ambos os materiais foram avaliados pelos professores das disciplinas envolvidas de forma colaborativa.

Resultados e discussão

Durante o planejamento dessa AEP interdisciplinar pelos professores, esperava-se que os estudantes mobilizassem e articulassem conteúdos dos diferentes componentes curriculares para resolver o problema norteador. Esses conteúdos estão listados no Quadro 2 e foram trabalhados em aulas anteriores e/ou concomitantes à realização dos bioensaios.

Por meio da análise dos relatórios e da apresentação oral dos grupos, pôde-se verificar que todos eles realizaram satisfatoriamente o emprego desses conteúdos conceituais e procedimentais, assim como conseguiram analisar seus resultados com base nos testes estatísticos realizados. Para exemplificação, os resultados obtidos por um dos grupos de estudantes para o comprimento das raízes da cebola encontram-se na Tabela 1.

Com base nas variâncias, foi possível realizar o teste F entre as amostras, como mostrado na Tabela 2. Como foram avaliadas 9 raízes para cada tipo de amostra (N = 9), há 8 graus de liberdade para cada grupo de resultados.

Como para as amostras controle e cobre (II) 0,05 ppm não há diferença significativa entre as variâncias, o número de graus de liberdade para o teste t dessas amostras é igual a 16, já que $N_1 = N_2 = 9$. Já para os demais grupos testados, o número de graus de liberdade precisou ser calculado conforme apresentado na Figura 1 e obteve-se o valor de 9 graus de liberdade para ambos os grupos de amostras. Posteriormente, realizou-se o teste t de Student, empregando-se as equações matemáticas apresentadas na Figura 1, e obtiveram-se os resultados apresentados na Tabela 3.

A partir desses resultados, uma das estudantes relatou que: *"os testes realizados fizeram com que nós tivéssemos uma "comprovação matemática" do que estávamos observando"*. Além disso, a aprendizagem do grupo pode ser verificada pelo excerto do relatório do qual foram extraídos os resultados apresentados nas Tabelas 1 a 3:

> [...] *O valor para o F tabelado foi definido a partir dos graus de liberdade, onde diminuímos o total de medições por 1 (9 - 1 = 8), de modo a utilizar o resultado correspondente da tabela de distribuição F. Dessa forma, ao analisar os resultados para o teste F, podemos observar que para a amostra 1 (Controle e 0,05 ppm) não houve diferença significativa entre*

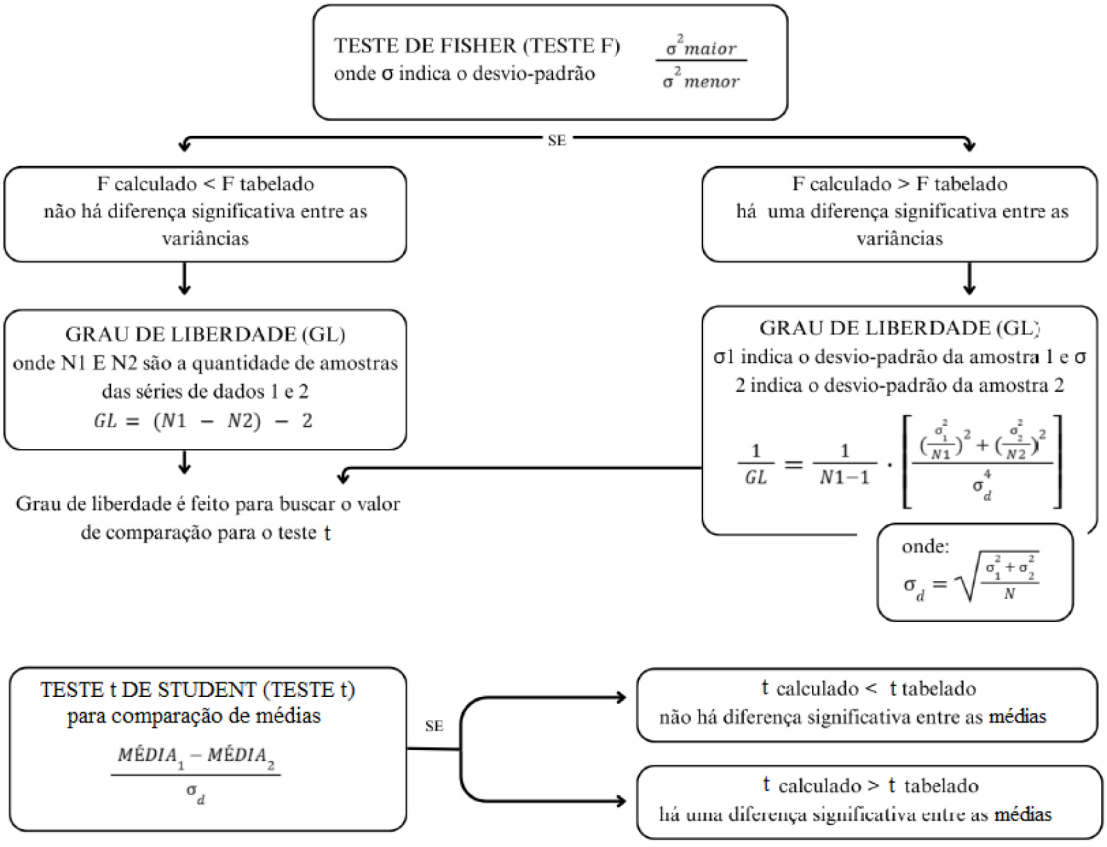


Figura 1: Fluxograma para a realização dos testes estatísticos. Fonte: os autores, a partir de Cienfuegos (2005).

Quadro 2: Conteúdos esperados que fossem mobilizados na resolução do problema

Componente Curricular	Conteúdos
Metrologia Química	Calibração do programa *ImageJ* para medição do comprimento das raízes; cálculo de média aritmética e de desvio-padrão; realização dos testes de Fisher e de t de Student para comparação de variância e de média, respectivamente.
Química Analítica I	Preparo das soluções de íons Cu^{2+} e Zn^{2+} por meio de diluição das soluções-estoque; manuseio de reagentes e vidrarias.
Química Inorgânica	Química Bioinorgânica (papel dos íons Cu^{2+} e Zn^{2+} no metabolismo celular).

Tabela 1: Resultados obtidos para o comprimento médio das cebolas testadas por um dos grupos de estudantes

Amostra	Média (cm)	Desvio-padrão (σ) (cm)	Variância (σ²)
controle	1,937	0,747	0,558
Cu^{2+} 0,05 ppm	1,482	0,814	0,663
Cu^{2+} 0,5 ppm	0,510	0,237	0,056

Fonte: Os autores, a partir dos dados coletados pelos estudantes.

as variâncias, considerando o valor de F calculado menor que o F tabelado. Já as amostras 2 (Controle e 0,50 ppm) e 3 (0,05 ppm e 0,50 ppm) apresentaram um valor de F calculado maior que o F tabelado (Fcalc > Ftab), indicando que há uma diferença significativa entre as variâncias destes bioensaios. O valor para o T tabelado também foi definido a partir dos graus de liberdade, porém, foram utilizadas duas fórmulas diferentes, uma para a primeira amostra e outra para a segunda e terceira amostra, de forma que pudéssemos utilizar o valor correspondente de T tabelado a partir da tabela T de Student. [...] Realizando uma análise dos resultados para o teste T, pode-se observar que a amostra 1 (Controle e 0,05 ppm) apresentou um valor de T calculado menor que o T tabelado, o que significa que não houve diferença significativa no crescimento

Tabela 2: Teste F para os resultados obtidos

Comparação entre amostras	F calculado	F tabelado*	Resultado	
controle e Cu^{2+} 0,05 ppm	1,19	3,44	$F_{calc} < F_{tab}$	Não há diferença significativa entre as variâncias
controle e Cu^{2+} 0,5 ppm	9,96	3,44	$F_{calc} > F_{tab}$	Há diferença significativa entre as variâncias
Cu^{2+} 0,05 ppm e 0,5 ppm	11,8	3,44	$F_{calc} > F_{tab}$	Há diferença significativa entre as variâncias

* Fonte: Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica (s.d.).

Tabela 3: Teste t de Student para os resultados obtidos

Comparação entre amostras	Desvio-padrão das diferenças (σ_d)	t calculado	t tabelado*	Resultado	
controle e Cu^{2+} 0,05 ppm	0,368	1,236	2,120	$t_{cal} < t_{tab}$	Não há diferença significativa entre as médias
controle e Cu^{2+} 0,5 ppm	0,261	5,460	2,262	$t_{cal} > t_{tab}$	Há diferença significativa entre as médias
Cu^{2+} 0,05 e 0,5 ppm	0,282	3,439	2,262	$t_{cal} > t_{tab}$	Há diferença significativa entre as médias

* Fonte: MedCalc Statistical Software (s.d.).

das raízes para essas amostras. Enquanto que, assim como no teste F, as amostras 2 (Controle e 0,50 ppm) e 3 (0,05 ppm e 0,50 ppm) apresentaram um T calculado maior que o T tabelado, indicando que há uma diferença significativa para essas amostras no crescimento das raízes em relação ao contato das cebolas com o seu meio aquoso. Dessa forma, com um nível de confiança de 95%, não foi observada diferença significativa ou inibição no crescimento das raízes para a amostra Controle e Cu 0,05 ppm, enquanto que para as amostras com solução de Cu 0,50 ppm ocorreu uma redução/inibição significativa do crescimento das raízes.

Nas tarefas extraclasse, foram desenvolvidos conteúdos procedimentais e atitudinais relacionados à pesquisa, discussão, tomada de decisões de forma colaborativa, escrita e capacidade de síntese. Além disso, os grupos precisaram se reunir para discutir como fazer uma articulação entre as informações apresentadas por cada uma das duas referências de forma a explicar a solução encontrada para o problema norteador a partir dos resultados dos testes estatísticos. Isso foi destacado por dois grupos durante a apresentação dos seminários.

No trabalho de Carvalho (2018), os graus de liberdade são analisados separadamente para atividades de experimentação e de resolução de problemas, dado que cada uma envolve diferentes níveis de autonomia e demandas cognitivas. Entretanto, neste texto, trataremos ambas como partes integrantes de uma mesma atividade, em razão da natureza da AEP.

A análise dessas ações pode ser enriquecida quando observada à luz dos graus de liberdade do professor e do aluno, propostos por Carvalho (2018). Esses graus descrevem o quanto uma atividade permite que o estudante participe do processo intelectual de investigação, variando de situações diretivas (graus 1 e 2), nas quais o professor define problema, hipóteses e procedimentos, até situações investigativas (graus 3 e 4), em que os estudantes passam a assumir a formulação de hipóteses, a escolha de caminhos metodológicos, a interpretação dos dados e a busca das explicações.

No trabalho de Carvalho (2018), os graus de liberdade são analisados separadamente para atividades de experimentação e de resolução de problemas, dado que cada uma envolve diferentes níveis de autonomia e demandas cognitivas. Entretanto, neste texto, trataremos ambas como partes integrantes de uma mesma atividade, em razão da natureza da AEP.

Embora a AEP desenvolvida neste trabalho não tenha sido planejada segundo o referencial clássico do Ensino por Investigação (Carvalho, 2013; Sasseron, 2015) — que caracteriza um ambiente investigativo como aquele no qual os estudantes saem da passividade, assumindo papel ativo na construção do conhecimento por meio da elaboração e teste de hipóteses, manipulação de variáveis e a argumentação com base em evidências — o comportamento dos estudantes durante o planejamento do bioensaio, na análise estatística e na preparação dos seminários evidenciou que a maior parte das decisões cognitivas situou-se nesses graus investigativos. Isso se deve ao fato de que o problema proposto exigiu mobilização e articulação entre conceitos das disciplinas envolvidas diretamente (Química Inorgânica, Química Analítica I e Metrologia Química) e indiretamente (como Matemática, Informática Instrumental, Língua Portuguesa e Biologia); justificativa de escolhas experimentais e reconstrução de raciocínios a partir dos dados, elementos característicos dos

Quadro 3: Relação entre as etapas da AEP, as ações realizadas pelo professor e alunos e seu respectivo grau de liberdade

Etapa da AEP	Ações Realizadas	Grau de Liberdade de Participação Intelectual Discente
Definição do problema norteador	O professor apresenta o problema, mas ele é aberto e permite múltiplas soluções pelos alunos.	2
Planejamento do bioensaio (variáveis, controles, replicatas)	O professor elabora o planejamento do bioensaio de modo a disponibilizar os recursos (vidrarias, reagentes, tempo em aula, espaço físico) para os alunos e discute o planejamento com os estudantes.	2
Preparo das soluções e execução dos bioensaios	O professor supervisiona a realização dos procedimentos experimentais pelos alunos, mas o protagonismo na execução é dos estudantes, que podem ter que realizar ajustes experimentais ao longo da prática.	2 para procedimentos experimentais / 3 para resolução de problemas
Tratamento e análise dos dados (estatística, interpretação)	O professor orienta como realizar a coleta dos dados, mas o tratamento e a análise dos dados é realizada pelos alunos, sendo que os grupos podem elaborar explicações diferentes para resultados semelhantes.	3 para coleta e tratamento dos dados / 4 para análise dos dados
Seminário e elaboração das explicações químicas	O professor orienta e fornece referências bibliográficas, mas são os estudantes que formulam hipóteses e justificativas para os seus resultados, de modo a criar modelos explicativos.	3 para pesquisa bibliográfica / 4 para elaboração de explicações

Fonte: Os autores, adaptado de Carvalho (2018).

graus 3 e 4 tanto na experimentação quanto na resolução de problemas. O Quadro 3 compara a AEP com os graus de liberdade (Carvalho, 2018), evidenciando que a atividade tem potencial para promover a autonomia intelectual e participação ativa no desenvolvimento do raciocínio científico.

A proposição de que os grupos apresentassem seminários explicando os resultados obtidos foi debatida entre os professores envolvidos durante o planejamento da AEP, uma vez que como os grupos já iriam produzir um relatório, o seminário poderia ser redundante. No entanto, as apresentações revelaram que, embora a metodologia fosse a mesma entre os grupos, a forma como explicaram os resultados variou, o que reforçou a qualidade do problema, já que dele emergiram diferentes soluções igualmente válidas, revelando um enfoque diferente dado pela leitura das fontes disponibilizadas para pesquisa. Por exemplo, em relação ao íon cobre, que afetou negativamente o crescimento radicular (Figura 2), enquanto alguns grupos utilizaram a reação do tipo Fenton (equação 1) para argumentar que o estresse oxidativo causava a destruição de certos componentes celulares, outros usaram a interferência do Cu^{2+} em enzimas importantes do metabolismo para explicar a ação tóxica do excesso do íon no metabolismo vegetal.

[...] a atividade proporcionou uma oportunidade de, por meio da pesquisa, realizar um aprofundamento conceitual tanto do que já tinham estudado nas disciplinas diretamente envolvidas na proposta quanto de conteúdos que emergiram da pesquisa e que ainda não tinham tido contato, como temáticas da Biologia — estrutura celular e fisiologia vegetal.

$$Cu^{+}(aq) + H_2O_2(aq) \rightarrow Cu^{2+}(aq) + HO^{\cdot}(aq) + HO^{-}(aq) \quad (1)$$

A articulação entre informações apresentadas pelas diferentes referências foi feita por alguns estudantes, como mostra o excerto a seguir, extraído de um dos relatórios escritos:

> [...] *os efeitos descritos por Lippard e Berg (1994) sobre a toxicidade de metais como o cobre, também estão relacionados com a inibição do crescimento radicular descrita por Taiz e Zeiger (2017), de forma que podemos observar um comprometimento em processos como a divisão/elongação celular nas amostras com Cu 0,50 ppm.*

Isso evidencia que a atividade proporcionou uma oportunidade de, por meio da pesquisa, realizar um aprofundamento conceitual tanto do que já tinham estudado nas disciplinas diretamente envolvidas na proposta quanto de conteúdos que emergiram da pesquisa e que ainda não tinham tido contato, como temáticas da Biologia — estrutura celular e fisiologia vegetal. Um dos grupos, por exemplo, aprofundou-se na análise das imagens das raízes das cebolas (Figura 3) e percebeu alterações visuais nas amostras tratadas com íons Cu^{2+}, concluindo que:

> [...] *Evidências de alguns desses danos celulares podem ser observados na imagem correspondente à amostra de cebola com concentração de 0,5 ppm (Figura 3c) em comparação à amostra que continha água da torneira (Figura 3a)* [...]. *Na Figura 3a,*

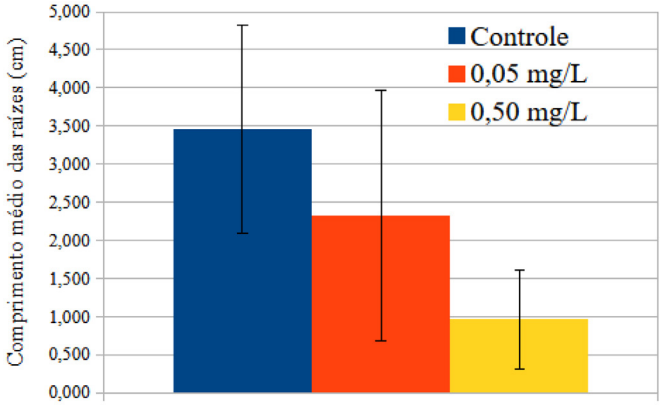


Figura 2: Comprimento médio de 54 raízes analisadas pelos grupos em diferentes soluções de íons Cu^{2+} em comparação com a amostra controle (água da torneira). Fonte: os autores, a partir dos dados coletados pelos estudantes.

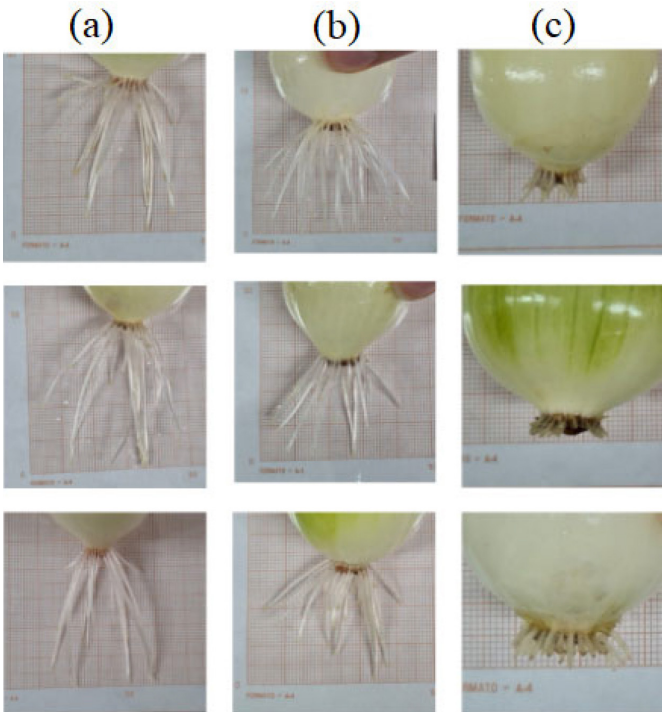


Figura 3: Imagens da região radicular das cebolas tratadas, em triplicata, com (a) água da torneira e com soluções contendo íons Cu^{2+} nas concentrações de (b) 0,05 mg/L e de (c) 0,5 mg/L. Fonte: relatório de um dos grupos.

> *observa-se crescimento radicular regular, com raízes mais finas e coloração clara. Em contraste, na Figura 3c, as raízes expostas ao cobre apresentaram redução no comprimento, espessamento e escurecimento da coloração.*

Outro aspecto interessante foi que os estudantes elaboraram diferentes hipóteses para a formação do íon Cu^{+} a partir do Cu^{2+}, uma vez que a reação do tipo Fenton parte do íon cuproso, de acordo com Lippard e Berg (1994). Alguns grupos exploraram referências adicionais para justificar a redução do íon cúprico no meio intracelular. Uma das hipóteses apresentadas foi a redução pelo radical superóxido (O_2^{-}).

Ao verificar que os íons cobre afetam negativamente o crescimento das raízes, um dos grupos de estudantes utilizou de conceitos estudados em Química Inorgânica (compostos de coordenação) e em Química Analítica (equilíbrio de solubilidade) para propor estratégias para minimizar a contaminação de raízes por esse íon metálico, como evidenciado pelo excerto a seguir, extraído do relatório escrito desse grupo:

> [...] *As práticas mais eficazes para atingir esse objetivo incluem a correção da acidez do solo via calagem, que eleva o pH e induz a precipitação do metal em formas menos solúveis, e o aumento constante da matéria orgânica através de plantas de cobertura e adubação verde, que promove a complexação do íon Cu^{2+} através de processos de quelação; uma vez "preso" pela matéria orgânica, o cobre forma um "quelato de cobre", complexo que é muito grande e estável para ser absorvido pelas raízes das plantas.*

Em relação ao bioensaio com o íon zinco, os grupos constataram que esse cátion, nas concentrações testadas, não influenciou significativamente o crescimento das raízes (Figura 4). Um dos grupos, em sua pesquisa, indicou que "*[...] nas raízes, o Zn^{2+} desempenha um papel no seu alongamento, aumentando a absorção de água e nutrientes*" e utilizou essa informação para justificar os resultados de que nas soluções contendo íons zinco o crescimento radicular foi um pouco maior em comparação com as amostras tratadas em água da torneira. Dessa forma, concluíram que "*[...] as concentrações testadas não foram suficientes para causar efeitos tóxicos*".

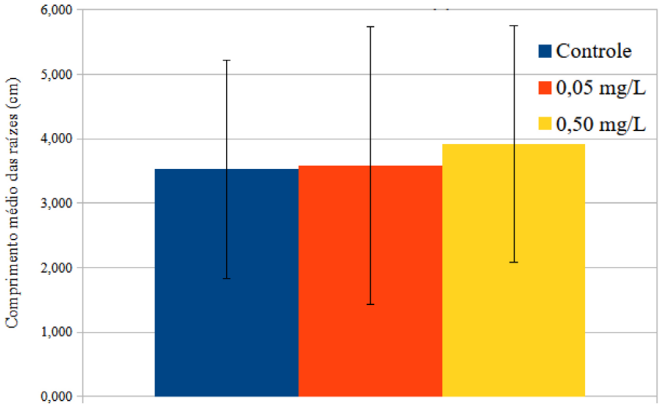


Figura 4: Comprimento médio de 47 raízes analisadas pelos grupos em diferentes soluções de íons Zn^{2+} em comparação com a amostra controle (água da torneira). Fonte: os autores, a partir dos dados coletados pelos estudantes.

Um dos grupos de estudantes, que também obteve resultados semelhantes, no entanto, indicou que elevadas concentrações de íons zinco deveriam inibir o crescimento das raízes. O excerto a seguir mostra a justificativa atribuída pelo grupo em relação aos resultados obtidos:

> [...] *Essa tendência contraria o esperado pela literatura, que deduz que elevadas concentrações*

de zinco devem inibir o desenvolvimento das raízes em decorrência das alterações nas propriedades das membranas e canais iônicos da planta, no caso específico da Allium cepa. Portanto, os resultados sugerem que fatores externos, possivelmente relacionados a erros no preparo das soluções ou manuseio dos ensaios, influenciaram o comportamento analisado.

Como pode ser verificado pelo excerto, o grupo de estudantes atribuiu a fatores externos, como erros no preparo das soluções ou manuseio dos ensaios, os resultados divergentes ao que consideraram esperado pela literatura. Isso mostra que a AEP pode oferecer altos graus de liberdade para a resolução de problemas, ao mesmo tempo que estimula a análise crítica e tomada de decisões. Com isso, o grupo demonstrou estar levantando hipóteses para explicar os resultados com base no que foi trabalhado nas aulas de Metrologia Química sobre erros sistemáticos e aleatórios ao invés de assumir que o experimento foi feito com precisão e contestar a literatura.

Por exemplo, conforme indicado por Epstein e Bloom (*apud* Kirkby e Römheld, 2007), os teores adequados de cobre e zinco nos tecidos vegetais (em matéria seca) são de 6 mg/kg e de 20 mg/kg, respectivamente. Em função disso, verifica-se que as plantas necessitam do elemento zinco em maior quantidade do que o elemento cobre e, por isso, a toxicidade do zinco é esperada em concentrações maiores do que as verificadas para o cobre, o que está de acordo com os resultados obtidos pelo grupo de estudantes, mas que foi interpretada de forma equivocada por eles.

Apesar de contestarem de forma indevida a literatura, esse movimento é considerado positivo no que diz respeito aos graus de liberdade intelectual, uma vez que, de acordo com Carvalho (2018, p.769) "nos graus 3 e 4 é o aluno que está com a parte ativa do raciocínio intelectual. Um grupo pode errar, mas poderá ser o grupo que mais vai aprender, pois os alunos deste grupo terão que refazer o raciocínio buscando onde cometeram o engano." Cabe ressaltar que o professor tem papel fundamental nesse processo, por meio do parecer fornecido aos estudantes em relação às hipóteses e conclusões desenvolvidas por eles, tanto nos relatórios escritos quanto durante a exposição oral, propiciando uma construção dialogada do conhecimento.

Com base no exposto, tanto a mobilização de conteúdos de diferentes modalidades (conceituais, procedimentais e atitudinais) quanto seu caráter investigativo — envolvendo graus de liberdade dos estudantes nos níveis 3 e 4 — foram evidenciados. Isso foi verificado, inclusive, pelos próprios estudantes, conforme relatos abaixo:

Com a experiência foi possível compreender como as áreas, não só da química, são interconectadas, permitindo entender a importância de cada uma delas no cotidiano e no futuro profissional. Essa atividade proporciona a nós estudantes mais liberdade, quando podemos analisar nossos próprios resultados e buscar respostas para aquele fato analisado por conta própria, percebemos muito mais nosso nível de aprendizagem. (Estudante A)

Mais do que a disciplina de química inorgânica, a experiência afetou positivamente minha percepção das disciplinas de química analítica e metrologia química, uma vez que suas aplicações nessa prática pareceram muito mais realistas em relação a práticas passadas ou exercícios escritos. Mais uma vez, as aplicações industriais da química inorgânica, não obstante a sua importância na natureza, se fez evidente. A mescla das disciplinas foi eficaz em criar uma experiência mais imersiva, pois a confirmação de sucesso ou falha do experimento envolveu, além dos dados da literatura revisada, nossos próprios cálculos e interpretações. (Estudante B)

Considerações finais

O uso de bioensaios como prática experimental interdisciplinar problematizada, conforme apresentado, constituiu uma potente ferramenta para promover a mobilização de conceitos teóricos, habilidades experimentais e atitudes (autonomia, senso crítico, postura investigativa, trabalho em equipe) que favorecem a formação integral de um técnico em Química.

A elaboração do relatório e sua apresentação oral revelaram que, embora os resultados fossem semelhantes entre os grupos, houve elaboração de hipóteses, interpretações e mobilização de diferentes conceitos para explicar os resultados, gerando diferentes soluções para o problema. Isso indica que o processo investigativo realizado a partir do problema perpassou tanto pelas características de um "bom problema", destacadas por Ribeiro *et al.* (2020), quanto pelo envolvimento da articulação entre problema, experimentação e elaboração de propostas de solução apresentada por Silva *et al.* (2017) e Ferreira *et al.* (2022). Ademais, a proposta mostrou promover graus de liberdade intelectual elevados para os estudantes.

A elaboração do relatório e sua apresentação oral revelaram que, embora os resultados fossem semelhantes entre os grupos, houve elaboração de hipóteses, interpretações e mobilização de diferentes conceitos para explicar os resultados, gerando diferentes soluções para o problema.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS).

Douglas C. da Silva (douglas.cbq@gmail.com) é bacharel em Química pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)/Universidade de Uberaba e Ciências Biológicas pela UFMG com período sanduíche na Universidade de Coimbra (Portugal), especialista em Educação em Ciências pela UFMG e mestre em Química pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Atualmente é doutorando do Programa de Pós-Graduação em Química (PPGQ) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e professor EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), *campus* Caxias do Sul. **Márjore Antunes** (marjore.antunes@caxias.ifrs.edu.br) é licenciada em Química pela Universidade de Caxias do Sul, mestre e doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais pela mesma instituição. Atualmente é professora EBTT do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), *campus* Caxias do Sul.

Referências

CARVALHO, A. M. P. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 18, n. 3, p. 765–94, 2018.

CARVALHO, A. M. P. (Org.). *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.* São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CIENFUEGOS, F. *Estatística aplicada ao laboratório*. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

FERREIRA, M.; DA SILVA, A. L. S.; DA SILVA FILHO, O. L. e PORTUGAL, K. O. Atividade Experimental Problematizada (AEP): asserções praxiológicas e pedagógicas ao ensino experimental das ciências. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 27, n. 1, p. 308-322, 2022.

IMAGE J. *Image processing and analysis in Java*. Disponível em: https://imagej.net/ij/, acesso em: jan. 2026.

INSTITUTO DE MATEMÁTICA, ESTATÍSTICA E COMPUTAÇÃO CIENTÍFICA (IMECC). *Tabela com percentis 95 % da distribuição F*. Disponível em: https://www.ime.unicamp.br/~cnaber/tabela_F_1.pdf, acesso em: jun. 2026.

KIRKBY, E. A. e RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. *Informações Agronômicas*, v. 118, p. 1-24, 2007.

LIPPARD, S. J. e BERG, J. M. *Principles of bioinorganic chemistry*. Mill Valley: University Science Books, 1994.

MEDCALC STATISTICAL SOFTWARE. *t-distribution table (two-tailed)*. Disponível em: https://www.medcalc.org/en/manual/t-distribution-table.php, acesso em: jun. 2026.

MOZENA, E. e OSTERMANN, F. Uma revisão bibliográfica sobre interdisciplinaridade no ensino das ciências da natureza. *Ensaio*, v. 16, n. 2, p. 185-206, 2014.

PALÁCIO, S. M.; DA CUNHA, M. B.; ESPINHOZA-QUIÑONES, F. R. e NOGUEIRA, D. A. Toxicidade de metais em soluções aquosas: um bioensaio para a sala de aula. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 2, p. 79-83, 2013.

RIBEIRO, D. das C. de A.; PASSOS, C. G. e SALGADO, T. D. M. A metodologia de resolução de problemas no ensino de ciências: as características de um problema eficaz. *Ensaio*, v. 22, e24006, 2020.

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações para a construção de conhecimentos em salas de aula de ciências. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 17, p. 49-67, 2015.

SILVA, A. L. S.; MOURA, P. R. G. e DEL PINO, J. C. Atividade Experimental Problematizada (AEP) como uma estratégia pedagógica para o ensino de Ciências: aportes teóricos, metodológicos e exemplificação. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 12, n. 5, p. 177-195, 2017.

TAIZ, L. e ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. Porto Alegre: Penso, 2014.

Abstract: *Using an Allium cepa bioassay as an interdisciplinary problem-based experimental approach in technical chemistry education.* This paper describes and analyzes the design and implementation of an interdisciplinary Problem-Based Experimental Activity (PBEA) developed in a Technical Chemistry course integrated with upper secondary education. The proposal, based on bioassays using onions (*Allium cepa*), involved the subjects of Inorganic Chemistry, Analytical Chemistry I, and Chemical Metrology, articulating problem solving, experimentation, statistical data analysis, and bibliographic research. The activity was structured as a teaching sequence and applied to second-year student groups. The analysis of students' written productions and oral presentations evidenced the mobilization of conceptual, procedural, and attitudinal contents, as well as high degrees of students' intellectual freedom, characterizing the proposal as investigative. The results indicate that the PBEA fosters interdisciplinarity, students' autonomy, and the development of scientific reasoning in the education of chemistry technicians.

Keywords: problem-based experimental activity, interdisciplinary teaching, students' intellectual autonomy