

DITIOCARBAMATOS E INTERAÇÃO COM ENZIMAS: APRENDIZAGEM ATRAVÉS DA METODOLOGIA ATIVA ROTAÇÕES DE ESTAÇÕES NO ENSINO SUPERIOR

DITHIOCARBAMATES AND INTERACTION WITH ENZYMES: LEARNING
THROUGH THE ACTIVE METHODOLOGY OF STATION ROTATIONS IN
HIGHER EDUCATION

Ciências Exatas e da Terra • 28/05/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/779812415](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/779812415)

Francisco José Mininel¹

Silvana Márcia Ximenes Mininel²

RESUMO

Os ditiocarbamatos constituem uma importante classe de compostos organossulfurados amplamente utilizados na agricultura, indústria e química medicinal, destacando-se por suas propriedades quelantes e por suas interações com sistemas biológicos e enzimáticos. No ensino superior, especialmente nos cursos das áreas de Química, Farmácia, Biologia e Engenharias, o estudo dessas substâncias frequentemente apresenta dificuldades relacionadas à abstração conceitual e à compreensão das interações moleculares. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma proposta metodológica baseada na aprendizagem ativa por rotações de estações, visando promover maior protagonismo discente, integração entre teoria e prática e desenvolvimento de competências científicas. O estudo foi estruturado em diferentes estações temáticas, incluindo leitura científica, modelagem molecular, resolução de problemas e um experimento laboratorial envolvendo a síntese e análise de um complexo ditiocarbamato metálico. Os resultados indicaram aumento significativo do engajamento estudantil, melhora na compreensão dos conteúdos relacionados à interação entre ditiocarbamatos e enzimas e maior participação nas atividades colaborativas. Conclui-se que a metodologia de rotações de estações constitui uma estratégia eficiente para o ensino de Química Inorgânica e Bioinorgânica no ensino superior, favorecendo aprendizagem significativa e interdisciplinar.

Palavras-chave: Ditiocarbamatos; Enzimas; Metodologia ativa; Rotações por estações; Ensino superior.

ABSTRACT

Dithiocarbamates are an important class of organosulfur compounds widely used in agriculture, industry, and medicinal

chemistry due to their chelating properties and interactions with biological and enzymatic systems. In higher education, especially in Chemistry, Pharmacy, Biology, and Engineering courses, the study of these substances often presents difficulties related to conceptual abstraction and understanding of molecular interactions. In this context, this work presents a methodological proposal based on active learning through station rotation, aiming to promote student protagonism, integration between theory and practice, and the development of scientific skills. The study was organized into different thematic stations, including scientific reading, molecular modeling, problem solving, and a laboratory experiment involving the synthesis and analysis of a metallic dithiocarbamate complex. The results indicated a significant increase in student engagement, improved understanding of the content related to the interaction between dithiocarbamates and enzymes, and greater participation in collaborative activities. It is concluded that the station rotation methodology is an efficient strategy for teaching Inorganic and Bioinorganic Chemistry in higher education, favoring meaningful and interdisciplinary learning.

Keywords: Dithiocarbamates; Enzymes; Active methodology; Station rotation; Higher education.

1. INTRODUÇÃO

Os ditiocarbamatos representam uma classe de compostos sulfurados caracterizados pela presença do grupo funcional N-CS₂ (Figura 1), sendo amplamente empregados como fungicidas, aceleradores de vulcanização, agentes quelantes e precursores de complexos metálicos com diversas aplicações biológicas e industriais (MARTINS; MATTOS, 2025). Estudos recentes demonstram que essas substâncias apresentam relevante interação com sistemas

enzimáticos, podendo atuar como inibidores ou moduladores da atividade catalítica de enzimas específicas (ZHU et al., 2022; ZWEIGEL et al., 2010).

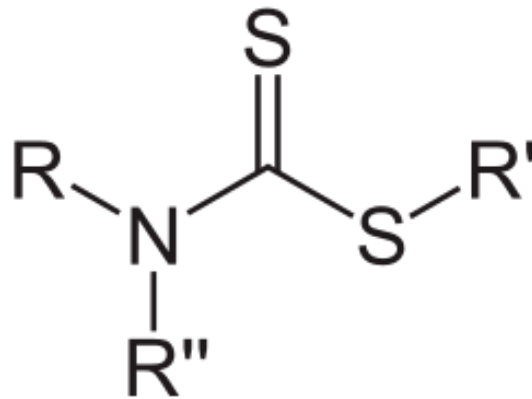


Figura 1: Grupo N-CS₂ em ditiocarbamatos.

Fonte: Adaptado de Martins e Mattos (2025).

A interação entre compostos químicos e enzimas constitui um tema interdisciplinar que envolve conhecimentos de Química Orgânica, Química Inorgânica, Bioquímica e Toxicologia (CEDERGREEN et al., 2021).

A Figura 2 demonstra de forma clara a ampla relevância dos ditiocarbamatos no setor produtivo, destacando aplicações estratégicas nas áreas da agricultura, indústria e nanotecnologia. Esses compostos organossulfurados possuem elevada versatilidade química devido à presença do grupo funcional ditiocarbamato, o qual apresenta grande capacidade de coordenação metálica, estabilidade química e elevada reatividade controlada (MARTINS; MATTOS, 2025). Tais características tornam essas substâncias extremamente importantes em diferentes segmentos tecnológicos e industriais.

No setor agrícola, os ditiocarbamatos são amplamente utilizados como agentes fungicidas no controle de doenças que afetam culturas de importância econômica, como soja, milho, tomate, batata e frutas em geral. Compostos como mancozebe, zineb e tiram atuam diretamente sobre enzimas essenciais ao metabolismo dos fungos, inibindo processos bioquímicos fundamentais para sua sobrevivência (HAN et al., 2020). Essa ação proporciona elevada eficiência no combate a fungos fitopatogênicos, reduzindo perdas agrícolas e aumentando a produtividade das lavouras. Além disso, devido ao amplo espectro de ação, os ditiocarbamatos tornaram-se ferramentas importantes na segurança alimentar e na proteção de cultivos em larga escala.

A Figura 2 também destaca a aplicação industrial dos ditiocarbamatos em processos de catálise e produção química. Na indústria, esses compostos são empregados como aceleradores de vulcanização da borracha, estabilizantes de polímeros, agentes quelantes e intermediários químicos. Sua capacidade de formar complexos estáveis com metais de transição permite sua utilização em processos catalíticos capazes de acelerar reações químicas e aumentar a eficiência produtiva (MARTINS; MATTOS, 2025). Em sistemas industriais, os ditiocarbamatos auxiliam na melhoria da estabilidade térmica de materiais, no controle de degradação oxidativa e no aumento da resistência de produtos poliméricos utilizados em pneus, cabos, revestimentos e equipamentos industriais.

Outro aspecto importante evidenciado na Figura 2 é a aplicação dos ditiocarbamatos na nanotecnologia e no desenvolvimento de novos materiais avançados. Pesquisas recentes demonstram que complexos metálicos derivados de ditiocarbamatos podem atuar

como precursores para síntese de nanopartículas metálicas, nanocompósitos e semicondutores (MARTINS; MATTOS, 2025). Esses materiais apresentam aplicações promissoras em sensores químicos, dispositivos eletrônicos, fotocatálise, armazenamento de energia e sistemas de liberação controlada de fármacos. A elevada afinidade dos ditiocarbamatos por metais como cobre, zinco, prata e níquel favorece a produção de nanomateriais com propriedades ópticas, magnéticas e catalíticas diferenciadas.

Além disso, os ditiocarbamatos apresentam importância crescente na área ambiental e biomédica. Alguns complexos metálicos derivados dessas substâncias vêm sendo investigados por suas propriedades antimicrobianas, antitumorais e antioxidantes (PEROVANI et al., 2021). Em aplicações ambientais, podem atuar na remoção de metais tóxicos e na remediação de contaminantes devido à sua elevada capacidade de complexação química.

Portanto, a Figura 2 representa adequadamente o caráter multidisciplinar e tecnológico dos ditiocarbamatos no setor produtivo contemporâneo. Sua ampla aplicação na agricultura, indústria e nanotecnologia evidencia o impacto desses compostos no desenvolvimento científico, econômico e tecnológico, reforçando sua importância para inovação industrial e avanço das pesquisas em química aplicada.

PAINEL DE APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

CÓDIGO	SETOR DE APLICAÇÃO	DESCRIÇÃO DETALHADA DO IMPACTO
AGRI	AGRI Agricultura	Atuação direta e eficaz como agentes fungicidas para proteção de lavouras
IND	IND Indústria & Catálise	Emprego em larga escala em processos fabris e aceleração de reações químicas
NANO	NANO Nanotecnologia	Centro de pesquisas avançadas para criação de novos nanomateriais

Figura 2: Aplicações dos ditiocarbamatos em diferentes áreas.

Fonte: Adaptado de Martins e Mattos (2025).

Entretanto, no contexto do ensino superior, tais conteúdos frequentemente são abordados de maneira excessivamente teórica, dificultando a compreensão dos mecanismos moleculares envolvidos. Nesse cenário, as metodologias ativas surgem como importantes ferramentas pedagógicas capazes de estimular o protagonismo discente e promover maior integração entre teoria e prática (MORAN, 2018).

Entre as metodologias ativas, destaca-se a estratégia denominada rotações de estações, na qual os estudantes percorrem diferentes ambientes de aprendizagem organizados por temáticas específicas. Essa metodologia favorece aprendizagem colaborativa, resolução de problemas, investigação científica e experimentação prática (MORAN, 2018).

Assim, o presente trabalho objetiva apresentar uma proposta de ensino baseada na metodologia ativa de rotações de estações aplicada ao conteúdo “ditiocarbamatos e interação com enzimas”,

incluindo uma estação experimental laboratorial destinada à síntese de um complexo metálico de ditiocarbamato.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Ditiocarbamatos: Aspectos Químicos e Biológicos

Os ditiocarbamatos (Figura 3) são compostos derivados do ácido ditiocarbâmico e possuem elevada capacidade de coordenação metálica devido à presença de átomos de enxofre altamente polarizáveis (MARTINS; MATTOS, 2025). Essa característica permite a formação de complexos estáveis com metais de transição, especialmente ferro, cobre, zinco e níquel.

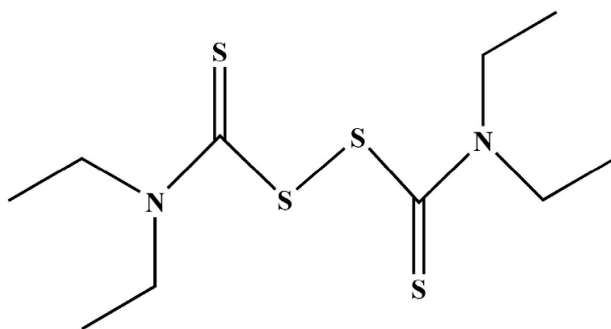


Figura 3: Estrutura química de um ditiocarbamato.

Fonte: Adaptado de Martins e Mattos (2025).

Além de suas aplicações industriais, diversos estudos apontam atividades biológicas relevantes desses compostos, incluindo propriedades antifúngicas, antimicrobianas e antitumorais (PEROVANI et al., 2021).

As interações entre ditiocarbamatos e enzimas ocorrem principalmente por mecanismos de coordenação metálica, alterações conformacionais proteicas e inibição de sítios catalíticos (Figura 4) (ZHU et al., 2022). Em sistemas biológicos, determinados

pesticidas derivados de ditiocarbamatos podem afetar enzimas oxidativas e esterases, interferindo em processos metabólicos essenciais (BACCI et al., 2017).

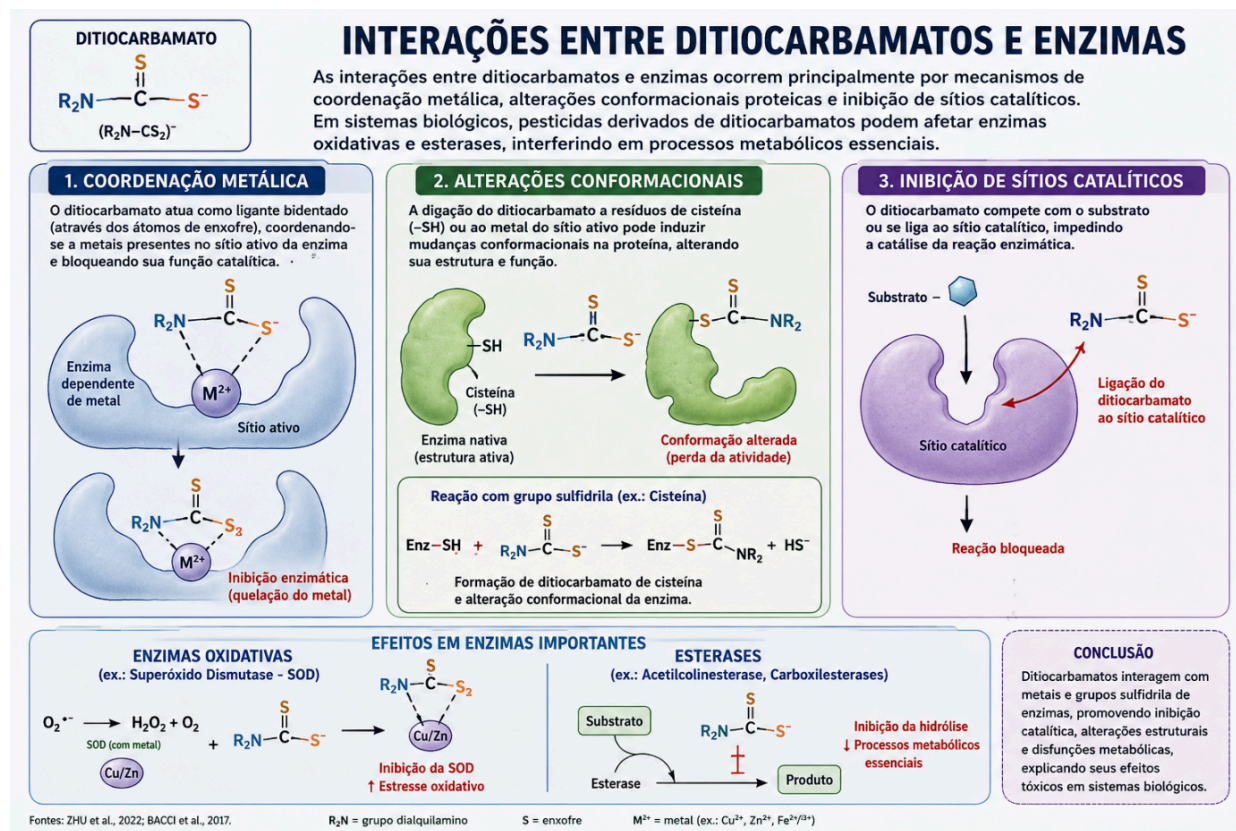


Figura 4: Interação de ditiocarbamato e enzimas.

Fonte: Adaptado de (ZHU et al., 2022).

2.2. Interação com Enzimas

As enzimas são catalisadores biológicos responsáveis pela aceleração de reações metabólicas. A interação de compostos organossulfurados com enzimas pode ocorrer por diferentes mecanismos, incluindo inibição competitiva, não competitiva e modificação estrutural do sítio ativo (EMELYANOVA; SOLYANIKOVA, 2019).

Pesquisas recentes demonstram que compostos químicos contendo enxofre apresentam forte afinidade por metais presentes em metaloenzimas, promovendo alterações em suas atividades catalíticas (CEDERGREEN et al., 2021).

Além disso, ensaios de inibição enzimática vêm sendo amplamente utilizados para monitoramento toxicológico de pesticidas e contaminantes ambientais, especialmente aqueles relacionados a compostos organossulfurados e carbamatos (ZWEIGEL et al., 2010).

2.3. Metodologias Ativas e Rotações de Estações

As metodologias ativas priorizam a participação efetiva do estudante no processo de construção do conhecimento. Segundo Moran (2018), essas abordagens promovem autonomia, pensamento crítico e aprendizagem significativa.

A metodologia de rotações de estações consiste na organização da turma em pequenos grupos que percorrem diferentes estações temáticas, cada uma contendo desafios específicos. Essa estratégia permite diversificação didática e maior integração entre conteúdos teóricos e práticos.

No ensino de Química, as rotações de estações favorecem a contextualização dos conteúdos científicos e ampliam a participação discente em atividades experimentais, investigativas e colaborativas.

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida com estudantes do ensino superior matriculados na disciplina de Química Bioinorgânica. A metodologia aplicada baseou-se na estratégia ativa de rotações de estações (MORAN, 2018), organizadas em quatro ambientes de aprendizagem distintos (Figura 5).

3.1. Organização das Estações

Estação 1 – Leitura e interpretação científica

Os estudantes realizaram leitura orientada de artigos científicos relacionados aos ditiocarbamatos e suas interações com enzimas. Foram discutidos aspectos estruturais, aplicações biológicas e mecanismos de inibição enzimática (CEDERGREEN et al., 2021; ZHU et al., 2022).

Estação 2 – Modelagem molecular

Nessa estação, os alunos utilizaram softwares de visualização molecular para analisar estruturas de complexos ditiocarbamatos metálicos e possíveis interações com proteínas enzimáticas.

Estação 3 – Resolução de problemas

Os grupos receberam estudos de caso envolvendo toxicidade de pesticidas derivados de ditiocarbamatos e análise de mecanismos de ação enzimática (BACCI et al., 2017).

Estação 4 – Experimento laboratorial

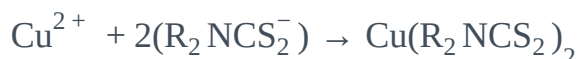
Foi realizada a síntese de um complexo simples de ditiocarbamato de cobre(II), utilizando reagentes de baixa toxicidade e fácil obtenção.

3.2. Procedimento Experimental

Inicialmente, preparou-se uma solução contendo dissulfeto de carbono e dietilamina sob agitação controlada, formando o ligante ditiocarbamato. Em seguida, adicionou-se solução aquosa de sulfato

de cobre(II), observando-se a formação de precipitado escuro correspondente ao complexo metálico.

A reação pode ser representada simplificada por:



Os estudantes analisaram coloração, precipitação, estabilidade e possíveis aplicações biológicas do complexo sintetizado.

Foram utilizados questionários diagnósticos antes e após as atividades para avaliação da aprendizagem.

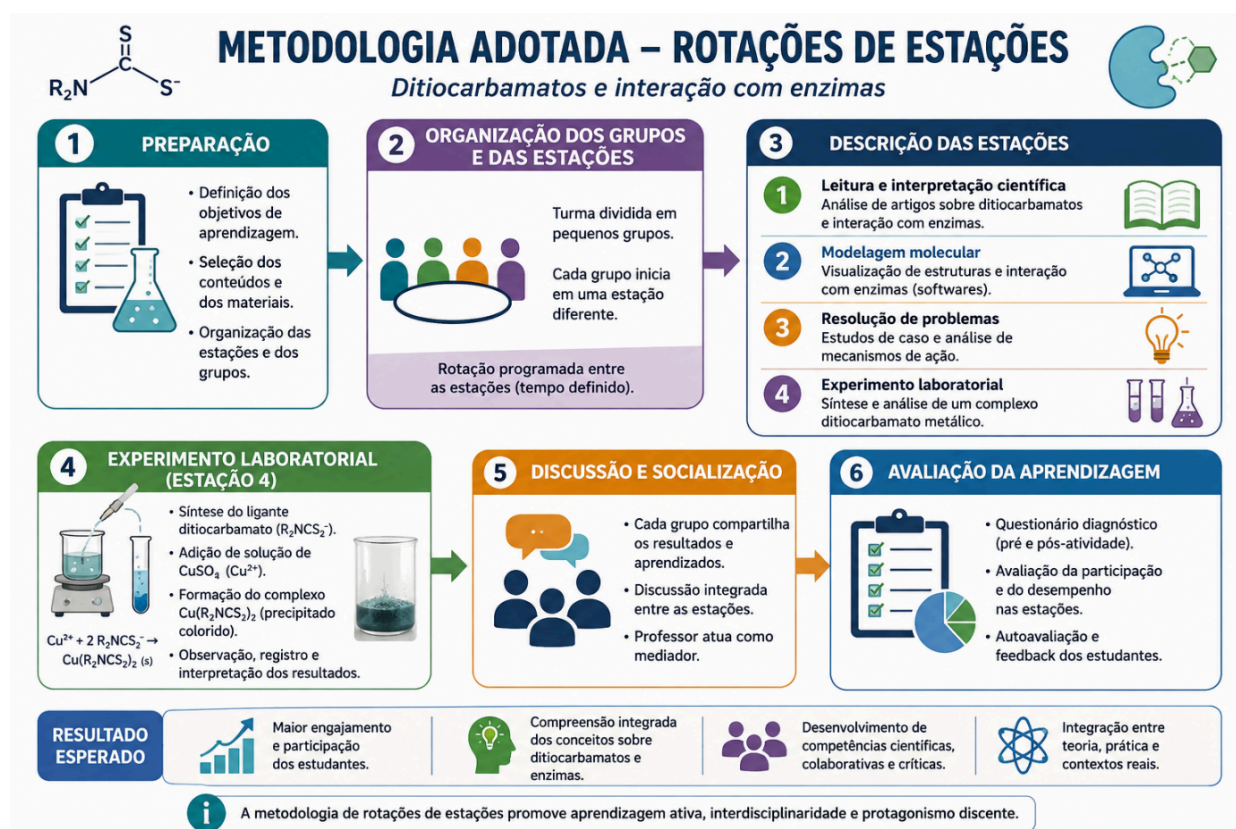


Figura 5: Organização das etapas da Metodologia Ativa Rotações por Estações.

Fonte: Elaborada pelos autores.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstraram aumento significativo da participação discente durante as atividades de rotações de estações.

Observou-se maior envolvimento dos estudantes principalmente nas estações práticas e investigativas.

A Figura 6 demonstra um importante momento de construção coletiva do conhecimento durante o desenvolvimento da metodologia ativa por rotações de estações. A imagem foi elaborada pelos próprios estudantes com o objetivo de representar, de forma visual e integrada, os principais aspectos relacionados à bioatividade e à farmacologia dos ditiocarbamatos, incluindo suas atividades antimicrobiana, antifúngica e antitumoral, bem como seus mecanismos de ação, alvos biológicos e aplicações terapêuticas.

A construção da arte ocorreu de maneira colaborativa, sendo resultado de intensas discussões entre os grupos de estudantes ao longo das atividades propostas. Durante o processo, os discentes analisaram artigos científicos, debateram mecanismos bioquímicos, correlacionaram estruturas químicas com funções biológicas e organizaram coletivamente as informações consideradas mais relevantes para representação visual do conteúdo.

Essa atividade favoreceu o desenvolvimento do pensamento crítico, da argumentação científica e da aprendizagem significativa, além de estimular a integração entre conhecimentos de Química Bioinorgânica, Bioquímica, Farmacologia e Toxicologia. A elaboração coletiva da figura também contribuiu para maior protagonismo estudantil e fortalecimento das habilidades de comunicação científica e trabalho em equipe.

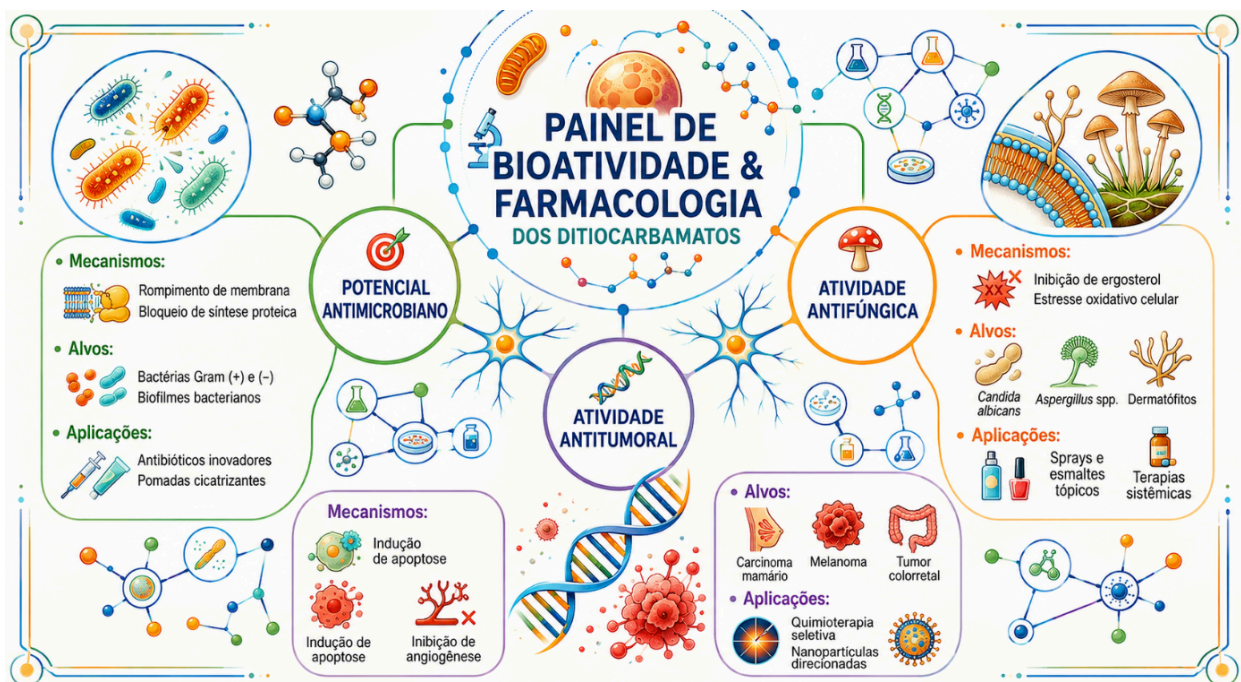


Figura 6: Painel ilustrativo construído pelos estudantes durante a metodologia ativa de rotações de estações, representando aspectos de bioatividade e farmacologia dos ditiocarbamatos.

Fonte: Elaborado pelos estudantes durante as atividades da disciplina.

A estação experimental apresentou elevada aceitação entre os participantes, contribuindo para a compreensão dos processos de coordenação metálica e interação química dos ditiocarbamatos. A observação visual da formação do complexo metálico favoreceu a associação entre conceitos teóricos e fenômenos experimentais (Figura 7).



Figura 7: Estudantes executando a atividade experimental (Estação 4).

Fonte: Os autores

Os questionários aplicados evidenciaram melhora na compreensão de conceitos relacionados à inibição enzimática, coordenação metálica e aplicações biológicas dos ditiocarbamatos (CEDERGREEN et al., 2021; ZHU et al., 2022). Além disso, os estudantes relataram maior facilidade na interpretação de artigos científicos e maior interesse pela Química Bioinorgânica.

Os resultados corroboram estudos que indicam que metodologias ativas favorecem aprendizagem significativa, autonomia intelectual e desenvolvimento do pensamento científico (MORAN, 2018).

Outro aspecto relevante foi a interdisciplinaridade proporcionada pelas estações, integrando conteúdos de Química Inorgânica, Bioquímica, Toxicologia e Educação Científica.

Os estudantes de um dos grupos produziram a arte como forma de explicar aos demais colegas os principais mecanismos relacionados

à bioatividade dos ditiocarbamatos (Figura 8). Durante a apresentação, o grupo destacou que a ligação dessas substâncias aos grupos sulfidríla de proteínas pode modificar a estrutura e a função proteica, interferindo diretamente em importantes vias biológicas. Além disso, os estudantes enfatizaram que a inibição de enzimas específicas ocorre devido à interação dos ditiocarbamatos com centros metálicos e resíduos sulfurados presentes nas enzimas, comprometendo processos celulares essenciais. O grupo também explicou que essas interações podem provocar alterações em processos metabólicos, afetando etapas fundamentais do metabolismo celular (Figura 8).

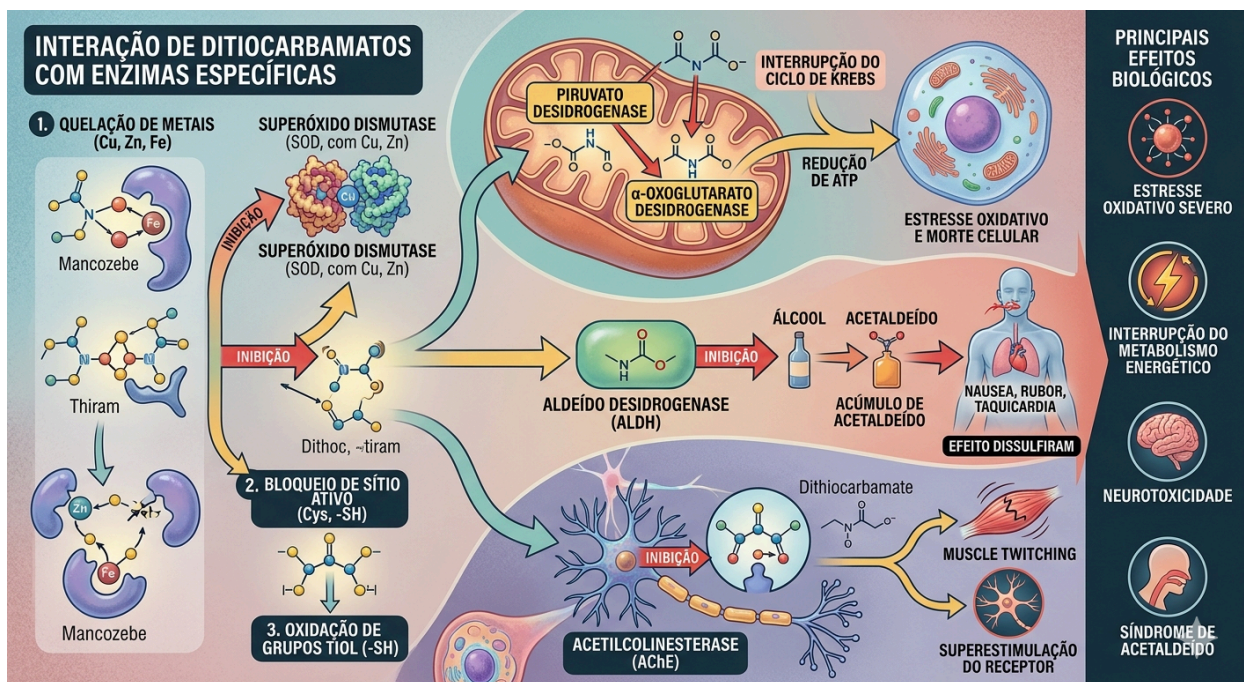


Figura 8: Painel ilustrativo indicando a interação de ditiocarbamatos com enzimas específicas.

Fonte: Elaborado pelos estudantes durante as atividades da disciplina.

Durante a análise da arte, os estudantes realizaram diversas discussões mediadas pela professora sobre os mecanismos de ação dos ditiocarbamatos e suas consequências biológicas. Inicialmente, a turma debateu a capacidade desses compostos de quelar metais essenciais, como cobre, zinco e ferro, presentes em enzimas importantes do metabolismo celular. A professora destacou que

essa quelação pode comprometer o funcionamento de metaloenzimas, como a superóxido dismutase (SOD), favorecendo o aumento do estresse oxidativo.

Outro ponto amplamente discutido foi o bloqueio de grupos sulfidríla (-SH) em proteínas e enzimas. Os estudantes comentaram que a interação dos ditiocarbamatos com resíduos de cisteína altera a conformação das proteínas, promovendo perda da atividade enzimática. Nesse contexto, foi debatida a inibição de enzimas fundamentais do metabolismo energético, como a piruvato desidrogenase e a α -oxoglutarato desidrogenase, ocasionando interrupção do ciclo de Krebs e redução da produção de ATP.

A professora também mediou uma discussão sobre os efeitos tóxicos relacionados à inibição da enzima aldeído desidrogenase (ALDH). Os alunos relacionaram esse mecanismo ao chamado “efeito dissulfiram”, caracterizado pelo acúmulo de acetaldeído após ingestão de álcool, causando sintomas como náusea, rubor facial e taquicardia.

Além disso, houve uma importante reflexão sobre os efeitos neurotóxicos dos ditiocarbamatos. Os estudantes destacaram a inibição da acetilcolinesterase (AChE), responsável pela degradação da acetilcolina nas sinapses nervosas. A partir disso, discutiu-se como a superestimulação neuronal pode desencadear alterações neuromusculares, espasmos e comprometimentos neurológicos.

4.1. Fala dos Estudantes Durante a Apresentação

Estudante 1: “Nossa equipe elaborou esta arte para demonstrar como os ditiocarbamatos conseguem interagir com proteínas e enzimas importantes do organismo. Observamos que a ligação aos grupos sulfidrila pode alterar funções celulares essenciais, promovendo inibição enzimática e modificações metabólicas significativas. Dessa forma, conseguimos compreender melhor como esses compostos apresentam diferentes atividades biológicas e farmacológicas.”

Estudante 2: “Os ditiocarbamatos podem induzir apoptose por meio do desequilíbrio do sistema redox celular e da interferência em enzimas fundamentais para a manutenção da célula. Em nossas discussões, percebemos que esses compostos favorecem o aumento do estresse oxidativo, causando danos mitocondriais e liberação de proteínas pró-apoptóticas, como o citocromo c. Esse processo ativa caspases responsáveis pela morte celular programada. Assim, entendemos que a ação dos ditiocarbamatos sobre vias apoptóticas explica parte do seu potencial farmacológico, especialmente em pesquisas relacionadas ao combate de células tumorais.”

Estudante 3: “Os ditiocarbamatos apresentam importante ação antifúngica devido à sua capacidade de interferir em processos metabólicos essenciais dos fungos. Durante nossos estudos, observamos que

esses compostos podem inibir enzimas que dependem de íons metálicos, além de promover alterações na permeabilidade da membrana celular fúngica. Outro aspecto relevante é a interação com grupos sulfidril de proteínas, comprometendo o funcionamento adequado das células do fungo. Dessa forma, os ditiocarbamatos dificultam o crescimento e a reprodução dos microrganismos, justificando sua ampla utilização como fungicidas em aplicações agrícolas e industriais.”

Estudante 4: “Percebemos que os ditiocarbamatos conseguem afetar diferentes enzimas ao mesmo tempo, principalmente aquelas que dependem de metais ou grupos sulfidril para funcionar corretamente.”

Estudante 5: “A interrupção do ciclo de Krebs chamou bastante atenção porque mostra como a inibição enzimática pode comprometer diretamente a produção de energia da célula.”

Estudante 6: “A parte relacionada à acetilcolinesterase demonstra que esses compostos também podem provocar efeitos neurotóxicos importantes devido ao excesso de neurotransmissores nas sinapses.”

Estudante 7: “Foi interessante observar que o mesmo composto pode apresentar aplicações industriais e

agrícolas, mas também provocar efeitos tóxicos complexos em sistemas biológicos.”

Ao final da atividade de rotação por estações, a professora realizou um momento de fechamento em aula dialogada, retomando os principais conceitos discutidos pelos grupos ao longo das etapas da dinâmica. Utilizando a figura como síntese visual, destacou-se que os ditiocarbamatos apresentam importante relevância química, biológica e ambiental, mas também podem desencadear efeitos tóxicos significativos em diferentes organismos e ecossistemas (Figura 9).

Durante a discussão final, a professora enfatizou que a degradação desses compostos pode gerar subprodutos altamente tóxicos, como a etilenotioureia (ETU), associada a efeitos carcinogênicos, desregulação endócrina e elevada persistência ambiental. Também foram debatidos os impactos da contaminação hídrica provocada pela lixiviação desses compostos para rios e lençóis freáticos, afetando organismos aquáticos e contribuindo para alterações reprodutivas e neurológicas em diferentes espécies.



Figura 9: Impactos ambientais do ditiocarbamatos no ambiente.

Fonte: Adaptado de Martins e Mattos (2025).

Outro ponto ressaltado foi o impacto nos ecossistemas terrestres, especialmente sobre a microbiota do solo, a fertilidade natural e a fauna exposta à deriva de produtos agrícolas contendo ditiocarbamatos. A professora conduziu os estudantes à reflexão sobre a necessidade de monitoramento ambiental mais eficiente, considerando as dificuldades analíticas relacionadas à instabilidade dessas moléculas e à ocorrência de falsos positivos em análises químicas.

O Mancozebe é um fungicida pertencente à classe dos **ditiocarbamatos**, empregado principalmente no controle de doenças fúngicas em culturas agrícolas. Quimicamente, o mancozebe é um complexo formado por íons metálicos, especialmente **manganês (Mn)** e **zinco (Zn)**, associados ao ligante etilenobisditiocarbamato. Sua ação ocorre por contato, impedindo o desenvolvimento de fungos ao interferir em enzimas essenciais do metabolismo celular dos microrganismos (Figura 10).

ESTRUTURA QUÍMICA DO MANCOZEB

Quimicamente, o mancozebe é um complexo formado por íons metálicos, especialmente manganês (Mn) e zinco (Zn), associados ao ligante etilenobisditiocarbamato.

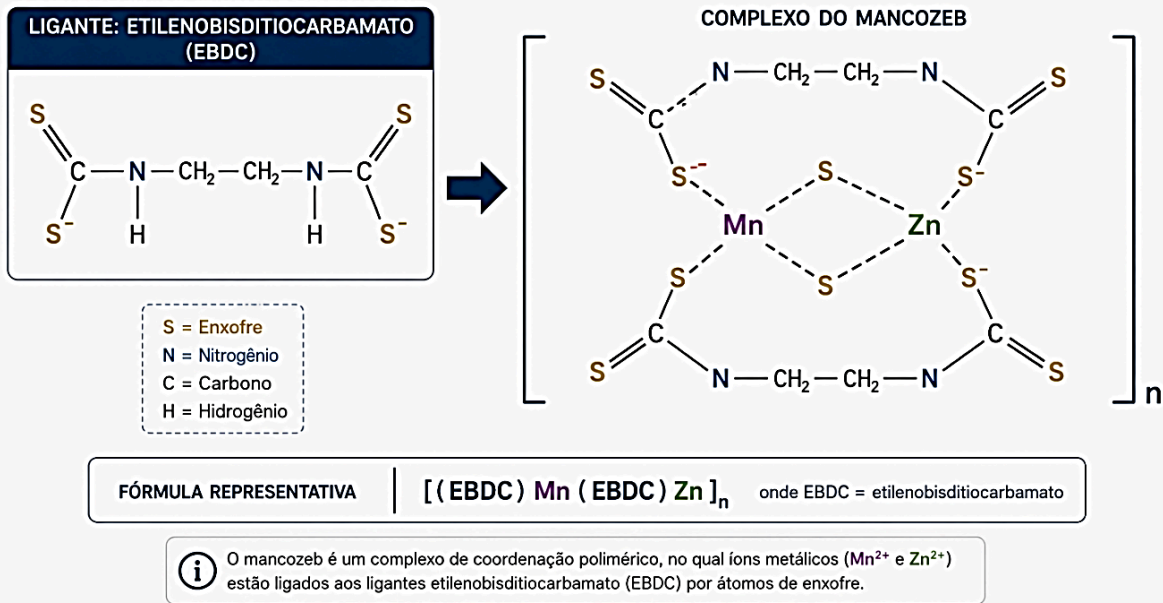


Figura 10: Estrutura química do Mancozebe.

Fonte: Os autores

Os dados oficiais fornecidos pelos boletins anuais de comercialização de agrotóxicos do [Ibama](#) mostram que o uso de ditiocarbamatos no Brasil apresenta uma **trajetória de crescimento expressivo**, puxada principalmente pelo **Mancozebe** — que se consolidou como o ditiocarbamato mais vendido e o segundo ingrediente ativo químico mais utilizado em toda a agricultura nacional (Figura 11)

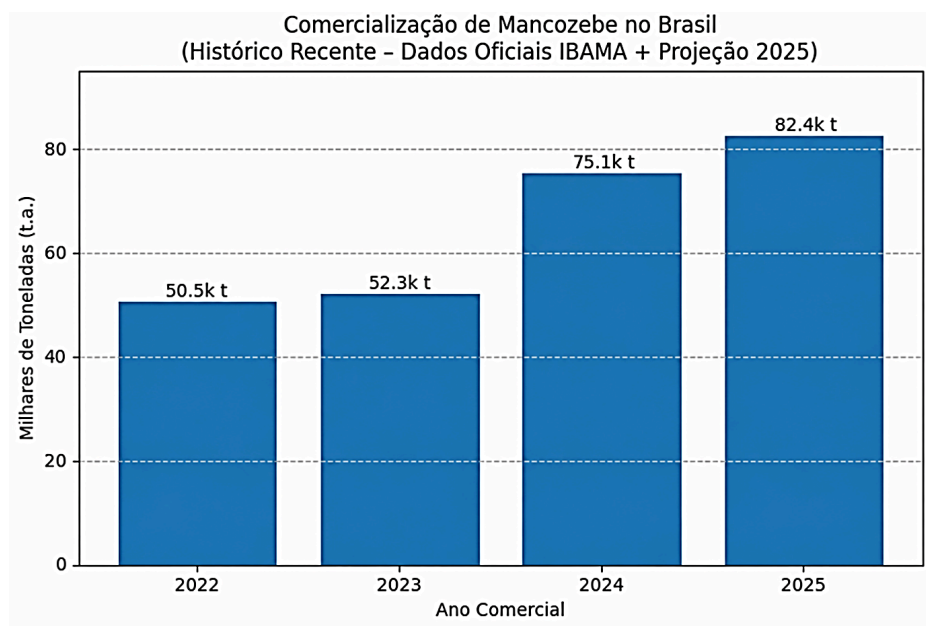


Figura 11: Utilização do fungicida Mancozebe no Brasil.

Fonte: IBAMA (2025)

No encerramento, foi enfatizada a importância do avanço de estudos mecanísticos para compreender detalhadamente as interações dos ditiocarbamatos com enzimas, proteínas e vias metabólicas. A professora destacou ainda que esses conhecimentos são fundamentais para o desenvolvimento de novos metalofármacos mais seletivos, menos tóxicos e ambientalmente mais seguros, reforçando o papel da Química Inorgânica Medicinal na busca por estratégias terapêuticas inovadoras.

4.2. Fala da Professora no Fechamento da Atividade

“Ao longo das estações, conseguimos perceber que os ditiocarbamatos apresentam aplicações importantes, mas também possuem impactos toxicológicos e ambientais complexos. Por isso, torna-se essencial ampliar os estudos mecanísticos sobre suas interações biológicas e ambientais, permitindo o desenvolvimento de novos metalofármacos mais seletivos, eficientes e com menor impacto ao meio ambiente. A ciência precisa avançar não apenas na eficácia terapêutica, mas também na segurança biológica e ambiental dessas substâncias.”

5. CONCLUSÃO

A utilização da metodologia ativa de rotações de estações mostrou-se eficiente para o ensino do tema “ditiocarbamatos e interação com enzimas” no ensino superior. A integração entre leitura científica, modelagem molecular, resolução de problemas e experimentação laboratorial promoveu maior engajamento dos estudantes e favoreceu aprendizagem significativa.

A estação experimental envolvendo síntese de complexo ditiocarbamato metálico contribuiu significativamente para a compreensão dos processos químicos relacionados à coordenação metálica e às interações bioinorgânicas.

Conclui-se que a metodologia proposta constitui importante ferramenta didática para disciplinas das áreas de Química e Ciências

Biológicas, possibilitando abordagem interdisciplinar, investigativa e centrada no protagonismo discente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BACCI, E. et al. Short-term response of soil enzyme activities in a chlorpyrifos-treated mesocosm: use of enzyme-based indexes. *Ecological Indicators*, v. 73, p. 525-535, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.10.022.

CEDERGREEN, N. et al. Using TKTD models in combination with in vivo enzyme inhibition assays to investigate the mechanisms behind synergistic interactions across two species. *Environmental Science & Technology*, v. 55, n. 20, p. 13990-13999, 2021. DOI: 10.1021/acs.est.1c02222.

EMELYANOVA, E. V.; SOLYANIKOVA, I. P. Evaluation of 3-Chlorobenzoate 1,2-Dioxygenase inhibition by 2- and 4-Chlorobenzoate with a cell-based technique. *Biosensors*, v. 9, n. 3, p. 106, 2019. DOI: 10.3390/bios9030106.

HABENSCHUS, M. D. et al. In vitro enantioselective study of the toxicokinetic effects of chiral fungicide tebuconazole in human liver microsomes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 179, p. 130-137, 2019. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2019.05.071.

HAN, L. et al. Dissipation of chlorothalonil in the presence of chlortetracycline and ciprofloxacin and their combined effects on soil enzyme activity. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 12, p. 13662-13669, 2020. DOI: 10.1007/s11356-020-07753-0.

MARTINS, F. C. O. L.; MATTOS, W. M. Solid-liquid phase microextraction coupled to digital images for determination of dithiocarbamates in food samples. *Microchemical Journal*, 2025. DOI: 10.1016/j.microc.2025.113614.

MORAN, J. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. In: BACICH, L.; MORAN, J. (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora*. Porto Alegre: Penso, 2018.

PEROVANI, I. S. et al. Enantioselective inhibition of human CYP2C19 by the chiral pesticide ethofumesate: prediction of pesticide-drug interactions in humans. *Chemico-Biological Interactions*, v. 344, 2021. DOI: 10.1016/j.cbi.2021.109552.

ZHU, X. et al. Detecting the combined toxicity of binary and ternary pesticide combinations to carboxylesterase based on fluorescence probe technology. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, v. 57, n. 4, p. 285-294, 2022. DOI: 10.1080/03601234.2022.2049158.

ZWEIGEL, J. et al. Multi-enzyme inhibition assay for the detection of insecticidal organophosphates and carbamates by high-performance thin-layer chromatography. *Journal of Chromatography B*, v. 878, n. 17-18, p. 1337-1345, 2010. DOI: 10.1016/j.jchromb.2009.12.021.

¹ Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil, Campus de Fernandópolis-SP. Doutor em Química pelo Instituto de Química (UNESP- Campus de Araraquara-SP). E-mail: [acesse o artigo original para visualizar o e-mail](#)

² Docente do Curso Superior de Farmácia da Universidade Brasil,
Campus de Fernandópolis-SP. Mestre em Química
(PPGQUIM/UNESP-Araraquara-SP). E-mail: [acesse o artigo original](#)
[para visualizar o e-mail](#)